

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів сховищ при зберіганні
сільськогосподарської продукції”**

Виконав: студент VI курсу групи Аін-62
Спеціальності 208 „Агорінженерія”

(шифр і назва)

Чернета Святослав Романович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: Буртак В.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Гуменюк Р.В.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Шарибура А.О.

“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Чернеті Святославу Романовичу

1. Тема роботи: **“Обґрунтування параметрів сховищ при зберіганні сільськогосподарської продукції”**

Керівник роботи: Буртак Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 12.12.2025 року

3. Вихідні дані: методичні рекомендації до виконання дипломної роботи, довідкова література, каталоги, методика планування та проведення експериментальних досліджень, довідкова література, патентний пошук, інструкції з охорони праці.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз стану питання та завдання дослідження.

2. Аналіз теоретичних досліджень.

3. Програма і методика здійснення досліджень.

4. Результати проведених досліджень.

5. Охорона праці та захист навколишнього середовища.

6. Економічна ефективність результатів.

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): графічна частина до дипломної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4,6	Буртак В.В. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича			
5	Кохана Т.М., к.е.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «<u>Аналіз стану питання та завдання дослідження</u>»</i>	28.02.25- 28.03.25	
2.	<i>Виконання другого розділу: «<u>Аналіз теоретичних досліджень</u>»</i>	31.03.25- 30.04.25	
3.	<i>Виконання третього розділу: «<u>Програма і методика здійснення досліджень</u>»</i>	01.05.25- 02.06.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу: «<u>Результати проведених досліджень</u>»</i>	03.06.25- 01.09.25	
5.	<i>Написання розділу «<u>Охорона праці та захист навколишнього середовища</u>»</i>	02.09.25- 30.09.25	
6.	<i>Виконання розділу: «<u>Економічна ефективність результатів</u>»</i>	01.10.25- 31.10.25	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	03.11.25- 01.12.25	

Студент _____ Святослав Чернета
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир Буртак
(підпис)

УДК 629.979:664.69

***Обґрунтування параметрів сховищ при зберіганні
сільськогосподарської продукції.***

Чернета Святослав Романович. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені Олександра Семковича. –Дубляни, ЛНУВБМ ім. С.З. Гжицького, 2025.

84 с. текст. част., 28 рис., 10 табл., 22 джерела.

Проведено аналіз сучасного стану та проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна, класифікація технологічних прийомів і систем зберігання зерна. Висвітлено обґрунтування перспективних напрямків розвитку технологій зберігання зерна. Опрацьовані методики інженерного розрахунку основних параметрів сховища з радіальною та вертикальною продувкою зернової маси.

Наведені результати лабораторно-експлуатаційних досліджень. Проведено визначення технологічних параметрів процесу активного вентилявання зерна. Обґрунтовані результати експериментальних досліджень видалення вологи в радіальному шарі зерна, та дослідження аеродинамічного опору.

Проаналізовано стан охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Обґрунтовано економічну ефективність результатів дослідження.

ЗМІСТ

	ВСТУП	
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1	Аналіз ринків сільськогосподарської продукції	8
1.2	Характеристика ефективності зберігання сільськогосподарської продукції	11
1.3	Характеристика технічного рівня матеріально-технологічної бази при післязбиральній обробці та зберіганні сільськогосподарської продукції	14
1.4	Мета та задачі досліджень	19
2	АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1	Сучасні методи, способи та технології зберігання сільськогосподарської продукції	20
2.2	Аналіз машин та обладнання для зберігання сільськогосподарської продукції	26
2.3	Аналіз тенденцій розвитку конструкцій сховищ сільськогосподарської продукції	31
2.4	Аналіз перспективних напрямків розвитку технологічних процесів зберігання сільськогосподарської продукції	35
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	38
3.1	Інженерні розрахунки при вентиляванні сільськогосподарської продукції	38
3.2	Методика визначення відведення вологи у радіальному шарі сільськогосподарської продукції при активному вентиляванні	44
4	РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	52
4.1	Розрахунок та визначення технологічних параметрів процесів активного вентилявання зернової маси	52

4.2	Результати досліджень по видаленню надлишкової вологи у радіальному шарі сільськогосподарської продукції	53
4.3	Експериментальні дослідження аеродинамічного опору, та їх аналіз	60
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	64
5.1	Аналіз виробничих небезпек під час виробництва	64
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій	66
5.3	Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва	70
5.4	Розробка заходів щодо захисту навколишнього середовища	75
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ	77
6.1	Економічне обґрунтування модернізації існуючого обладнання	77
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	80
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Україна потужна аграрна країна із значним експортним потенціалом продукції рослинництва, зокрема зернових культур, попит на які у світі щороку зростає. Конкурентоспроможність вітчизняних виробників на світовому ринку визначається не тільки якісними кондиціями зерна, а і його ціною, яка напряду залежить від якісних показників зерна. Якість зерна можна гарантувати тільки при розвинутій матеріально-технічній базі (МТБ) збереження зерна. В нашій країні виробництво зерна щороку зростає і виникає проблема зв'язана з його зберіганням, а саме не вистачає сховищ, а ті які є в наявності залишилися ще з радянських часів, а будівництво нових вимагає значних капіталовкладень.

Втрати зібраного урожаю в Україні в найбільш несприятливі роки, сягають 20% і більше. При цьому 2/3 втрат припадає на післязбиральну обробку і зберігання врожаю. Таке становище склалося через щорічну невідповідність випуску та постачання виробникам збиральної техніки по відношенню до післязбиральної, яка за сумарною продуктивністю в обсягах випуску по роках в минулому перевищувала останню в 3...5 разів, а в кінцевому випадку перевищила на декілька порядків. Сюди слід віднести і спад виробництва післязбиральної техніки, особливо зерносушильної, а також відсутність виробництва металевих сховищ для зберігання зерна. Таке становище з організацією МТБ вплинуло на те, що в системі зерновиробництва України не був сформований належний матеріально-технічний парк технологічних ліній для післязбиральної обробки і зберігання зерна. І навіть той парк, який був організований в минулому, дуже зменшився і практично втратив працездатність.

В зв'язку з наведеним назріло питання покращення матеріально-технічної бази для збереження і післязбиральної обробки зерна. Особливо актуальним є питання розробки ресурсозберігаючих і ресурсощадних технологій зберігання зерна.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз ринків сільськогосподарської продукції

На завершення жнивної кампанії 2025 року в Україні намолочено понад 55 млн тонн зернових і зернобобових культур, що становить понад 81% від загальної площі збирання. при цьому процес збирання кукурудзи, який цього року розпочався пізніше через погодні умови, перебуває лише на середині («екваторі») виконання. також аналогічна ситуація спостерігається із соняшником і соєю, збирання яких у низці регіонів ще триває. Таким чином, для аграріїв нинішній період є одним із найінтенсивніших у виробничому циклі.

За результатами повного збору ранніх зернових культур отримано 22,9 млн тонн пшениці, 5,4 млн тонн ячменю та 660,75 тис. тонн гороху. а поточний обсяг зібраної кукурудзи становить близько 15 млн тонн, однак, згідно прогнозів, до завершення кампанії цей показник може збільшитися щонайменше удвічі. По технічних та олійних культур, то повністю завершено збирання ріпаку (3,35 млн тонн), а збирання соняшнику виконано на 90% площ із валовим збором 8,6 млн тонн. На 87% зібрано сою (4,45 млн тонн), а цукрових буряків — близько 80% площ (8,7 млн тонн).

Прогнози незалежних аналітичних центрів практично співпадають із розрахунками Міністерства економіки України. Згідно з оцінками Українського клубу аграрного бізнесу (УКАБ), валовий збір зернові і олійні культури у 2025 році очікується на рівні 78,35 млн тонн, що на 1,5% більше, ніж торік, однак на майже 2% менше середнього показника останніх чотирьох років (тобто з початку повномасштабної війни). Таким чином, урожай поточного року можна вважати середньостатистичним.

У структурі врожаю переважають зернові культури — 59,85 млн тонн, що на 5,5% більше, ніж у 2024 році, та на 1,5% перевищує середній трирічний показник. Зростання відбулося насамперед завдяки кукурудзі, посівні площі під якою поступово відновлюються через стабілізацію морських експортних

маршрутів. Натомість валовий збір олійних культур прогнозується на рівні 18,5 млн тонн, що на 11% менше, ніж торік, і на 8% нижче за середній показник трирічного періоду. Найсуттєвіше зменшилося виробництво сої порівняно з рекордним минулорічним результатом.

Урожайність більшості культур залишається стабільною. зокрема виняток є соняшник, посіви якого зазнали значних втрат через посуху, особливо у південних і східних регіонах країни. Вплив погодних умов поряд із триваючою російською агресією стали основними факторами, що визначили обсяги врожайності у 2025 році. Серед негативних погодних впливів відзначаються дефіцит вологи під час осінньої посівної, слабе зволоження взимку та навесні, весняні заморозки, літня посуха й надмірні опади під час жнив.

Варто підкреслити значну регіональну диференціацію врожайності:

- найнижчі показники спостерігаються у південних і східних областях;
- центральні, північні та західні регіони демонструють відносно стабільні результати.

В окремих областях пізні дощі восени призвели до затримки збирання соняшнику, сої та кукурудзи, що підвищило рівень вологості зерна до 30–45%. Це зумовлює потребу в додатковому підсушуванні зерна, що суттєво впливає на собівартість виробництва. За оцінками фахівців, зниження вологості зернових у межах 10% підвищує витрати виробників на приблизно 35 доларів США за тонну кукурудзи, що особливо відчутно для фермерських господарств, які не мають власних сушарок.

Крім кліматичних факторів, значний вплив на економічні результати має зростання логістичних витрат, зокрема через руйнування транспортної інфраструктури ворогом, зокрема залізничних шляхів, спостерігаються труднощі з транспортуванням збіжжя до портів. За даними аналітиків, за останній місяць вартість перевезень зросла у межах 15–20% (на 250–450 грн за тонну), а заплановані зміни тарифів до 37% може стати серйозним викликом для аграрного сектору.

Додаткові труднощі створює недосконалість митного регулювання. Так звані «соєві правки», хоча й передбачають звільнення товаровиробників від сплати мита при експорті власної продукції, на практиці не завжди реалізуються належним чином. Часто виробникам доводиться проходити тривалі бюрократичні процедури або сплачувати мито де-факто, що потребує державного втручання та компенсаційних механізмів.

Суттєвим викликом для українських аграріїв є також адаптація до нових правил торгівлі з Європейським Союзом, Через запроваджені квоти очікується скорочення експортних доходів України на 1–1,5 млрд доларів США на рік, з яких близько 800–950 млн припадає на обмеження постачання пшениці. У зв'язку з цим актуальним завданням стає пошук альтернативних ринків збуту для ключових експортних культур – пшениці, ячменю, цукру тощо.

Попри наявність багатьох проблем, Україна являється одним із провідних світових виробників (зернові та олійних культур), обсяги виробництва яких значно перевищують внутрішню потребу, а традиційне внутрішнє споживання зернових становить 14–15,5 млн тонн, тому навіть за умов виробництва близько 55–60 млн тонн продовольчій безпеці держави нічого не загрожує. Надлишкові обсяги продукції спрямовуються на експорт, що залишається ключовим джерелом валютних надходжень у країну.

За офіційними даними, у жовтні 2025 року Україна здійснила експорт 4,6 млн. тонн аграрної продукції, що майже на 21% більше, ніж у вересні. Зокрема, експорт зерна становив 2,8 млн тонн, олійні культури — 460 тис. тонн, рослинної олії — понад 520 тис. тонн, а макуха — близько 460 тис. тонн. Позитивна динаміка експорту пояснюється активізацією збиральної кампанії пізніх культур, відновленням роботи морських маршрутів та зменшенням податкового навантаження на експортерів.

Таким чином, попри складні зовнішні та внутрішні умови, аграрний сектор України демонструє адаптивність і стабільність, підтверджуючи свій статус стратегічно важливої галузі національної економіки та гаранта

продовольчої безпеки не лише України, а й багатьох країн-імпортерів української агропродукції.

1.2 Характеристика ефективності зберігання сільськогосподарської продукції

На сучасному етапі розвитку аграрного сектору України питання ефективного зберігання сільськогосподарської продукції набуває особливої актуальності. Згідно з наявними статистичними даними, співвідношення між сховищами силосного і підлогового типу сховищ при зберіганні зернових і зернобобових культур в Україні становить 45% до 55% відповідно. Це свідчить про певну перевагу підлогового типу зберігання, що є характерною особливістю для вітчизняного аграрного виробництва, особливо серед підприємств середньої та малої ланки.

Більшість малих і середніх агропідприємств обмежено використовують послуги великих елеваторів, натомість прагнуть знаходити можливості реалізації у своїх сільськогосподарських підприємствах потужностей по зберіганню зернових культур. У 2022 – 2024р. маркетингових роках у приватних зерносховищах невеликих аграрних підприємствах здійснювалось зберігання не менше 60% валового обсягу продукції, що надходила на ринок.

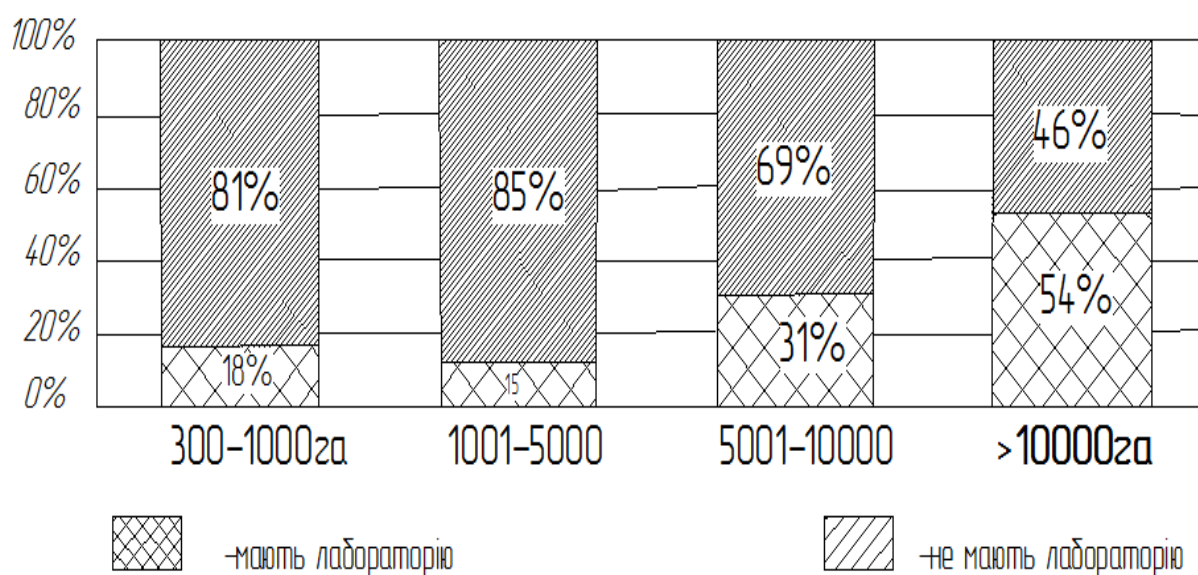


Рисунок 1.1 - Кількість лабораторій якості зерна у с.г. підприємствах.

Моніторинг забезпеченості аграрних підприємств системами зберігання показує, що майже 95% сільськогосподарських виробників мають власні зерносховища. Найвищий рівень забезпеченості (приблизно 97%) спостерігається серед великих агрохолдингів, які обробляють земельні угіддя площ понад 10 тис. га., зокрема такі підприємства здебільшого мають механізовані сховища силосного типу, що забезпечують ефективну логістику, високу швидкість обробки зерна та кращий контроль якості під час зберігання.

Аналіз структур існуючих потужностей засвідчує, що близько 80% усіх зерносховищ становлять споруди з підлоговими типами зберігання, які відзначаються низьким рівнем механізації й автоматизації технологічних процесів. Водночас лише в межах 15% великих аграрних підприємств використовують сучасні силосні сховища, та близько 24% комбінують їх із традиційними складами підлогового типу. Для дрібних сільськогосподарських виробників наявність силосних ємностей є радше винятком — лише близько 1,5% з них мають такі об'єкти у власній структурі.

Важливою характеристикою технічного рівня зерносховищ є наявність лабораторій для контролю якості продукції під час її приймання, надалі зберіганні та відповідно її реалізацію, а також забезпеченість автоматизованими системами при прийманні й відвантаженні зерна. За результатами моніторингів, близько 80% аграрних підприємств не володіють достатнім фінансуванням для облаштування таких лабораторій, що ускладнює оперативний контроль стану зерна та своєчасне виявлення змін його фізико-хімічних властивостей.

На сучасному етапі ключовими факторами успішної реалізації зерна є оперативність формування великих товарних партій та швидкість їх відвантаження. Відповідно одним із показників ефективності роботи зерносховищ виступає забезпеченість підприємства транспортною інфраструктурою, здатною забезпечити різні види перевезень.

Практично всі агропідприємства, які мають власні сховища, володіють можливістю відвантаження продукції із використанням автотранспорту. проте

транспортування великої кількості сільськогосподарської продукції, зокрема на значні відстані понад 200 км. автомобільним транспортом є економічно неефективним і трудомістким. У цьому контексті перевагу мають підприємства, які можуть здійснювати транспортування використовуючи залізничний або водний транспорт. В Україні лише близько 15% агропідприємств мають доступ до залізничних гілок, і лише орієнтовно 1% — до річкових або морських терміналів. Це створює суттєву логістичну нерівність між аграрними виробниками різного масштабу (рис. 1.2).

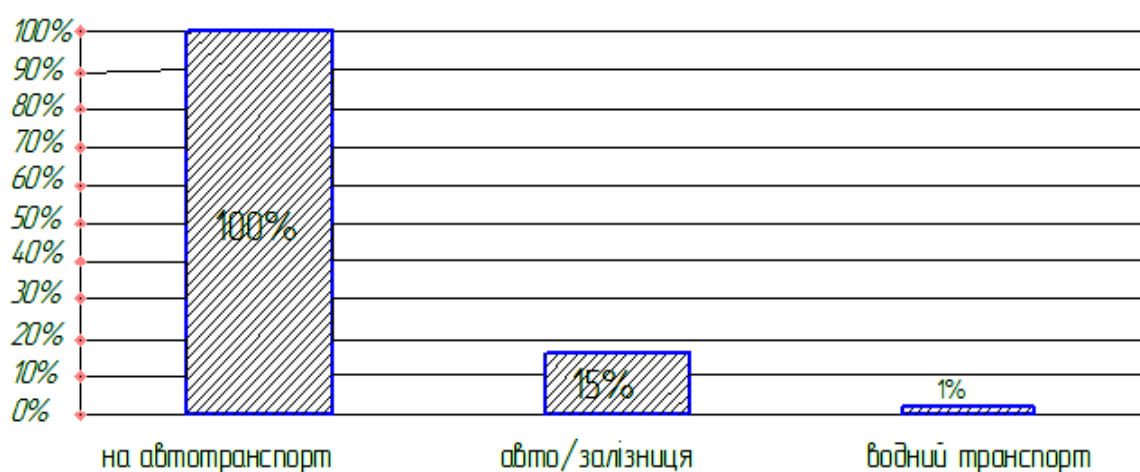


Рисунок 1.2 - Можливості сільськогосподарських підприємств відвантажувати сільськогосподарську продукцію

Загалом відповідні типи зерносховищ вітчизняних аграрних підприємств нині здебільшого виконують функції накопичувальних ємностей, без належної системи кондиціонування, вентиляції та моніторингу стану зерна при зберіганні. Недостатній рівень механізації та відсутність лабораторного контролю якості негативно позначаються на процеси при довготривалому зберіганні продукції, спричиняючи втрати маси та погіршення споживчих характеристик зернової продукції яка зберігається.

Попри існуючі проблеми, системи зберігання зернових культур в Україні демонструють динамічні розвитку, зокрема триває будівництво нових

сучасних зерносховищ, а також активна модернізація наявних об'єктів, що передбачає підвищення рівня автоматизації технологічних процесів, впровадження енергоощадних технологій та створення сучасних систем контролю мікроклімату.

Серед основних напрямів подальшого розвитку інфраструктури зберігання сільськогосподарської продукції в Україні можна виокремити такі:

- розвиток високотехнологічних систем при зберіганні (великі агрохолдинги) із застосуванням автоматизованих рішень управління процесами;
- створення сучасних потужностей (малі і середні виробники), що забезпечать рівні можливості зберігання і зменшення втрат;
- розвиток портових зернових терміналів із урахуванням перспектив експорту через морські маршрути;
- розбудова річкових терміналів як ефективної альтернативи автомобільним перевезенням у межах внутрішньої логістики.

Таким чином, ефективне функціонування системи зберігання сільськогосподарської продукції є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності українського аграрного сектору, зниження собівартості виробництва та забезпечення стабільності внутрішнього ринку продовольства.

1.3 Характеристика технічного рівня матеріально-технологічної бази при післязбиральній обробці та зберіганні сільськогосподарської продукції

Технологічні процеси післязбиральної обробки аграрної продукції є одним із ключових етапів сільськогосподарського виробничого циклу, що визначає якість, схоронність та економічну ефективність кінцевого результату виробництва. З огляду на це, застосування сучасного високотехнологічного обладнання, зокрема енергоефективних зерносушарок, набуває особливого значення. Відтак актуальними залишаються питання зміцнення матеріально-

технічної бази аграрних господарств та елеваторних підприємств, а також впровадження малозатратних технологій післязбиральної обробки і зберігання продукції.

За наявними оцінками, у несприятливі за погодними та економічними умовами роки втрати зібраної сільськогосподарської продукції в Україні сягали більше 25%, причому близько двох третин цих втрат відбувались саме на етапи післязбиральної обробки та при зберіганні (табл. 1.2) [1]. Основними причинами такої ситуації є невідповідність темпів оновлення технічного забезпечення аграрного виробництва сучасним вимогам, недостатнє постачання сільгосппідприємств спеціалізованою технікою, а також застарілі технології зберігання та сушіння зерна.

Таблиця 1.2 - Втрати сільськогосподарської продукції в агропідприємствах [1]

№ п/п	Причини втрат сільськогосподарської продукції	Втрати, %	
		Сівба і збирання	Зберігання та переробка
1.	Агротехнічні строки, та їх недотримання	6,5	0,9
2.	Порушення технологій збирання та післязбиральна обробка	4,1	8,3
3.	Невідповідність машин та обладнання регіональним умовам та недотримання потрібних комплектацій відповідного обладнання	5,6	8,3
4.	Недотримання оптимальних налагоджень та регулювань обладнання і машин	4,2	5,1
5.	Транспортування сільськогосподарської продукції	1,0	0,5
6.	Недостатня кількість зерноочисних та сушильних комплексів і зерноочисних агрегатів	-	20,9
7.	Порушення режимів сушіння і зберігання мільськогосподарської продукції (в т.ч. насіння та передпосівна обробка)	-	27,8
8.	Насіння що не проростало	4,6	4,9
Загалом:		26,0	74,0

Зниження обсягів самого виробництва та експлуатації післязбирального обладнання, насамперед зерносушильних установок, у поєднанні з відсутністю прогресивних зерносховищ призвело до незадовільного технічного стану системи зберігання зернових культур. У багатьох регіонах, які є провідними виробниками зерна, спостерігається дефіцит сушильних потужностей, а також нестача механізованих і автоматизованих складів, що змушує аграріїв здійснювати тимчасове зберігання продукції на відкритих майданчиках (купи або бурти), без належних умов аерації та захисту від опадів.

Наявність зернових складів, призначених переважно для зберігання насіннєвих матеріалів, є морально та фізично застарілими, а більшість із них не відповідає сучасним вимогам щодо температурно-вологісного режиму та санітарно-гігієнічних умов.

Певне покращення технічного рівня спостерігається у промислових насіннєвих підприємствах, які мають у своєму розпорядженні обладнання для післязбиральної обробки зерна, переважно імпортного виробництва — фірм Rofama (Польща), Petkus (Німеччина) та Heid (Австрія). Проте висока вартість такого обладнання суттєво обмежує можливості його придбання більшістю українських агровиробників.

Проблеми виробництва продовольчо-фуражного зерна поглиблюються тим, що вся маса зібраної продукції повинна пройти обов'язкову післязбиральну обробку, навіть у випадках короткотермінового зберігання. Найбільше енергоємним етапом технологічного циклу є сушіння зерна, на яке припадає в межах 60% загальних енергетичних витрат відповідно щорічні процеси сушіння піддаються близько 80% від загального обсягу зібраного врожаю [3]. Водночас рівень забезпечуваності аграрних виробників сушильними установками має тенденцію до зниження, що особливо відчутно в умовах зростання обсягів виробництва кукурудзи, яка потребує інтенсивного підсушування.

Показники, що характеризують рівень автоматизації процесів післязбиральної обробки та зберігання, свідчать про їхню низьку ефективність і потребу в модернізації (рис. 1.3). Відсутність інтегрованих систем контролю вологості, температури та вентиляції призводить до втрат маси, погіршення фітосанітарного стану зерна і зниження його товарної якості.

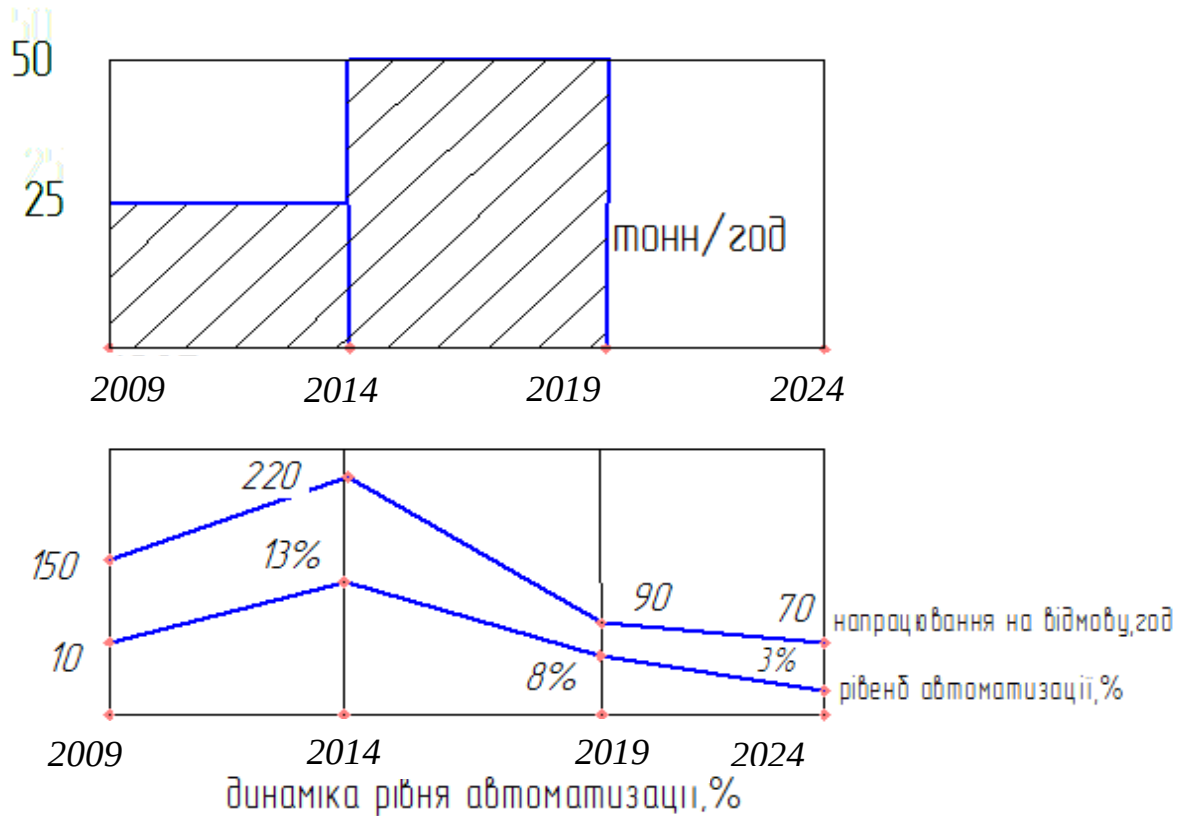


Рисунок 1.3 - Технічний рівень сільськогосподарського обладнання і машин для післязбиральної обробки с.г. продукції

Аграрне виробництво в Україні відзначається складною динамікою, оскільки на процеси збирання, сушіння та зберігання істотно впливають кліматичні, географічні та сезонні чинники. Тому при проектуванні, виборі й експлуатації машин і обладнання необхідно враховувати не лише агротехнічні вимоги, але й особливості енергозабезпечення, мікрокліматичних умов і логістичних зв'язків у межах господарства (рис. 1.4).

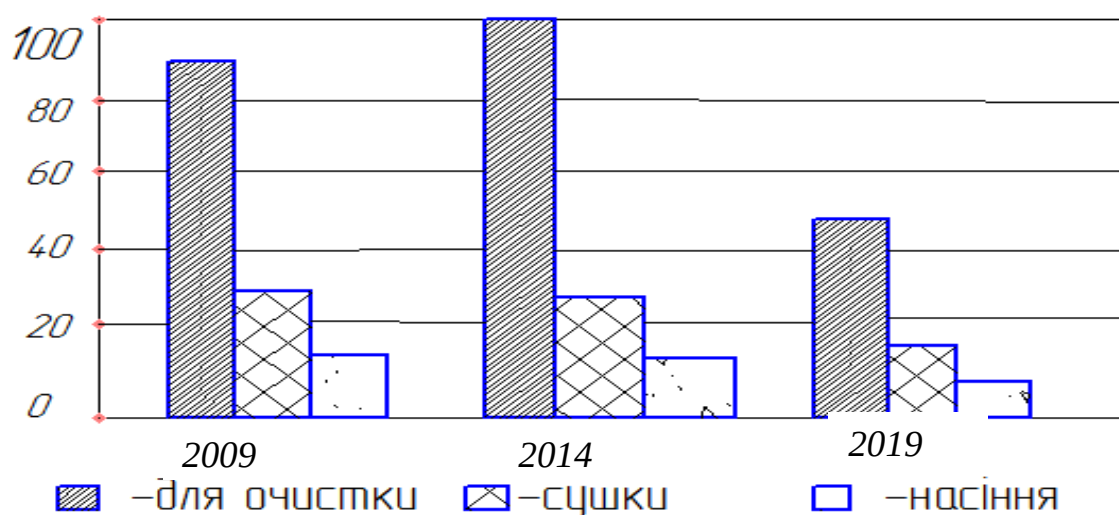


Рисунок 1.4 - Забезпеченість сільськогосподарськими машинами та обладнанням для післязбиральної обробки с.г. продукції (у % співвідношенні до потреб [4])

Для підвищення ефективності післязбиральної обробки доцільно запроваджувати комплексний підхід до технічного забезпечення, який включає:

- розроблення та впровадження енергоощадних технологій сушіння;
- створення уніфікованих технологічних ліній для обробки та зберігання продукції;
- розвиток власних виробничих потужностей із виготовлення сучасного післязбирального обладнання в Україні;
- підвищення рівня автоматизації та цифрового моніторингу параметрів зберігання.

Таким чином, ефективне вирішення проблем післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції є стратегічним напрямом підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору України, зменшення втрат урожаю та забезпечення стабільності продовольчої безпеки держави.

1.4 Мета та задачі досліджень

Мета роботи – дослідження процесів режимів зберігання зерна із високими показниками вологи та впливу методів активного вентилявання; аналіз терморежимів та циклів вентилявання у металевих зерноскладах.

Основні задачі досліджень:

Провести аналіз сучасних технологічних особливостей зберігання зерна; здійснити обґрунтування задач, напрямків та параметрів дослідження.

Об'єкт дослідження: технологічні процеси при активному вентиляванні зерна змодельовані із використанням експериментальної установки.

Предмет дослідження: активне вентилявання зернової продукції; показники якості зернової продукції, зокрема підвищена вологість.

2. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сучасні методи, способи та технології зберігання сільськогосподарської продукції

При зберіганні сільськогосподарської продукції значну увагу приділяють фізіологічним і фізичним властивостям. Для забезпечення тривалої схоронності сільськогосподарської продукції, зокрема насіннєвого матеріалу, доцільно використовувати спеціалізовані зерносховища, які забезпечують контроль мікрокліматичних параметрів та можливість механізованого обслуговування.

Класифікація сховищ для сільськогосподарської продукції здійснюється за наступними ознаками:

- за періодом зберігання — тимчасові (до 3 місяців) і тривалі (понад 3 місяці, до кількох років);
- за призначенням — для простого зберігання або для зберігання із технологічною обробкою;
- за конструктивними особливостями — відноситься до складів, навісів, елеваторів, бункерів тощо;
- за типом систем вентилявання — підлогові, каналні, переносні;
- за рівнем механізації — відноситься до немеханізованих, напівмеханізованих та механізованих.

Метою правильного вибору способу зберігання є мінімізація втрат зернової маси та запобігання погіршенню її якості під час усього періоду перебування в сховищі.

При зберіганні насипом та із використанням тари. являється основними і найпоширенішими способами зберігання сільськогосподарської продукції. Основні переваги цих способів:

- ефективне використання площі і об'єму зерносховища;
- можливість механізованого транспортування сільськогосподарської продукції;

- спрощене очищення та обробку від різних видів шкідників;
- зручність здійснення аналізу якісних показників.

У час проведення жнив часто виникає потреба тимчасового зберігання сільськогосподарської продукції, зокрема використовують тік або відкриті майданчики. При цьому широкого застосування набули бурти — насипні сховища розміщені під відкритим небом, у яких зерно зберігається у формі призми, піраміди або конуса для забезпечення стікання опадів.

При підготовці сільськогосподарської продукції до такого зберігання має важливе значення те що незважаючи на вміст вологи зернова продукція охолоджується до температури не вище 8 °С, що запобігає розвиткам шкідників і процесам самозігрівання.

В умовах обмеженої кількості металевих або стаціонарних зерносховищ ефективною альтернативою є технологія зберігання зерна у поліетиленових мішках-рукавах (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Розміщення та зберігання зерна з використанням мішків

Цей метод, який набув широкого поширення в Аргентині, забезпечує герметичне середовище, у якому під час дихання зерна зростає концентрація вуглекислого газу та знижується вміст кисню, а відповідно життєдіяльність комах, грибів і бактерій припиняється, а зернова маса переходить у стан природної консервації.

Поліетиленові рукави містять п'ять шарів матеріалів, що забезпечує міцність і рівномірне розтягування плівки. Довжина одного рукава може досягати 60 метрів, а термін зберігання зерна — до двох років.

Згідно досліджень, проведених Аргентиною та іншими країнами, показали, що вологість сільськогосподарської продукції під час зберігання практично не змінюється, навіть за початкового закладання із підвищеною вологістю. Втім, для наших кліматичних умов доцільним буде попереднє підсушування сільськогосподарської продукції до нормативних значень вологості, оскільки підвищена температура і вологість повітря можуть прискорювати процеси псування.

Процес навантаження і вивантаження рукавів здійснюється за допомогою спеціальної машини – бетгера, трактора та завантажувального бункера (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Процес завантаження зерна у мішки для зберігання

Під час експлуатації мішків необхідно періодично проводити візуальний контроль (не рідше ніж раз 10 днів) та усувати пошкодження за допомогою спеціальних стрічок.

Основні переваги технології зберігання в поліетиленових рукавах:

- суттєве зменшення витрат на логістику та інфраструктуру;
- можливість зберігати несортовану продукцію;
- відсутність перемішування партій сільськогосподарської продукції (елеватори) з різних господарств;
- збереження якості та зниження втрат вартості сільськогосподарської продукції;
- при такому зберіганні у 2–3 рази собівартість нижча, у порівнянні із традиційними елеваторами [6].

Бункерні зерносховища відрізняються високим рівнем механізації, оскільки мають днище у формі перевернутого конуса або піраміди, що полегшує розвантаження без ручної праці, а місткість таких сховищ становить від 35 до 50 т, із висотою стін від 4 до 9,5 м [18].

Силосні насіннесховища (рис. 2.3) виготовляють із цегли або залізобетону (довжина від 30 до 50 м), оснащують технологічними баштами з обладнанням для потокової обробки зерна. Такі сховища зазвичай являються автоматизованим та механізованими, що підвищує ефективність процесів завантаження, вентилявання та контролю якості.

Зернова маса являє собою складну біологічну систему, що складається з основних зерен, домішок органічного й мінерального походження, мікроорганізмів, шкідників та повітря, що заповнює міжзерновий простір. Інтенсивність фізіологічних процесів у зерні визначається такими факторами:

- вологістю зернової маси та навколишнього середовища;
- температурним режимом;
- наявністю або відсутністю доступу повітря.



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд силосного типу зерносховища

1 – пристрої що здійснюють переміщення зерного матеріалу; 2 – силоси із плоским дном; 3 – проміжні ємності із конічним дном; 4 – ваги; 5 – зерносушарка; 6 – технологічні приміщення елеватора.

Виділяють три основні режими зберігання сільськогосподарської продукції:

1. Сухий стан — вологість зерна нижча від критичної (від 12 до 14 %). У такому стані відбувається уповільнене дихання, а життєдіяльність зерна зведена до мінімуму. Тривалість зберігання може досягати від 4 до 5 років [14].

2. Охолоджений стан — температура сільськогосподарської продукції знижується до рівня, що пригнічує активність мікроорганізмів і шкідників.

3. Вакуум (герметично) — без доступів кисню, коли дихання зерна переходить в анаеробну фазу, а життєдіяльності мікрофлори практично припиняється.

Сучасні різновиди герметичного зберігання передбачають використання полімерних рукавів, а саме зниження вмісту кисню та накопичення вуглекислого газу сприяють самоконсервуванню сільськогосподарської продукції, що дозволяє зберігати зерно без додаткової вентиляції. Для

забезпечення ефективної самоконсервації важливо заповнювати рукав повністю, не залишаючи повітряних порожнин, та зниження температури зерна до +15 °C і нижче, що зменшує сприятливі умови активності шкідникам та мікроорганізмам.

У процесі зберігання сільськогосподарської продукції необхідно не менше 1 разу в місяць проводити технічний аналіз станів продукції відповідно до вимог чинних нормативних документів. Відбір проб відбирають із однорідної партії, а результати заносять у лабораторні журнали показників якості.

Під час моніторингу контролюють температуру, вологість та загальний стан зерна. Залежно від цих показників визначають орієнтовні терміни зберігання зернових мас, які наведено у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 - Строки перевірки температури зерна

Стани зернового матеріалу згідно із вологістю	Свіжозібраний зерновий матеріал на протязі трьох місяців із моменту приймання	Температура зберігання зернових мас		
		більше 10 ⁰ C	10 ⁰ C - 0 ⁰ C	нижче 0 ⁰
Сухий та середньої сухості	Один раз на 5 днів	Один раз на 15 днів	Один раз на 15 днів	дин раз на 15 днів
Зволожене	Кожного дня	Один раз на 2 дні	Один раз на 5 днів	Один раз на 15 днів
Мокре	Кожного дня	—	—	—

Таблиця 2.2 - Рекомендовані терміни зберігання пшениці та ячменю без зниження якостей, діб

Температурні показники зерна, °С	Показники вологості зерна, %										
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<-5	*				*						
5					80-120	40-60	40-60	40-60	20-30	20-30	20-30
10	*			80-120	40-60	40-60	40-60	20-30	10-15	10-15	10-15
15	*		80-120	40-60	40-60	20-30	20-30	20-30	10-15	10-15	5-8
20	*	80-120	40-60	40-60	20-30	10-15	10-15	10-15	5-8	5-8	3-5
25	*	40-60	20-30	20-30	10-15	5-8	5-8	3-5	3-5	3-5	3-5

Примітка: * – термін зберігання необмежений

2.2 Аналіз машин та обладнання для зберігання сільськогосподарської продукції

Приймання сільськогосподарської продукції на елеваторах та заготівельних підприємствах передбачає виконання комплексу технологічних операцій, спрямованих на визначення якісних показників та забезпечення подальшої безпечної переробки й зберігання. Зернова маса, яка надходить на зберігання, обов'язково проходить вхідний контроль, під час якого визначають її вологість, колір, запах, смак, ступінь пошкодженості, зараженості шкідниками, наявність органічних і мінеральних домішок, а також натуру.

Із кузова автомобільного транспорту здійснюються відбори проб, для подальшого здійснення аналізу показників якості, здійснюють із використанням механізованих пробовідбірників А-УПА-2, що забезпечують репрезентативність вибірки та мінімізацію впливу людського фактора.

На етапах приймання здійснюється зважування сільськогосподарської продукції. У практиці застосовують найбільшого поширення набули ваги:

- механічні із нерівноплечими важелями;
- автоматичні порційні.

Найпоширенішими на приймальних пунктах є автоматичні порційні ваги типу ДН, які оснащені бункерами місткістю від 1,1 до 6,5 м³ та забезпечують інтервали зважування в межах від 0,25 до 4 т [16].

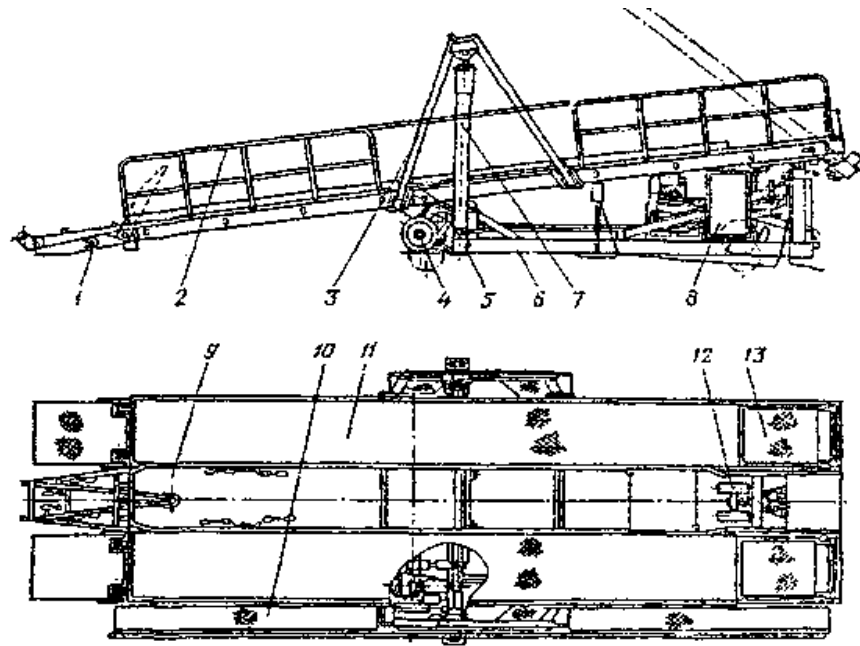


Рисунок 2.4 - Схема самохідного автомобілерозвантажувача У15-УРБ

Складається із 1 – забірника; 2 – поручнів; 3 – стійки; 4 – приводу; 5 – опори; 6 – рами; 7 – гідросистеми; 8 – системи управління; 9 – буксира; 10 – площадки для оператора; 11 – платформи; 12 – підвіски; 13 – опорної платформи.

Виконання навантажувально-розвантажувальних операцій відбувається за допомогою спеціалізованої техніки — навантажувача, зернопогрузчика та інших механізмів. Розвантаження транспортних засобів здійснюють із

застосуванням автомобілерозвантажувачів різної модифікації, зокрема самохідного автомобілерозвантажувача У15-УРБ, який забезпечує розвантаження сільськогосподарської продукції через задній борт у автомобілях, автотягачах та напівпричепках масою до 20 т.

Якісні показники по очищенню і сортуванню сільськогосподарської продукції визначають за низкою технологічних показників: вмістом різних видів домішок, питомою масою, ступенем калібрування, енергією проростання та загальною чистотою зерна. Зерноочисні машини здійснюють процеси очищення та надання сільськогосподарській продукції відповідних показників, характеризуватися універсальністю налаштувань, зручністю обслуговування та відповідністю агротехнічними та санітарними нормами.

У повітряних сепараторах відбувається поділ частинок за їх відповідності аеродинамічним властивостям, забезпечуючи відділення легких і важких домішок, а принцип роботи полягає у зміні траєкторії руху частинок під дією повітряного потоку. Повітряні системи можуть функціонувати в режимах одноразового або багаторазового продування, а також у зімкнених або розімкнених повітряних циклах.

Повітря подається вентиляторами низького тиску (до 1 кПа), середнього тиску (1–3 кПа) або із використанням вентиляторів пневмотранспортних систем [11]. На зерноприймальних підприємствах поширені зерноочисні колонки ОПС-2, сепаратори СП-5, машини для попереднього очищення МПО-50, МПО-100, а також сепаратори А1-БВЗ, РЗ-БАБ, РЗ-БСД.

Використання ситових сепараторів «Совокрим» знайшло широке застосовуються завдяки високій ефективності очистки, а сама конструкція містить раму, двоярусний ситовий блок на пружинах, вібратор і системи автоматичного очищення сит гумовими кульками. Використання амортизаторів дозволяє здійснювати обмеження амплітуди коливань під час запусків і зупинок, а значення кута нахилу сит знаходиться у межах 7° [9].

Віброситові сепаратори БСХ працюють за схожим принципом, але оснащені двома приймальними патрубками для рівномірного розподілу

потоків та додатковими пневмосепаруючими каналами. Технічні характеристики наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики сепаратора типу БСХ

Показники	Модель		
	БСХ-3	БСХ-6	БСХ-12
Продуктивності, т/год.:			
- у елеваторних режимах	3	6	12
- у зерноочисних відділеннях млинів	12	25	40
Технологічні ефективності, % :			
- у елеваторних режимах	80	75	80
- у зерноочисних відділеннях млинів	20	20	20
Установлені потужності, кВт	0,75	0,75	1,10

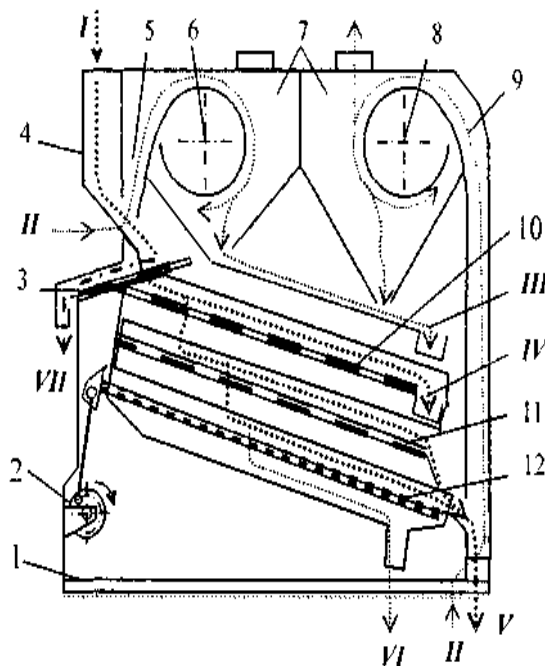


Рисунок 2.5 - Загальний вигляд повітряно-ситового сепаратора типу ЗСМ

Він складається із 1 – корпуса; 2 – приводу; 3 – колосового сита; 4 – бункера; 5 – каналу попереднього провіювання; 6,8 – вентиляторів; 7 – осадової камери; 9 – каналу повторного провіювання; 10,11 – сортувальних сит; 12 – підвісного сита.

Комбіновані сепаратори (ЗСМ, Р6-СВС, А1-БИС) забезпечують поділ за розмірами частинок та їх аеродинамічною швидкістю. У сепараторах ЗСМ спочатку відокремлюють легкі домішки у первинному аспіраційному каналі, після чого відбувається розподіл на ситах, а далі — повторне провіювання у вихідному аспіраційному каналі. Використання сепараторів А1-БИС, набуло широкого використання елеваторами із пневмотранспортом, здійснюючи робочі процеси круговими поступальними рухами, забезпечуючи ефективне розділення матеріалу на крупні домішки, товарну продукцію та дрібні вclusions.

Використання очисно-сушильних агрегатів КОС-0,5 набуло широкого застосовування для очищення та доведення зерна й дрібнонасінні культури до вимог 1-го, а також 2-го класів (рис. 2.6).

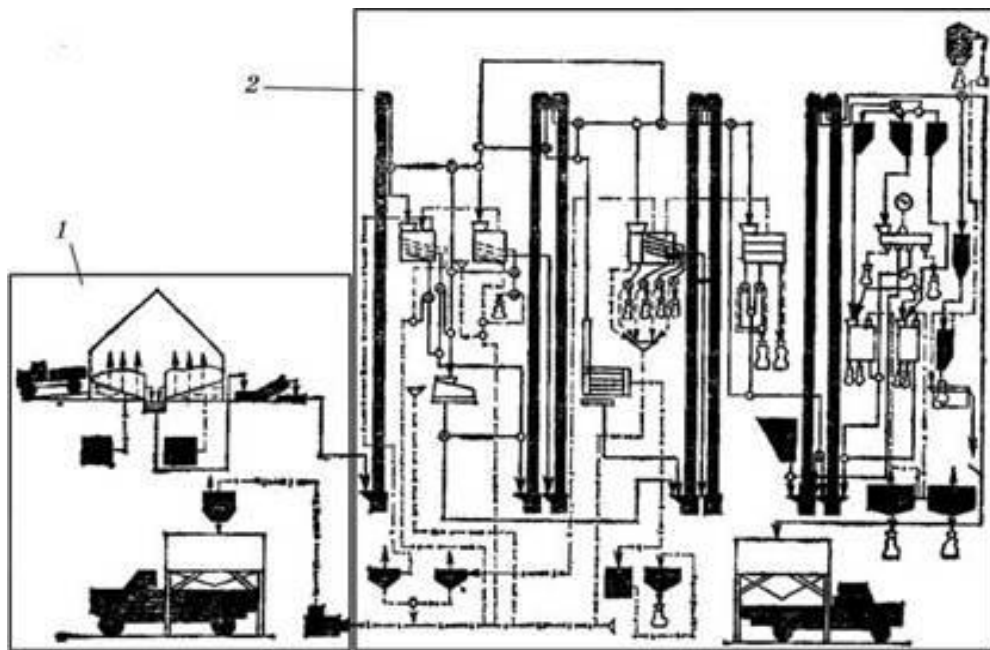


Рисунок 2.6 - Загальний вигляд технологічної схеми очисно-сушильної установки КОС-0,5:

Вона складається із: 1 — приймального та вентиляційного відділення; 2 — очисно-сушильного відділення.

Процес сушіння сільськогосподарської продукції виконується пересувними і стаціонарними зерносушарками, а також за допомогою повітряних підігрівачів і вентиляторів.

Класифікація сушарок здійснюється відповідно до способу теплопередачі (конвективного, кондуктивного, комбінованого), характеру руху зернової маси та схем подачі теплоти.

Найпоширеніші — шахтні сушарки (ЗШ, ДСП, СЗШ), конструкція яких містить комплектується однією або кількома вертикальними камерами з прямокутними перерізами. Верхні секції працюють у режимі нагрівання газоповітряною сумішшю, нижні — у режимі із охолодженням атмосферним повітрям. Робоча площа камер становить від 40 до 60 м², що дозволяє одночасно завантажувати від 20 до 30 т зерна зі шаром 0,5–0,8 м [14].

Перспективними є сушарки з псевдокиплячим шаром, де забезпечується інтенсифікація конвективного теплопереносу, зменшення аеродинамічного опору та зниження по питомих енерговитратах. Ці технології реалізуються у вібраційних і ротаційних аеросушарках.

2.3 Аналіз тенденцій розвитку конструкцій сховищ сільськогосподарської продукції

Щодо зерносховищ, то вони становлять важливу категорію сучасних сільськогосподарських об'єктів, основним призначенням яких є забезпечення довготривалого зберігання сільськогосподарської продукції, а також приведення її до нормативних показників, таких як вологість і температура. Ефективність роботи таких споруд визначається здатністю підтримувати стабільні параметри мікроклімату, що мінімізують втрати маси, запобігають самозігріванню та забезпечують належні умови для подальших технологічних процесів.

Стаціонарні зерносховища повинні гарантувати захист продукції від птахів, гризунів, комах-шкідників і кліщів, а також забезпечувати можливість проведення дезінсекції та видалення пилу. Найбільш надійними є силоси

виконані зі збірним або монолітним залізобетоном, а також мають циліндричну чи прямокутну форму, зазвичай із конусним днищем і розташуванням на фундаментах (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Загальний вигляд металевих зерносховищ

Зберігання здійснюється у двох режимах: підлоговому та силосному, залежно від виду продукції, її вологості та технологічних потреб підприємства.

Сучасними зерносховищами повинен забезпечуватись комплексний захист сільськогосподарської продукції від впливу атмосферними опадами, коливань температури, ураження шкідниками і гризунами, проникнення ґрунтових вод, а також інших зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на якість продукції при зберіганні. Відповідність цим вимогам значною мірою залежить від конструкційних особливостей споруди, рівня автоматизації та наявності спеціалізованого обладнання.

Одним із поширених типів сучасних зерносховищ є використання безкаркасних аркових ангарів, які набули широкого використання як у світі, так і в нашій країні. Конструкційні особливості таких ангарів забезпечують

швидке зведення, механічну стійкість та можливість інтеграції різноманітних технологічних систем. В ангарного типу спорудах відносно просто встановлюються системи контролю та регулювання мікроклімату, параметри яких можуть бути розраховані відповідно до обсягів та фізико-технологічних властивостей зернової маси.

Найраціональнішими за ефективністю використання простору та рівнем технологічності вважається використання циліндричних металевих силосів (рис.2.8). Зокрема, вони обладнані сучасними комплексами для переміщення, кондиціювання та первинної переробки зерна, що дозволяє мінімізувати ручну працю та підвищити точність операцій.

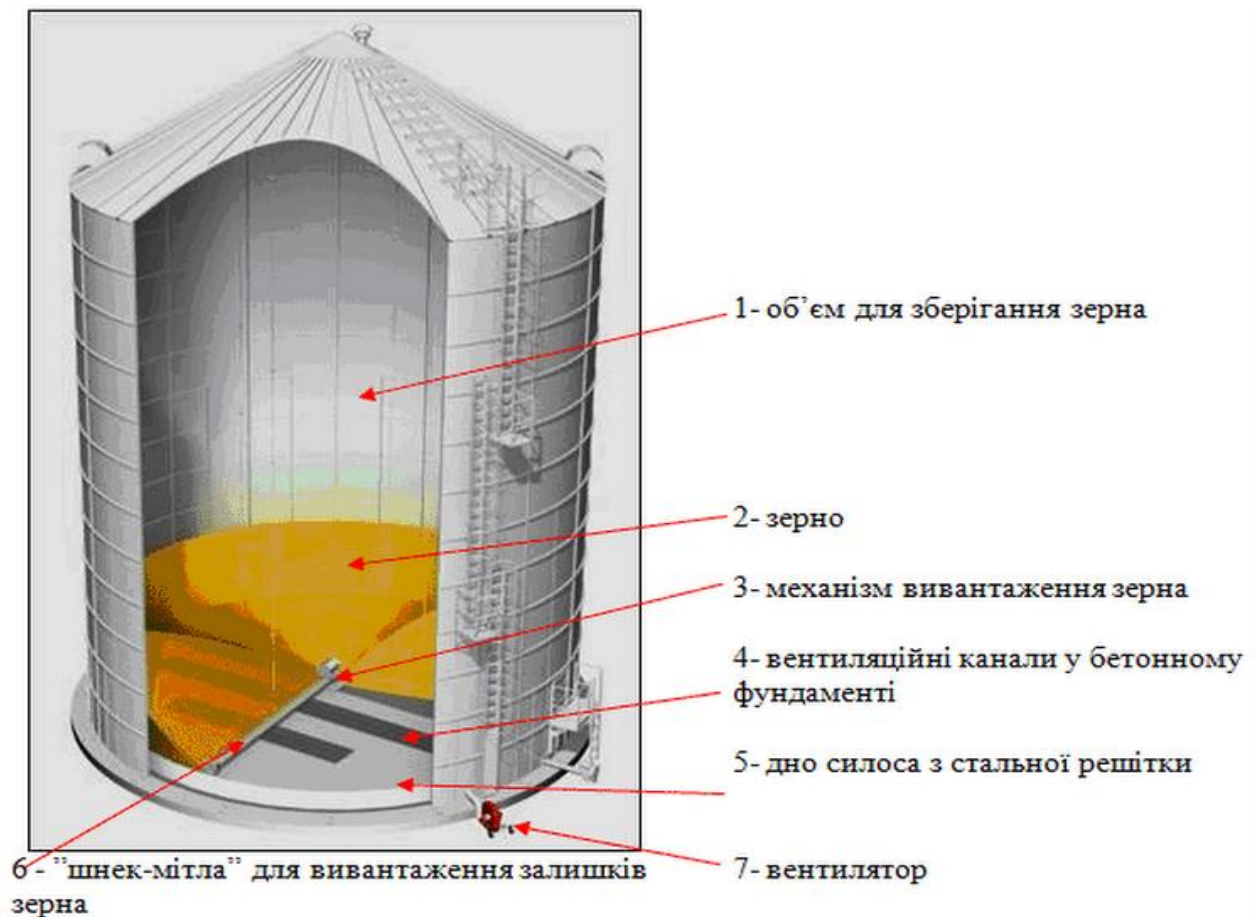


Рисунок 2.8 - Загальний вигляд вентиляваного зерносховища із плоским дном

Український ринок містить широкий спектр таких споруд від провідних виробників:

- Північноамериканських компаній: Brock, GSI, Westeel, MFS, Scafco;
- Вітчизняних підприємств: КМЗ, Одеський елеваторний завод, Лорд;
- Європейських виробників: Obial, Brice-Baker, Mulmix, Riela, Araj, Cordoba, Frame, Chief, Symaga.

Об'єми циліндричних сховищ цієї групи може варіюватися 20 тис. м³ - 40 тис. м³, залежно від технологічного призначення та вимог підприємства.

Виготовленням циліндричних силосних сховищ займаються такі відомі європейські підприємства, як: SLK Schutz (Німеччина), Agrotec (Німеччина), Buschhoff (Німеччина), Wellenbrock (Німеччина), Mulmix (Італія), Agroing (Чехія), Cordoba (Іспанія), SIAGRA (Чехія), Gruber Maschinen GmbH (Австрія) та інші. Зазвичай ці сховища оснащуються завантажувальними та розвантажувальними механізмами, та відповідно системами моніторингу температурного стану сільськогосподарської продукції.

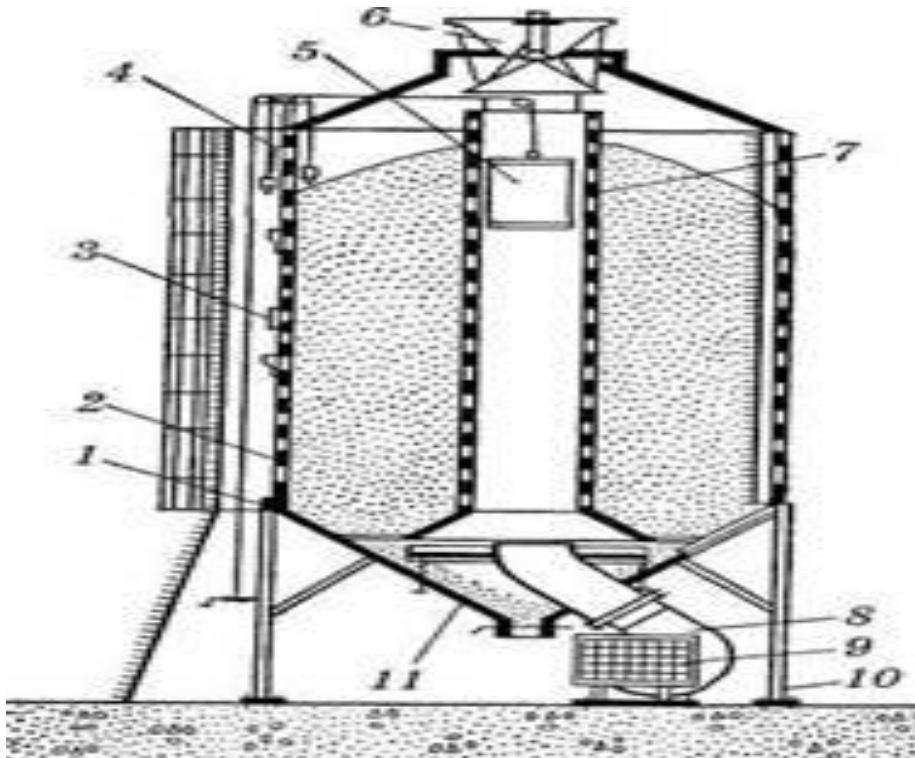


Рисунок 2.9 - Загальний вигляд бункера активного вентилявання

Складається із: 1 — кільцевої рами; 2 — корпуса; 3 — регулятора вологості; 4 — вантажини; 5-клапана; 6 — розподільника зерна; 7 — труби

повітророзподільної; 8 — вентилятора із електродвигуном; 9 — електрокалорифера; 10 — опори корпусу; 11 -регулювального кільця.

Riela - є одним із провідних європейських виробників великих зерносховищ, комплексів місткістю від 10 до 10 000 м³. Силоси (рис. 2.8) цього типу мають плоске дно та можуть досягати висоти 30 м.

Amazon - здійснює виготовлення як циліндричні металеві силоси, так і підлогові зерносховища, а також бункери із активним вентиляванням сільськогосподарської продукції (рис.2.9).

2.4 Аналіз перспективних напрямків розвитку технологічних процесів зберігання сільськогосподарської продукції

У відповідності з аналізом сучасних досліджень у сфері використання технологічних процесів при зберіганні сільськогосподарської продукції, варто підкреслити, що вони є ключовими та невід’ємними елементами технологічного циклу виробництва зернових культур. На сучасному етапі розвитку аграрної галузі існує значна кількість типів і конструкцій зерносховищ, у яких знайшли широку реалізацію науково обґрунтовані інженерні і технологічні рішення. Проведений аналіз дає змогу сформулювати низку пропозицій, що мають важливе значення оптимізації у технічному та технологічному заходах, спрямованих на забезпечення стабільних умов при зберіганні й зменшенні втрат сільськогосподарської продукції:

1. Післязбиральна обробка сільськогосподарської продукції потребує використання силосів як обов’язкового елемента технологічної схеми. На першому етапі такі силоси доцільно застосовувати для тимчасового зберігання та консервації сільськогосподарської продукції із підвищеною вологістю, а також для зберігання приведеної до стандарту по вологості сільськогосподарської продукції; на другому етапі — використовувати сховища промислового призначення для тривалого зберігання кондиційної продукції.

2. Для тимчасового зберігання сільськогосподарської продукції високої вологості, а також для зберігання висушеної продукції доцільно застосовування ємностей із радіальним продуванням та конусним розвантажувальним днищем (рис. 2.10). Такі конструкції забезпечують рівномірний розподіл повітряних потоків, що сприяє стабілізації температурно-вологісного режиму.

3. Для тривалого зберігання кондиційної сільськогосподарської продукції, залежно наявним обсягам, рекомендується застосовувати циліндричні силоси або металеві споруди підлогових типів з вертикальними продуваннями через повітророзподільні аеродинамічних систем. Це дозволяє підтримувати сталий мікроклімат сільськогосподарської продукції та знижувати ризик самозігрівання.



Рисунок 2.10 - Загальний вигляд силосу для зберігання зернових мас із конусним днищем

Відповідно до зазначених положень була сформована дослідницька програма, яка реалізована в даній роботі.

Окрему увагу було приділено аналізу переваг металевих зерносховищ, серед яких виокремлено такі ключові аспекти:

1. Зниження капітальних та трудових витрат. Завдяки промисловим методам виготовлення й монтажу металевих конструкцій показник капітальних витрат зменшуються від 2 до 3 рази, трудомісткість від 4 до 5 раз, а відповідно і зменшення загальних термінів монтажних робіт.

2. Ефективність активного вентилявання. Металеві сховища забезпечують можливість застосування сучасних технологічних прийомів при тимчасовому зберіганні сільськогосподарської продукції та в процесі остаточного сушіння, що сприяє зниженню втрат і підвищенню ефективності зберігання.

3. Повні процеси механізації технологічних операцій. Модернізовані системи навантаження, транспортування та розвантаження сільськогосподарської продукції забезпечують високий рівень механізації та мінімальні технічні втрати продукції.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЗДІЙСНЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Інженерні розрахунки при вентилюванні сільськогосподарської продукції

У процесі застосування сховищ з радіальним вентилюванням сільськогосподарської продукції, а також під час визначення технологічних параметрів процесу сушіння, доцільно прийняти те, що виділення вологи із продукції яка іде на зберігання відбувається з постійною швидкістю. Значна кількість дослідників — як теоретиків, так і практиків — відзначають, що при висушуванні сільськогосподарської продукції до відповідних показників із використанням сушильного агента температурою до 45 °С не погіршує його посівних якостей.

В економічному аспекті раціональним є проведення активного вентилювання та часткового підсушування повітрям, підігрітим від 10 до 12°С. За таких умов можна вважати, що під час радіального продування, у зоні, яка прилягає до центрального повітророзподільника, сільськогосподарська продукція підсушується інтенсивніше. Водночас, периферійні шари, близько зовнішньої циліндричної стінки може спостерігатися недостатнє сушіння або додаткове зволоження сільськогосподарської продукції.

На підставі цього робимо припущення, що протягом усіх періодів сушіння, за умови відсутності переміщення сільськогосподарської продукції в об'ємі ємності, рівень вологи у шарі поблизу центральної повітророзподільній трубі поступово досягатиме рівноважної вологості повітряного середовища.

Відповідно зробленим припущенням приймаємо, що показники відносної вологості повітря (φ_1) нагріте у калориферах до $t_1=20^\circ\text{C}$, згідно середніх сезонних параметрів осіні повітря $t_1=10^\circ\text{C}$, $\varphi_0=80\%$ [75], згідно 1-d діаграм — $\varphi_1 \approx 14\%$, а також вологовмісті $d_0=d_1=6.3$ г/кг згідно сухого повітря. Нижні межі вологості зернових шарів, відповідно відносної вологості агентів $\varphi_1=14\%$ та його температури $t_1=20^\circ\text{C}$, буде $\omega_c^p \approx 7\%$. Розрахунок його здійснюється згідно формули Гендерсона [12]

$$1 - \varphi_1 = e^{-k \cdot t \cdot (w)} \quad (3.1)$$

де n , K_2 - постійні коефіцієнти, які відповідають матеріалам, зокрема пшениця $n=2,225$; $K_2 = 5,47 \cdot 10^{-6}$; t_1 -температурні показники повітря, °C.

Максимальні показники вологості зернових мас у периферіях, згідно відповідного поєднання загальних товщин шарів, питомих показників подача повітря та температури, буде дорівнювати вихідним показникам вологості зерна яке висушуване або охолоджуване, при яких буде найбільший показник нерівномірності шарів:

$$\Delta \omega_{\max} \omega_1 - \omega_p$$

Температурні показники при нагріванні або охолодженні зернових мас де використано вентилязовані аеродинамічні системм, на основі дослідження, і із достатніми показникаит ступеня точності, визначають згідно формули С.Д. Птіцина [15]

$$t_3 = \frac{2340}{37 + 0.63 \cdot \omega} + 20 - 10 \lg t \quad (3.2)$$

де t_3 -температурні показники нагрівання зернових мас, °C; ω - середні показники вологості згідно із періодом зберігання зернових мас, %; t -періоди проування зернових мас, год. Потрібно відзначити, що при температурних показниках повітря $t_1 = 20^\circ\text{C}$, температурні показники зернових мас t_3 із показниками вологості не нижче гігроскопічної у періоди зберігання залишаться рівними температурам мокрого термометра $t_3 = t_m$.

Якщо зернова маса досягне показника критична гігроскопічна вологість (ω_{kp}^2), температурні показники зернової маси можуть збільшитися ($t_3 > t_m$), при тому відбудеться збільшення термостійкості зернової маси по мірі зниження показника вологовмісту. Зберігання зернових мас із використанням центральної труби, або плоскої перфорованої поверхні в основному вентилявання буде здійснюватись при кондиційному показнику вологості, температурні показники повітря ($t_1 = 20^\circ\text{C}$) будуть відповідними згідно тривалого періоду вентилявання, а також при зберіганні зернових мас.

Ці твердження підтверджують такі дослідники як Шибасєва П.М. та Карпова Б.А. [16] згідно досліджень зберігання насіння зернових культур у насипах підігрітим повітрям.

Визначення інших параметрів процесів зберігання згідно умов: сушіння зернових мас у періоди дій повітря буде здійснюватись до цього часу, поки показники середньої вологості усієї зернової маси яка міститься вентильованим силосом не зменшиться у відповідності кондиційній 13-14%, а показники температури її не будуть рівні температурним показникам повітря. При тому, зовнішні шари зернової маси будуть мати показники вологості близькі до початкових, а при першому наближенні, будемо вважати, що показники швидкості сушіння в усьому зерновому обсязі постійні. Відповідно, показники тривалості зберігання при сушінні (із підігрітим повітрям) можуть визначатись із наступних умов. Показник кількості вологи, яка випарувалась згідно періоду сушіння у установках циклічної дії

$$W = G \cdot \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = \frac{L_n \cdot (d_2 - d_1)}{1000} \quad (3.3)$$

де G - маса зерна яка зберігається, кг; ω_1, ω_2 - початкові та кінцеві показники середньої вологості зернової маси, %; L_n - загальні показники витрати повітря згідно періоду вентильовання, яку визначають:

$$L_n = q_m \cdot G, \text{ кг.} \quad (3.4)$$

де q_m - питомі показники витрати повітря, кг/год на один кілограм зернової маси.

Згідно із (3.3) показник вологовмісту повітря на верху шару (d_1) а в низу (d_2) визначається із I-d діаграми згідно температури та відносної вологості при подачі (t_1, φ_1) та відпрацювання (t_2, φ_2) повітря. Показник тривалості періоду сушіння (подача гарячого повітря) з зернових мас із урахуваннями (3.3) і (3.4)

$$\tau = \frac{1000 \cdot (\omega_1 - \omega_2)}{(100 - \omega_2) \cdot (d_2 - d_1) \cdot q_m}$$

При збільшенні питомої подачі (q_m) та ступеня вмістів вологи (d_2-d_1) із повітря, тривалості сушіння зменшаться. Розрахункові показники тривалостей сушіння, одержані згідно рівнянь (3.3), (3.4) у 1,5-2,0 рази нижчі у порівнянні значення попереднього рівняння. Відповідно до цього, згідно умови зберігання зернових мас із вентиляванням, здійснено перерахунок рівнянь та викладено методику розрахунків процесів сушіння, що потребують уточнень проведенням експериментальних досліджень.

Середні показники температури зернової маси у процесах зберігання визначають згідно із рівнянням теплового балансу при його вентиляванні. Відповідно до цього втратами тепла у навколишнє середовище нехтуємо, та отримаємо:

$$t_{m2} = \frac{C_{a1}L_n t_1 + C_{m1}G_l t_{m1} - C_{a2}L_n t_2}{C_{m2}G_2 t_2} \quad (3.5)$$

де, $C_{a1}L_n t_1$ - тепло, яке поглинає повітря на протязі вентилявання; $C_{m1}G_l t_{m1}$ - тепло, яке поглинає зерно; $C_{a2}L_n t_2$ - тепло, яке відводиться із відпрацьованим повітрям при вентиляванні; $C_{m2}G_2 t_2$ - тепло, яке витрачається при нагріві (охолодженні) зерна при вентиляванні; C_{a1} , C_{a2} - показники вагових теплоємностей повітря на входах у зернову масу та на виходах із неї; C_{m1} , C_{m2} - показники середніх теплоємностей зернових мас до та після вентилявання; G_1 , G_2 - показник маси зерна в період зберігання; t_{m1} - температурні показники зернової маси до зберігання.

Відповідно на прикінці періодів активного вентилявання нагрітим повітрям із середнім показником вологостей зернових мас 13-14%, будемо мати у напрямках потоків повітря значні нерівномірності шарів, згідно показників вологостей, а також температури, згідно із цим у періоди продування гарячим повітрям, зернову масу доцільно обробляти атмосферним повітрям. Подача повинна здійснюватись у тих же напрямках, як і теплове вентилявання, щоб проходили процеси як охолодження, а також проходило встановлення рівномірної вологості згідно об'єму. Впливи обробки атмосферним повітрям та перерозподіли температур згідно обсягів зернових

мас при використанні таких режимів вентиляювання вивчено на не достатньому рівні. Зважаючи на це, можливо зробити припущення, що ув процесах охолодження зернових мас, накопичення згідно часу вентиляюванням тепло буде мати вплив на процеси сушіння зернових мас, зокрема на периферіях, що можливо буде мати вплив на потоки натури зернових мас. Витрату тепла яка витрачається на нагріві повітря у періоди зберігання зернових мас визначають згідно рівняння:

$$Q = L_n \cdot (L_1 - L_0) \quad (3.6)$$

де L_1, L_0 - показники тепломісткості навколишнього та підігрітого повітря, які можливо визначити згідно L-d діаграми.

Показники питомих витрат тепла для здійснення вентиляювання зернових мас визначають згідно формули:

$$q_m = \frac{1000 \cdot (L_1 - L_0)}{d_2 - d_1} \quad (3.7)$$

Середні показники питомих витрат тепла на підігрівання повітря згідно повного циклу вентиляювання визначаються:

$$q_{Tcr} = \frac{Q}{W_{общ}} \quad (3.8)$$

де $W_{общ}$ - загальні кількості вологи яка випаровується згідно періоду вентиляювання, які визначають згідно суми:

$$W_{общ} = W + W_{охл} = \frac{L_n(d_2 - d_1)}{1000} + \frac{L_{охл}(d_3 - d_0)}{1000}, \quad (3.9)$$

тут $W_{общ}$ – показник кількості вологи, яка випаровується із зернової маси в період охолодження повітрям; $L_{охл}$ -витрати повітря на охолодження, d_3, d_0 - показник вологоутримання повітря яке використовується для охолодження при входах у шари та виходах із них. Використання калориферного підігріву повітря $d_0 = d_1$ та єдиної аеродинамічної системи $L_n = L_{охл}$.

Якщо підставити значення Q і $W_{общ}$ та враховати $L_n = L_{охл}$.

Отримаємо:

$$q_{Tcr} = \frac{l_n(I_1 - I_0)1000}{L_n(d_2 - d_1) + L_{охл}(d_3 - d_0)} = \frac{1000(I_1 - I_0)}{[(d_2 - d_1) + (d_3 - d_0)]} \quad (3.10)$$

Згідно аналізу залежностей будемо бачити, якщо $d_0 > d_3$, значення другого доданку знаменника буде від'ємне та середні питомі витрати тепла q_{Tcr} будуть збільшуватись. Відповідно, процеси охолодження доцільно проводити згідно параметрів охолоджуючого повітря, що будуть забезпечувати відповідне видалення вологи з зернових мас, або згідно сталої вологості останнього, а саме відповідно до умов $d_3 \geq d_0$. Значення питомих витрат електроенергії щодо вентилявання, згідно повного циклу використання сховищ будуть:

$$\Xi = \frac{N_B \tau}{W_{общ}} \quad (3.11)$$

де N_B - значення потужності, яка споживається вентилятором, та визначається згідно формули:

$$N_B = \frac{L_n \cdot P}{3600 \cdot 102 \eta_B} \quad (3.12)$$

де P – значення загального аеродинамічного опору вентиляційної системи; η_B - ККД вентилятора.

Відповідно до цього формула (3.11), згідно із періодом вентилявання із використанням підігрітого повітря, набуде вигляду:

$$\Xi = \frac{P}{367.2(d_2 - d_1)^{\eta_B}} \quad (3.13)$$

Значення середніх затрат електроенергії згідно повного циклу зберігання при рівних питомих витратах теплоти, визначаються згідно залежностей:

$$\Xi_{ср} \cdot \frac{N_B \cdot \tau}{W_{общ}} = \frac{L \cdot P}{(W + W_{охл}) \cdot \eta_B} = \frac{P}{367.2 \cdot (d_2 + d_3 - 2 \cdot d_1)^{\eta_B}} \quad (3.14)$$

де $W_{охл}$ - показник кількості вологи, яка випаровувалась із зерної маси у періоди охолодження, кг/год; P – значення загального аеродинамічного опору вентиляційної системи, η_B - ККД вентилятора; H /м²; N_B - показник споживчої потужності вентилятора, кВт.

Відповідно до цього витрата електроенергії яка затрачається на вентилявання зернових мас, згідно циклу нагріву-охолодження, віднесено до

одиниць вологи, яка випарувалась буде прямо-пропорційна загальним показникам гідравлічного опору аеродинамічних систем, а також зернових шарів, та обернено пропорційна показнику вологоутримання і показнику відносної вологості повітря. Згідно із цим показник вологовмісту повітря пропорційно початковим показникам температури. Один з напрямів підвищення ефективностей зберігання зернових мас при активному вентиляванні буде відповідати підвищення температури нагрітого повітря до допустимих величин та охолодження їх згідно низьких температур атмосферним повітрям. Щоб це підтвердити є необхідність проведення експериментальних досліджень.

3.2 Методика визначення відведення вологи у радіальному шарі сільськогосподарської продукції при активному вентиляванні

Найширше дослідженими та вивченими по технологічних та експлуатаційних показниках є питання що відносяться до металевих зерносховищ із вертикальними продуваннями продукції [2, 3, 6, 13]. Натомість конструкції із радіальними продуваннями досліджені значно менше. Особливу увагу заслуговують роботи І. М. Босіна, у яких детально здійснено опис процесів сушіння сільськогосподарської продукції у кільцевих шарах.

Згідно великої кількості по конструкції та номенклатурі силосів з вертикальним продуванням, однозначні рекомендації по їх експлуатації, зокрема конструкцій з конусним розвантаженням, залишаються обмеженими з урахуванням кліматичних умов України. У період жнив та збирання сільськогосподарської продукції спостерігається значна кількість опадів та високий рівень вологості у атмосферному повітрі, що призводить до накопичення вологи у конусних частинах сховищ. Це зумовлює ризики злежування, погіршення повітропроникності та псування сільськогосподарської продукції.

Згідно програми досліджень передбачено здійснення лабораторних експериментів із використанням дослідної установки. Обробку та аналіз

результатів здійснювали відповідно до чинних методик і стандартів (ГОСТ). Для оцінювання якісних параметрів зернових мас застосовували підходи, розроблених низкою відомих науковців [16, 17].

До основних завдань програми входило:

- здійснення дослідження впливу параметрів повітря на процеси сушіння сільськогосподарської продукції при радіальному продуванні;
- виявлення закономірностей при нерівномірному сушінні у зерновому об'ємі;
- визначення аеродинамічних пристінних опорів відперфорованою поверхнею та прилеглим до неї шаром сільськогосподарської продукції.

Використовувалось наступне лабораторне обладнання:

- лабораторні ваги (похибка не більше 0,01 і 0,1 г);
- доски, скальпелі, набір щупів, совочки, бюкси для наважок;
- лабораторні сита (діаметр отворів 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 6,0 мм);
- вологомір (діапазон вимірювань 8 - 35 %);
- сушильну шафу СЕШ-3М;
- металеві бокси, шпателі, пінцети, щипці;
- технічні термометри (шкала до 150 °С);
- пробовідбірники;
- дерев'яні ящики для контролю температурних режимів;
- інше допоміжне лабораторне обладнання.

Статистичну обробку результатів здійснювали методами по математичній статистиці.

Лабораторна установка (рис. 3.1) містить аеродинамічну камеру з решітчастими стінками, між якими формувався шар сільськогосподарської продукції. Динамічний та повний напір повітря визначали мікроманометром із пневмометричною мікротрубною Піто.

Температуру та відносну вологість повітря яке подається і виводиться вимірювали психрометром Асмана, задані температури входу у шар

підтримували автоматично та контролювали трьома ртутними термометрами з ціною поділки 0,5 °С.

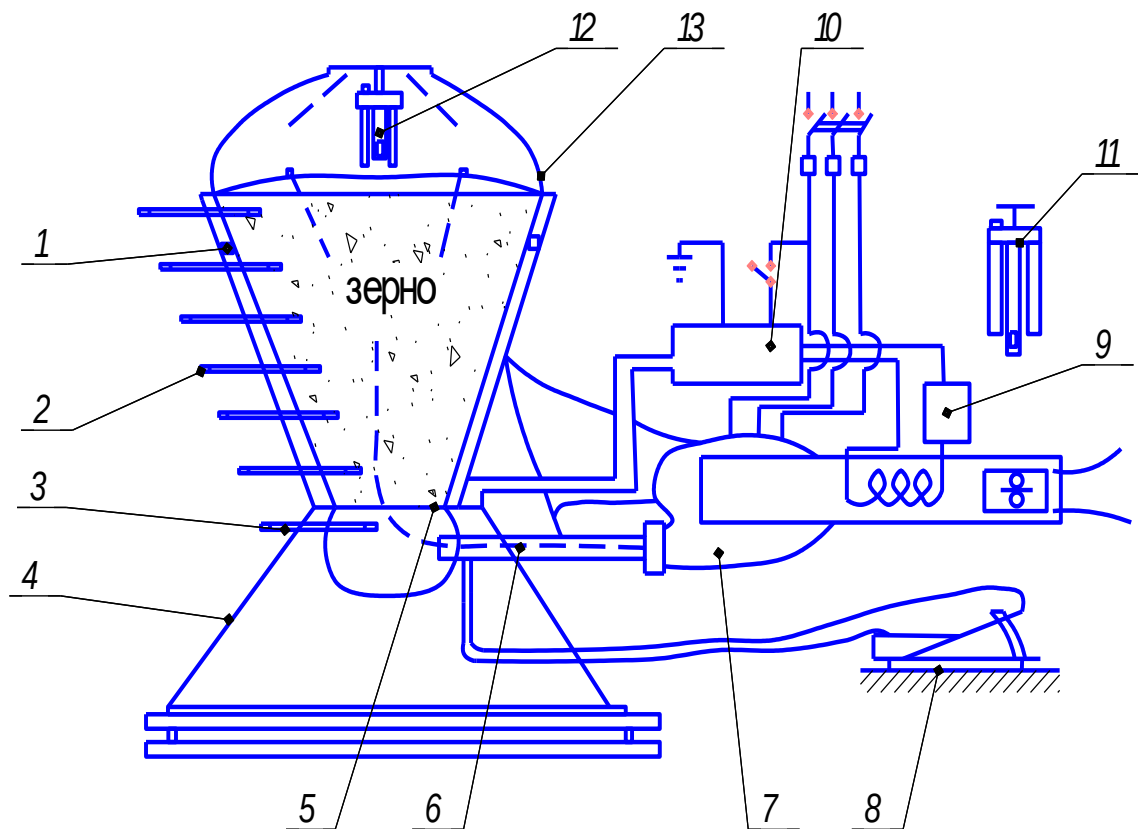


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд експериментальної установки щодо дослідження процесів вентиляції зерної маси у радіальному шарі

Дана експериментальна установка складається із: 1-аеродинамічної сушильної камери; 2-термометрів вимірювання температури зернової маси; 3 - термометрів які контролюють температуру теплоносія; 4 - платформних ваг; 5 - ртутного електроконтактного термометра; 6 – пристрій замірів витрат повітря; 7 - вентилятора із електрокалорифером та дроселем; 8 - мікроманометра; 9 - реостата; 10 - блоку автоматичної підтримки температурних режимів теплоносія; 11-12 - психрометрів; 13 - дифузору змінного.

Установка, змонтована на вагах, дозволяла фіксувати збільшення або зменшення маси зерна під час вентилявання. Похибка визначення маси

становила 5 % при інтервалі зважування 2 год. Похибка визначення випаруваної води не перевищувала 1,2 %.

Вологість зерна по перерізу шару визначали відбором проб штанговим пробовідбірником із подальшим висушуванням у шафі СЕШ-ЗМ. Температуру зернового насипу вимірювали ртутним термометром (ціна поділки 0,2 °С) через кожні 200 мм по висоті шару. Для уникнення похибок подачу теплового повітря вимикали на 5 хв під час реєстрації температури.

Посівні якості (енергія проростання, схожість) оцінювали за ГОСТ 5055. Використовували щойно зібране зерно та штучно зволожені партії після 2–3-добового відлежування. Для забезпечення однорідності за вологістю зерно попередньо перемішували у змішувачі барабанного типу.

Підсушування та продування в радіальному шарі висотою 0,38...1,2 м проводили з дворазовим повторенням при температурах 20, 30, 40, 45 і 50 °С та питомих подачах q_c у межах 0,4–2,0 м³/(год·кг) сухої речовини. Цикл прогрівання завершували за умов досягнення середньої (інтегральної) вологості 16,3...16,8 %.

Достовірність результатів залежала від точності вимірювань витрати повітря, температури, а також від рівномірності попереднього зволоження та змішування зернової маси.

Особливості процесів сушіння в нерухомих шарах зерна

Якість зберігання сільськогосподарської продукції у нерухомому шарі безпосередньо залежить від температурно-вологісного стану зерна (рис. 3.2). Згідно аналізу діаграми бачимо, що при вентиляванні із використанням атмосферного повітря із відносним показником вологості менш ніж 70 % відбуватиметься поступове підсушування сільськогосподарської продукції. Це супроводжується фазовим перерозподілом води в напрямку руху повітря (рис. 3.3).

За відносної вологості повітря понад 70 % під час продування кондиційної сільськогосподарської продукції (від 14 до 15,5 %) відбуватимуться процеси зволоження, що небажано при зберіганні.

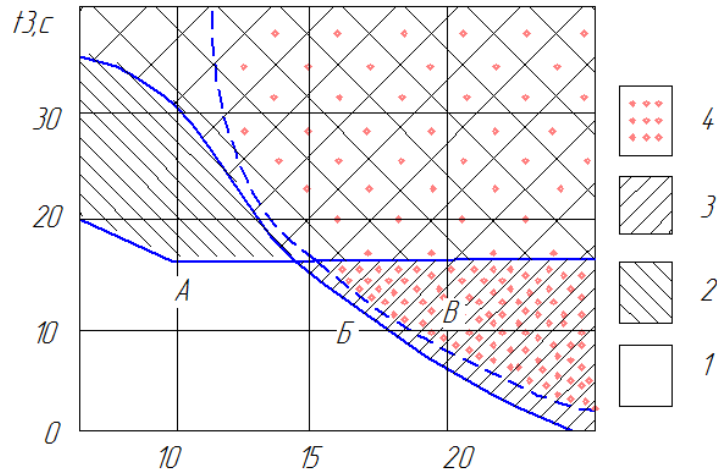


Рисунок 3.2 - Відображення діаграми взаємозв'язку температури та вологості для ячменю та зберігання 8 місяців (по Баргесу та Барелю)

Згідно діаграми можливо акцентувати увагу на основних умовах зберігання зернових мас: 1 - безпечні зберігання; 2 – утворення осередків зігрівання під впливом бактерій та комах; 3 – зниження показників якості, зокрема посівних; 4 – процеси пов'язані із самозігріванням; А, Б і В – зони або межі перехідні.

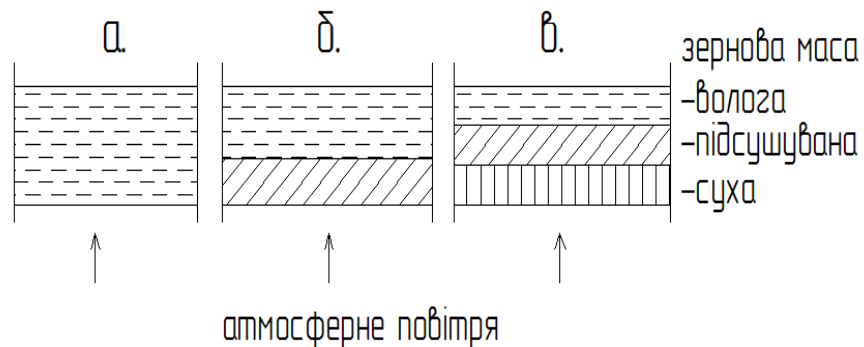


Рисунок 3.3 - Схема послідовності переміщення вологи у зернових насипах при здійсненні продування атмосферним повітрям із показником відносної вологості менше 70%

Виділяємо наступні періоди продування зернових мас: а) перший-початковий; б) другий-підсушування; в) третій-сушіння.

Опрацювання результатів досліджень здійснювалось згідно методики Н. К. Вальднера [16]. Згідно процесів здійснення підсушування зернових мас, значення кількості видаленої із них води визначали згідно формули:

$$M_2 - M_1 W = M_3 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}$$

де M_1 і M_2 - відповідні показники маси зерна до та після продування повітрям із показником відносної вологості менше 70%; W - показник кількості видаленої води з зернової маси; ω_1 і ω_2 -відповідні показники вологості зернової маси до та після продуванням повітрям.

При зволоженні кондиційних зернових мас, показники кількості води визначається згідно формули:

$$M_3 - M_1 = W = M_3 \frac{\omega_3 - \omega_1}{100 - \omega_1}$$

Де M_3 і ω_3 - показники маси та вологості зернової маси після продування повітрям із відносним показником вологості більше 70%.

Показники по подаваному та видаленому теплу Q в умовах зберігання зернових мас будуть залежати, від показників різниць температур атмосферного повітря t_0 та зернової маси t_3 відповідно визначаються згідно залежності:

$$\pm Q = M \cdot C(t_3 - t_0) \quad (3.15)$$

де M – початкові показники маси зерна, C - значення теплоємності зерна. Знак (+) відображає показник кількості тепла що надходить у зернову масу, а знак (-) показник кількості тепла яке віддає зернова маса.

Необхідну кількість « L » повітря щодо виділення води з зернових мас визначають згідно із залежністю:

$$L = (M_1 \frac{\omega_1}{100} - M_2 \frac{\omega_2}{100}) : \frac{d_2 - d_1}{1000} \quad (3.16)$$

d_1 і d_2 - показники кількості води у 1кг повітря до та після продування зернових мас.

При проведенні дослідження доцільно визначити та здійснювати контроль наступних параметрів:

- температури та відносної вологості атмосферного повітря;
- температури та відносної вологості відпрацьованого повітря;
- витрати, повного напору та температури повітря, яке подавалось у шари зерна (кожних 2 години із 3-х кратним повторенням);
- зміни у часі (кожні 2 год.) щодо вологості зернової маси та температур по товщинах шарів, які продуваються у різних точках згідно висоти - 0,2 м (із 3-х кратним повторенням);
- вихідні показники вологості зернової маси та її кінцеві інтегральні вологості (із 3-х кратним повторенням);
- вихідні та кінцеві насінні показники якостей зернової маси (із 3-х кратним повторенням).

Згідно із нормальним законом розподілу імовірностей щодо випадкових похибок, значення середніх квадратичних відхилень визначають згідно формули:

$$Sv_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (v - v_{cp})^2}{n - 1}}$$

де, n – показник кількості вимірювань для $v_{cp} \cdot t_1$ та ω_1^c – значення середніх квадратичних відхилень складали $Sv_{cp} = 0,18$ м/сек, $St_1 = 0,57^\circ\text{C}$; $S\omega_1^c = 0,46$, а значення коефіцієнтів варіації:

$$fv_{cp} = \frac{Sv_{cp} \cdot 100}{\sigma} = 1,4\%, \quad ft_1 = 1,42\%, \quad f\omega_1^c = 1,1\%$$

Значення середніх випадкових помилок вимірювання швидкостей повітря, температурних та показників вологості зернових мас здійснюємо визначення згідно формули:

$$\Delta v_{cp} = \frac{P_B \cdot Sv_{cp}}{\sqrt{n}}$$

Провівши розрахунки отримаємо $\Delta v_{cp} = 0,13/\text{сек}$; $\Delta t_1 = 0,41^\circ\text{C}$; $\Delta \omega_1^c = 0,33\%$. Згідно прийнятого ступіня імовірності 0,95, показник значення щільностей розподілу $P_a = 2,26$. Значення відносних середніх випадкових похибок вимірювання у вказаних величинах при ступенях імовірності 0,95 будуть рівні:

$$Qv_{cp} = \frac{\Delta v_{cp} \cdot 100}{\sigma} = 1.02\%, \quad Qt_1 = 1.03\%, \quad Q\omega_1^c = 0.78$$

Сумарні відносні похибки кожних дослідів згідно вологості зернових мас в цілому, та із урахуваннями помилок вимірювання і похибки вимірювальних приладів не перевищували $\pm 8,66\%$.

$$\omega = \frac{100 \cdot \omega^c}{100 + \omega^c},$$

$$\omega^c = \frac{\omega \cdot 100}{G_c}.$$

$$\omega^c = \frac{\omega}{100 - \omega} \cdot 100,$$

$$G_c = G \frac{100 - \omega}{100}$$

де ω^c - показник вологості зернової маси до маси сухих речовин, %; ω -показник вологості зернової маси до загальної, %; G_c - значення ваги сухого матеріалу, кг; G –загальні показники ваги матеріалу, кг

4. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Розрахунок та визначення технологічних параметрів процесів активного вентилявання зернової маси

Значення розрахункових формул, щодо здійснення розрахунків пристінних опорів, згідно із підстановкою виразів набудуть вигляду:

$$\Delta P_{\text{пр.ц}} = A_{\text{пр}} \left[\frac{q\gamma\gamma(R_k^2 - r_{\text{ц}}^2)}{7200r_{\text{ц}}} \right] \quad (4.1)$$

Згідно формули (4.1) можливо виведення рівняння щодо визначення опору зернових шарів у бункерах при радіальному вентиляванні, продиференціюючи її згідно із змінною $h_{\text{сл}}$, отримаємо:

$$\partial P_{\text{сл}} = A v^n \partial h_{\text{сл}} \quad (4.2)$$

Значення повного аеродинамічного опору у радіальному шарі можливо визначити інтегруючи рівняння (4.2) у межах зліва від 0 до $\Delta P_{\text{сл}}$, а праворуч від $r_{\text{ц}}$ до R_k , зробивши зміни ∂h на $\partial \tau$ та підставили значення σ отримаєм:

$$\partial P_{\text{сл}} = \int_{r_{\text{ц}}}^{R_k} 1000 A \left[\frac{q v_z (R_k^2 - r_{\text{ц}}^2)}{7200 r} \right] \quad (4.3)$$

Проінтегрувавши згідно змінної r отримаємо розрахункові значення формули сопроотиву шарів:

$$\Delta P_{\text{ол}} = 1000 A \left[\frac{q\gamma_z (R_k^2 - r_{\text{ц}}^2)}{7200 r} \right] \cdot \frac{R_k^{l-n} - r_{\text{ц}}^{l-n}}{l-n}, \text{ Н/м}^2 \quad (4.4)$$

Наступні складові ($\Delta P_{\text{к}}$, $\Delta P_{\text{в}}$) згідном рівняння розраховують по відомим формулам аеродинаміки [8]. Обліки пристінних опорів дозволяють більш точно здійснити розрахунки сумарного опору аеродинамічної системи та більш точно здійснити підбір вентилятора, що відноситься до першорядного технологічного елемента вентиляваного сховища.

Щоб здійснити визначення наступних параметрів $\omega_1^c, q_c, t_1, \tau$ здійснено розробку сітчастої монограми (рис. 4.1), згідно із підручником [21]. Відповідно, якщо здійснюється приймання питомої подачі повітря $q_c = 0,7$ м³/Г,КГ із температурою $t_1 = 40$ °С, відповідно швидкість сушіння буде становити $N^c = 0,46\%$ / год, тривалості (експозиції) сушіння (τ), згідно із початковою вологістю зернової маси $\omega_1^c = 25\%$, в межах 19 год.

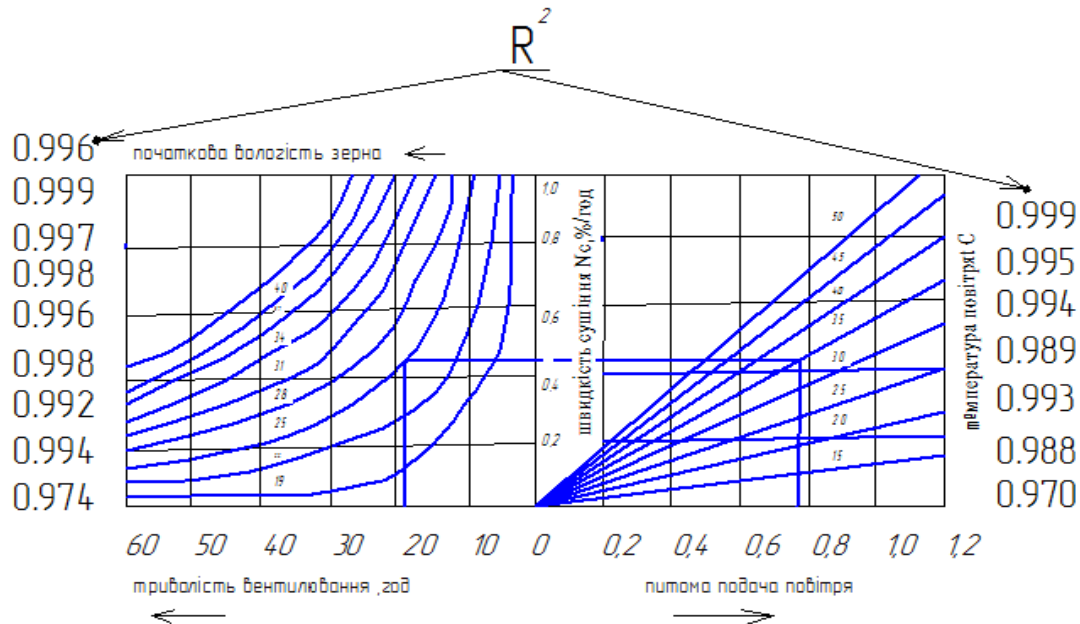


Рисунок 4.1 -. Номограма щодо аналізу та визначення параметрів подачі повітря та режиму вентилявання зернової маси у сховищах із радіальним шаром ($h=1,1$ м)

При процесах подачі повітря $d_1=6,3$ г/кг сухого повітря, кінцеві показники вологості зернової маси будуть становити $\omega_1^c = 16,3\%$)

4.2 Результати досліджень по видаленню надлишкової вологи у радіальному шарі сільськогосподарської продукції

Конструктивні особливості сховищ відображають аеродинамічні системи та технологічні схеми із горизонтальними продуваннями сільськогосподарської продукції є значно складнішими порівняно зі сховищами з вертикальними продуваннями. На основі наведених вище методик по визначенню процесів виділення вологи і нерівномірності

розподілу повітряних потоків у сільськогосподарській продукції були проведені лабораторні дослідження із застосуванням підігрітого повітря та зволоженої продукції.

Використання вимірювальних систем у лабораторній установці дозволяло фіксувати зміну температурних фаз та вологості в різних перерізах, а перепади слугували базовими характеристиками оцінювання процесів зберігання у силосах із радіальними продуваннями. Під час досліджень, при підігріванні повітря, підтримували постійну відносну вологість, що забезпечувало достовірність фіксації процесів видалення надлишкової вологи із сільськогосподарської продукції.

На рисунку 4.1 наведено графічні залежності, які характеризують видалення вологи та нагрівання зернових мас у поперечних перерізах радіальних шарів завтовшки $h = 1,1$ м при початковій вологості зерна $\omega^s = 25$ %. Дослідження проводили за температури та відносної вологості повітря $t_l = 40$ °C, $\phi_1 = 12$ %, а також питомої подачі повітря $q_c = 0,63$ м³/(год·кг) сухої речовини.

Отримані криві є типовими для позонних процесів сушіння великих нерухомих шарів (рис. 4.3, в). На основі аналізу залежностей (рис. 4.2) можна зробити висновок, що постійні параметри повітря впливають на процес видалення вологи найбільш інтенсивно у зонах, наближених до входу повітря у шар зерна. У цих областях чітко простежується направленість кривих видалення вологи вниз по товщині шару, тоді як криві нагрівання зміщуються вгору.

Нагріті повітряні потоки, проходячи крізь зернову масу, поступово втрачають температуру та насичуються вологою. Відповідно, із збільшенням товщини зернового шару зростає тривалість процесу видалення вологи. Найбільш інтенсивне зневоднення відбувається у зонах, що прилягають до входу повітря, тоді як віддалені області характеризуються меншою швидкістю сушіння. Це пов'язано з можливими явищами конденсації вологи на поверхні зерен при взаємодії з насиченим відпрацьованим повітрям.

Можна припустити, що за умови вентилявання зернової маси атмосферним повітрям спостерігатимуться подібні явища, залежно від його відносної вологості та температури. Важливо відзначити, що при заданих параметрах процесу (рис. 4.1), зокрема середній кінцевій вологості зернової маси $\omega_1^s = 16,8 \%$ та температурі повітря $t_{1c} = 34,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, видалення вологи відбувається з постійною інтенсивністю. При цьому зони стабілізації процесу не досягають верхніх меж зернового шару. Така послідовність сушіння по товщині шару підтверджує нерівномірність відведення вологи і нерівномірність нагрівання, що також спостерігається у промислових вентиляваних зерноскладах.

З метою уточнення режимів роботи вентилявальних систем було проведено визначення питомих подач повітря, за яких зона активного видалення вологи досягне верхніх меж шару і настане період зменшення швидкості зміни вологості. Для цього виконано серію досліджень із різними значеннями подачі повітря (рис. 4.3).

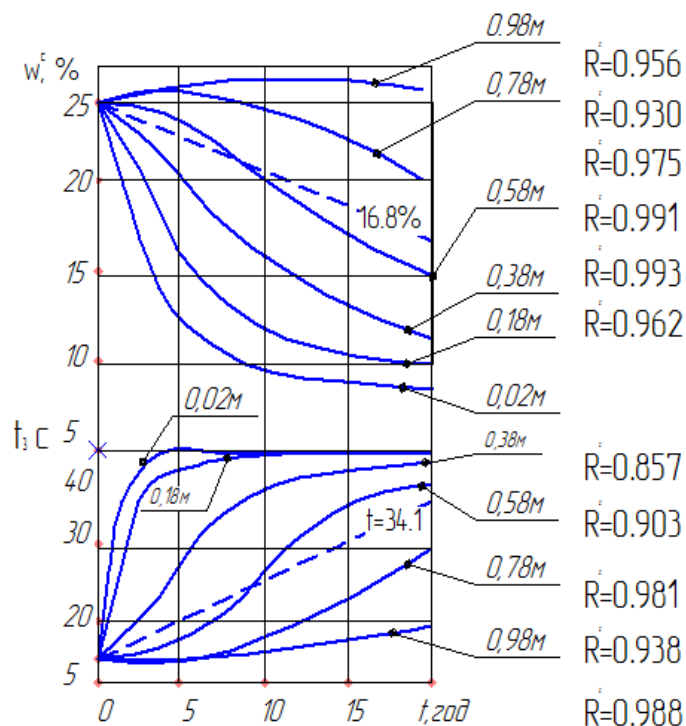


Рисунок 4.2 - Процес сушіння $q_c = 0.63 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$, та нагрівання зернового шару що радіально продувається на різних глибинів залежності від подачі повітря.

Для пшениці, $\omega_n = 25\%$; $t_1 = 40^\circ\text{C}$; $\varphi = 15\%$; $h=1.1\text{м}$

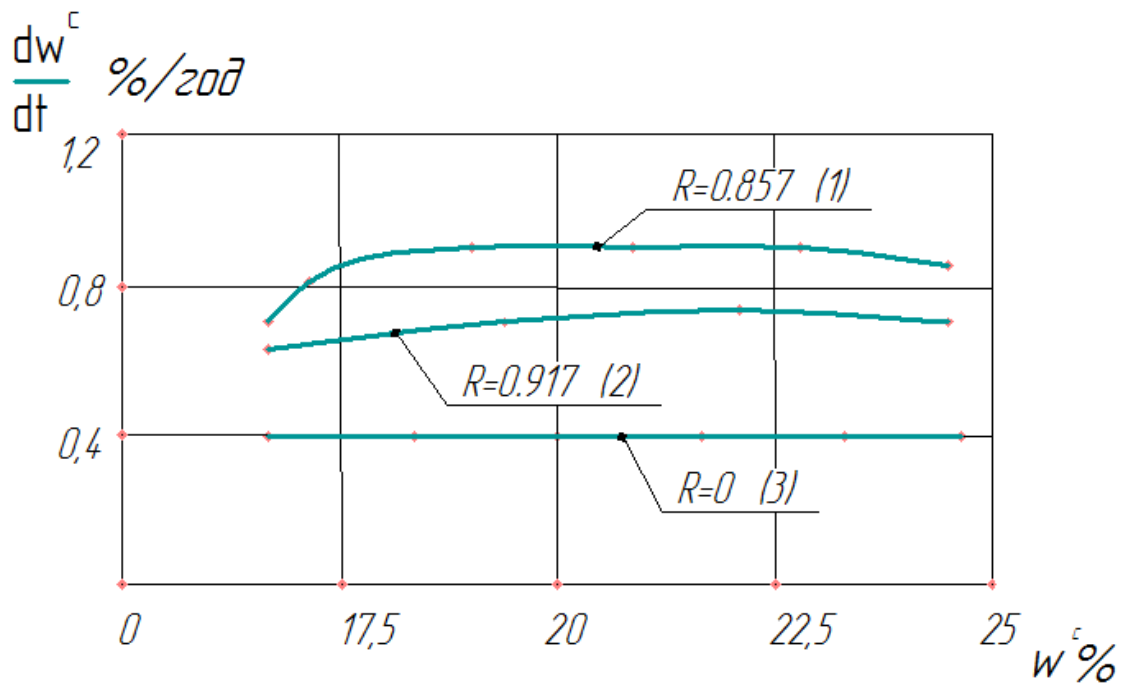


Рисунок 4.3 - Графік визначення швидкості видалення вологи з радіальних шарів зернової маси згідно різних питомих подач повітря ($t_1 = 40^\circ\text{C}$), перша крива $q_3^c = 1,46 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$; друга крива $q_2^c = 1,06 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$; третя крива $q_1^c = 0,63 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$;

Для пшениці, $\omega_n = 25\%$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $\varphi = 15\%$; $h_{\text{сл}} = 1,1\text{м}$

Аналізуючи результати даних дослідженню можливо зробити наступні висновки, що періоди постійних швидкостей видалення вологи згідно всієї товщини шарів закінчуються при наступних значеннях $q^c = 1,06 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$.

На основі цього показники значень питомих подач повітря при вентильованні зернових мас у радіальних шарах товщиною 1,1 м можливо приймати оптимальними. Наступні дослідження проводили при цих питомих подачах повітря. Відповідно реальним умовам зберігання зернових мас, особливо тривалих, необхідний постійний контроль відносної вологості та температури повітря.

Як впливає підігріте повітря на тривалості та нерівномірності видалення вологи шарах зернових мас графічно відображено на рис. 4.4. Статистичну обробку результатів досліджень відображено у таких залежностях:

$$\tau = D/(t_1 - t_0), \text{ год} \quad (4.5)$$

$$\Delta\omega^c = M/(t_1 - t_0), \% \quad (4.6)$$

D і M - значення коефіцієнтів, на які має вплив питома подача повітря, початковий вміст вологи, початкова вологість зернв і вид культури; t_1 і t_0 - значення температури атмосферного та нагрітого повітря. Зокрема пшениця

$$q_c = 1,28 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}, \omega_1^c = 24,7\% \text{ і } d_0 = 6,3 \text{ г/кг сух. пов.}$$

Показники значень коефіцієнтів D і M будуть рівними 260 та 0,46.

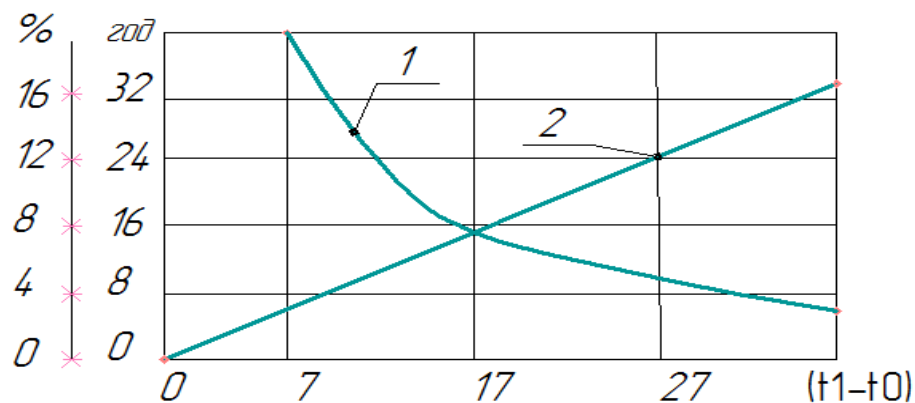


Рисунок 4.4 - Залежність впливу підігрівів повітря на тривалість та нерівномірності процесів сушіння зернових мас

Згідно першої кривої: $\tau = f(t_1 - t_0^1)$; та другої кривої: $\Delta\omega^c = f(t_1 - t_0^1)$

$$\text{Для пшениці, } h=1,1\text{м, } \omega_1^c = 24,7\%; \ t_0^1 = 13^\circ\text{C}; \ q_c = 1,28 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{кг}}$$

Згідно проведених досліджень доцільно відзначити, що із збільшеннями питомих подач повітря тривалості та нерівномірності відводу вологості із шарів зернових мас будуть зменшуватись (рис. 4.5). Відносно цього графічні залежності $\tau = f(q_c)$ та $\Delta\omega = f(q_c)$ набудуть гіперболічного вигляду. Згідно цих випадків за загальним виглядом, їх можливо відобразити наступними рівняннями $\tau = A \cdot q_c^{-a}$ та $\Delta\omega^c = B \cdot q_c^{-b}$. Провівши статистичну обробку результатів досліджень

коефіцієнти А, В, а, в для зернових культур за $t_1 = 40^\circ\text{C}$; $\omega_1^c = 24,7\%$ та у інтервалах $q_c = 0,4 + 2,0 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$, отримали наступні значення 13,0; 13,8; 0,96; 0,32, зокрема:

$$\tau = 13,0 \cdot q_c^{-0,96}, \text{ год} \quad (4.7)$$

$$\Delta\omega^c = 13,8 \cdot q_c^{-0,32}, \% \quad (4.8)$$

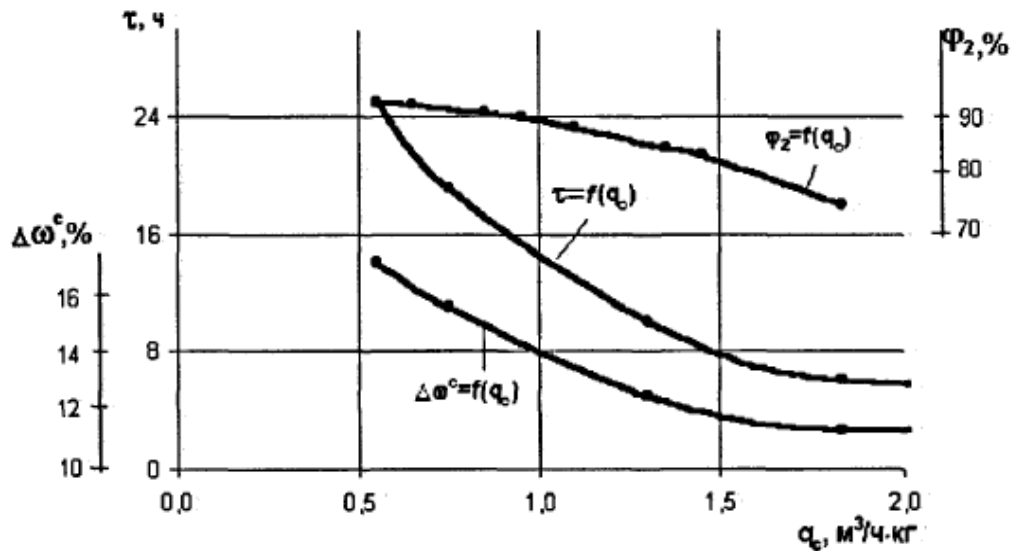


Рисунок 4.5 - Залежності що відображають тривалість τ та нерівномірність $\Delta\omega$ видалення вологи з зернових шарів від питомих подач повітря q_c

Для пшениці, $\omega_1^c = 24,7\%$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $t = 1,1 \text{ м}$

Згідно проведених наступних досліджень встановлено, що нерівномірності видалення вологи із зернових шарів перебувають у лінійній залежності від початкових показників вологості зернових мас (рис. 4.6.), а у інтервалах $\omega_1^c = 20 + 41,8\%$ записують наступним чином:

$$\Delta\omega^c = A_1 \omega_1^c - B_1,$$

Де A_1 і B_1 - значення коефіцієнтів, що будуть залежати від питомих подач q та степенів нагрівання повітря $(t_1 - t_0)$, $\Delta\omega^c = f(\omega_1^c)$

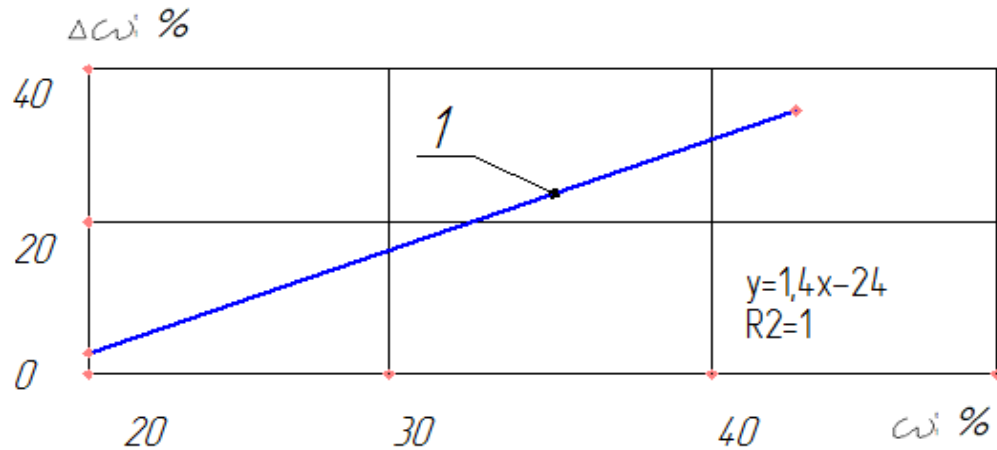


Рисунок 4.6 - Графік впливу початкової вологості ω_1^c , зернової маси на процес нерівномірності сушіння

$$1- \Delta\omega^c = f(\omega_1^c)$$

Для пшениці $h=1,1\text{м}$, $q_c = 1,06 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot \text{кг}$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$; $1-\Delta\omega^c = f(\omega_1^c)$

При визначенні впливів геометричних симплексів $\frac{R_k - r_{\text{ц}}}{r_{\text{ц}}}$ радіальних шарів на нерівномірності відводу води із зернових мас при $q_c = \text{const}$, проведено наступні дослідження, і їхній аналіз відображено у формі графіків згідно рис. 4.8. Також відображено впливи $\frac{R_k - r_{\text{ц}}}{r_{\text{ц}}}$ на середні, згідно досліджень, відносні показники вологості повітря яке відводиться після сушіння. Аналізуючи графічні залежності доцільно виділити те, що відношення товщин радіальних шарів $R_k - r_{\text{ц}}$ до внутрішніх радіусів $r_{\text{ц}}$ у інтервалах змін симплексів $\frac{R_k - r_{\text{ц}}}{r_{\text{ц}}}$ від 0 - 3 та $q_c = \text{const}$, не має впливу на видалення води з зернових мас та середні відносні показники вологості $\varphi_{\text{гср}}$, повітря, яке відводиться.

Згідно більшості сучасних досліджень, які присвячені дослідженню опорів у аеродинамічній системі, відображається, що витрата енергій на здійснення вентиляції зернових мас пропорційна опорам усієї аеродинамічної системи. Відповідно до цього вентиляційні металеві сховища,

потрібно комплектувати правильн підібраними вентиляторами. Розрахунки, які здійснюються при виборі вентиляторів потрібно проводити із врахуванням усіх складових опорів аеродинамічних систем згідно заданої питомої подачі повітря у зернові маси.

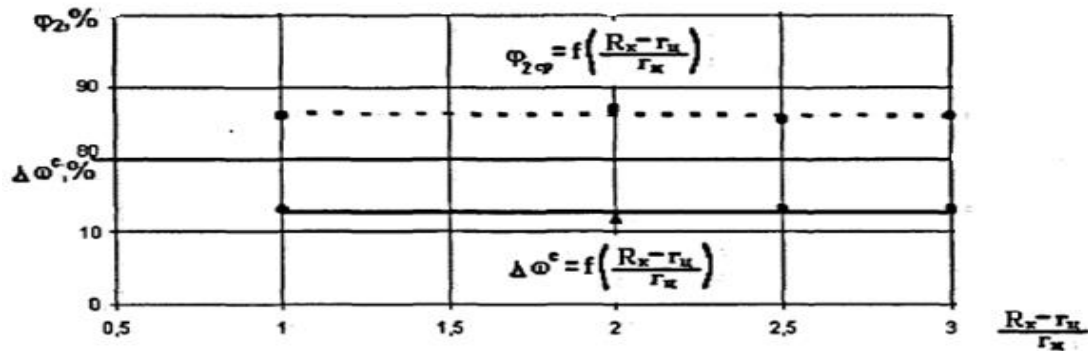


Рисунок 4.7 - Графічна залежність нерівномірностей видалення вологи

Для пшениці $h=1,1\text{м}$; $\omega_1^c = 24,7\%$; $q_c = 1.33 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot \text{кг}$; $t_1 = 40^\circ\text{C}$

4.3 Експериментальні дослідження аеродинамічного опору, та їх аналіз

Визначення повного опору ρ вентиляованих сховищ (силосів) із радіальним продуванням шарів зерна є сумою аеродинамічних опорів що здійснюється підігрівачем повітря ΔP_n , якщо він є складовою системи а також можливе перенесення від одного до іншого, у повітроводах ΔP_v , зернових шарів ΔP_{cl} , у центральному повітророзподільнику $\Delta P_{цв}$ та перфорований корпус силосу ΔP_k

$$p = \Delta P_n + \Delta P_v + \Delta P_{cl} + \Delta P_k + \Delta P_{цв} \text{ кгс} / \text{м}^2 \quad (4.9)$$

При проведенні розрахунків повних опорів шарів що продуваються вертикально останні показники відсутні, зокрема вони будуть рівними 0. Також доцільно звернути увагу на те, що аеродинамічні системи таких видів сховищ будуть піддаватись впливу пристінкового опору, який згідно радіального продування зернових мас буде утворюватись у центральному повітророзподільнику, а також у корпусі. При вертикальному продуванні - у

опорній частині зернових поверхонь. Такі опори виникають при контактах перфорованих полотен із зерновими масами що вентилуються, що буде створювати часткове перекриття отворів перфорацій.

Зокрема ці опори можуть бути значно більші сумарних опорів окремих перфорованих стінок та зернових шарів. Цю умову доцільно враховувати при розрахунку аеродинамічної системи. Із врахуванням цього ми провели серію досліджень із використанням лабораторної установки згідно визначення величини пристінних опорів решітчастих полотен, та здійснили визначення згідно формули:

$$P_{np} = \frac{P_{nk} - \Delta P_{cl}}{2}, \text{ кг/м}^2 \quad (4.10)$$

Де $P_{nk} = f(\sigma)$ - показник повних опорів завантаження камери, кг/м^2 ; ΔP_{cl} - показник опору зернових шарів, що можливо визначити згідно формули Л. К. Рамзіна [57]

$$\Delta P_{cl} = 1000 \cdot A \cdot h \cdot v^n \text{ кг/м}^2 \quad (4.11)$$

A, n – значення коефіцієнтів, на які мають вплив фізичні властивості зернових мас; (пшениця $A=1,44$; $n=1,43$), h - показник товщини шару зернової маси, м; v^c -показник умовної швидкості повітря на незаповненому перерізі зернової маси, м/с .

Рисунок 4.8. відображає графічні залежності $\Delta P_{np} = f(\sigma)$, які отримано для пшениці із використанням пробивних листів із односторонніми відгинами кромки та решет типів 1_- № 20 згідно ГОСТ 214.

Згідно результатів досліджень доцільно звернути увагу на те, що за діапазоном зміни швидкості повітряного потоку v від 0,1 до 0,5 м /с, значення пристінного опору можливо розрахувати за залежністю виду

$$P_{np} = A_{np} V^{n_{np}}, \text{ кг/м}^2, \quad (4.12)$$

де A_{np} , і n_{np} - значення коефіцієнтів, які будуть залежати від конструктивних форм полотен, а також будуть мати вплив фізичні властивості зернових мас. Щоб здійснити визначення даних коефіцієнтів використано метод найменших квадратів. Таблиця 4.1 відображає дані що потрібні для розрахунків

коефіцієнтів, що отримано із досліджень із полотен типів 1 - № 20, для зерна пшениці. Значення швидкостей повітря V віднесено до усієї площі перфорованих полотен; $R_{пр}$ - пристінних опорів полотен, та здійснено розрахунок згідно формул (4.10) та (4.12) для кожних значень v .

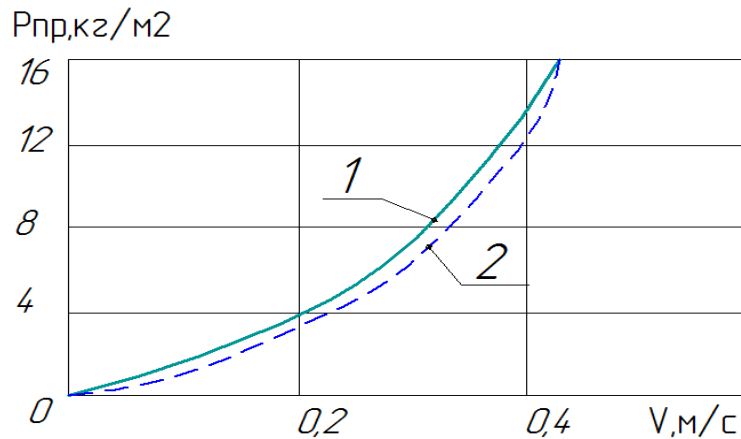


Рисунок 4.8 - Графічна залежність пристінкового опору решет для пшениці - 1- використання полотен із односторонніми вигинами кромки; 2- використання полотен типу 1-№ 20 по ГОСТ 214

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнтів опору

№№ п/п	v м/с	$P_{пр}$ кг/м ²	$lg v$	$lg P_{пр}$	$lg v \cdot lg P_{пр}$	$(lg v)^2$
1.	0,101	0,81	- 0,995	- 0,092	0,092	0,980
2.	0,143	1,40	- 0,845	0,146	- 0,123	0,715
3.	0,206	3,16	- 0,686	0,500	- 0,343	0,470
4.	0,292	6,15	- 0,535	0,789	- 0,423	0,286
5.	0,412	12,25	- 0,386	1,088	- 0,421	0,149
6.	0,504	22,60	- 0,298	1,354	- 0,404	0,089
Σ			- 3,745	3,785	- 1,622	2,689

Здійснивши підставлення значень сум таблиць у систему рівнянь одержимо:

$$\begin{cases} n_{пр} \sum (lg v)^2 + lg A_{пр} \cdot \sum lg v - \sum lg v \cdot lg P_{пр} = 0 \\ n_{пр} \sum lg v + 6 lg F_{пр} - \sum lg P_{пр} = 0 \end{cases}$$

Провівши її виведення, одержимо $n_{пр} = 2,20$ і $A_{пр} = 102,4$. Із застосуванням аналогічного методу здійснено визначення коефіцієнтів щодо

інших типів конструкцій решітчастих полотен та поєднання із пшеницею, житом та горохом (табл. 4.2).

Значення розбіжностей досвідних значень щодо пристінного опору відносно розрахункового згідно формули по коефіцієнтах таблиць у інтервалах від 0,1 до 0,14 м/с складає 20%, а у інтервалах від 0,2 до 0,5 м/с не буде перевищувати 7%.

Таблиця 4.2- Коефіцієнти n і A щодо різного решітного полотна

Типи решітних полотен	перетини полотен	Для пшениці		Для жита		Для гороху	
		A	n	A	n	A	Π
1-№15 ГОСТ 214-57	33	102,2	2,19	77,3	2,06	79,9	2,23
1-№20 ГОСТ 214-57	29	102,4	2,20	77,6	2,07	80,1	2,24
Із односторонніми відгинами кромки	10	107,0	2,17	79,1	2,01	93,8	2,22
Із односторонніми відгинами кромки	9	107,0	2,16	79,4	2,01	94,6	2,21

Аналізуючи таблицю 4.2 доцільно зауважити те, що живі перерізи решітного полотна типів 1-№15 та 1-№ 20, із діаметром отворів 1,5 та 2,0 мм, у 3 рази буде більшим відносно живих перерізів полотен із односторонніми відгинами кромки. Зокрема значення отримані щодо коефіцієнтів n та A відрізняються незначно. Згідно проведених розрахунків показники різниці у їхніх пристінних опорах є невеликі та знаходяться у межах 12%. Це можливо пояснюється, що значення місцевих опорів перфорацій із відгинами кромки зернових шарів, згідно сталої швидкості фільтрування повітря, менше отворів перекритим зерновою масою.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Аналіз виробничих небезпек під час виробництва

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори у процесі трудової діяльності людини, відповідно до ГОСТ 12.0.003 – 74 поділяють на: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. При розробці заходів запобігання виробничому травматизму й захворюваності працюючих, спеціалістів найбільше цікавлять шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Небезпечні виробничі фактори поділяють на явні, якщо їх дія на людину очевидна і для її запобігання необхідні певні заходи і які потенційно можуть діяти на людину при певних її діях, виникненні аварій та в інших небезпечних умовах.

Так, спеціалісти в галузі безпеки праці стверджують, що виробнича небезпека – це загроза дії на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а виробнича шкідливість – дія на працюючого лише шкідливих виробничих факторів.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізняти поняття “нешасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нешасний випадок” пояснює достовірність факту виникнення травми, а тому його окремою подією вважати не можна.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактора. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну.

Вичерпні знання обставин, внаслідок яких виник нещасний випадок або може статися аварія, травма чи більш важкі наслідки, необхідні для глибокого

розуміння процесу зародження, нормування та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують травмам, аваріям, катастрофам.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;
- спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії та катастрофи, мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.5.1).

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає. Що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія(А), травми (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

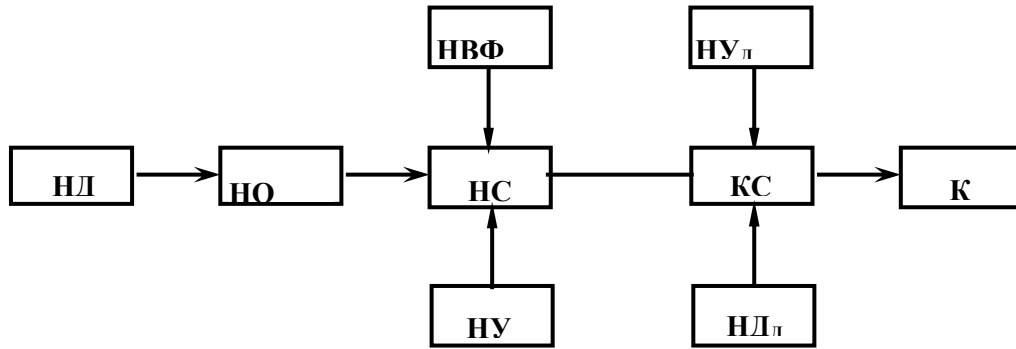


Рисунок 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій:

НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини; НС-небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична ситуація; НУд-небезпечні умови додатково; НДд-небезпечні дії додатково; К-катастрофа.

5.2 Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення всіх, видів виробничої небезпеки для розроблення проектів, інженерно-технічних та організаційних, рішень щодо створення безпечних і здорових умов праці.

Відповідно до типової структури сільськогосподарського виробництва (цех, дільниця, робоча зона бригади, робоче місце) одиничним елементом виробництва є робоче місце.

Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, що відображає три групи факторів трудової, санітарно-гігієнічної і технічної небезпеки.

Карта умов праці на робочому місці - це основа санітарно-технічного паспорту виробничої дільниці (бригади, майстерні, ферми тощо). До санітарно-технічного паспорта дільниці входить збірна інформація з карт умов праці на робочих місцях.

Складемо картку умов праці в комбікормовому цеху, яку зобразимо в таблиці 5.1.

Послідовність заповнення картки умов праці в переробному цеху:

- ГОСТ 12.1.005-88 визначається категорія робіт і оптимальні показники мікроклімату;
- за гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустима концентрація фактора (ГДК, ГДР), які заносяться в графу 2 таблиці 5.1; для кожного фактора умов праці проводиться за загально прийнятою методикою інструментальний замір фактичного значення фактора. Деякі фактичні дані можна взяти з матеріалів попередньо проведеної паспортизації у інженера з охорони праці господарства;
- визначається коефіцієнт нормо-забезпеченості:

$$K_n = 1 \pm \frac{A_B + A_H}{A_H}, \quad (5.1)$$

де A_B – виміряне значення фактора умов праці; A_H – нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за гранична допустимим значенням нормативного параметра A_H ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_H . Результати заносимо в гр. 5 таблиці 5.1.

Гранично допустиме значення коефіцієнта нормо забезпечення має дорівнювати одиниці. Якщо воно менше одиниці, то це означає, що діючий фактор умови праці вищий за гранично допустимий рівень і слід вжити заходів для зниження дії цього фактора, тим самим поліпшити умови праці.

Таблиця 5.1 - Карта умов праці

№ фактора	Фактори умов праці	Нормативне значення фактора		Фактичне значення фактора умов праці Ав	Коеф. Нормо забезпечення Кн.	Час дії фактора		Коеф. небезпечності	
		ГДК, ГДР Ан	Нормативний документ			В год.	Тдф	Кдф	К
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Температура повітря	- 14	ГОСТ 12.1.005-88	0 – (-10)	0.71	8	1	0.71	0.089
1.1	взимку								
1.2	влітку	+ 26	ГОСТ 12.1.005-88	25 – 30	1.13	8	1	1.13	0.14
2	Вологість повітря, %	40-60	ГОСТ 12.1.005-88	50	1.25	8	1	1.25	0.16
3	Швидкість руху повітря, м/с	0,3	ГОСТ 12.1.005-88	0,2	0.7	8	1	0.7	0.088
4	Виробничий шум, дБ	80	ГОСТ 12.1.003-86	80 – 82	1.03	4	0.5	0.515	0.064
5	Вібрація загальна, дБа	99	ГОСТ 12.1.012-78	95	0.95	4	0.5	0.475	0.059
6	Освітлення:								
6.1	природне, %	70	СНиП 2-4-79/85	75	1.07	8	1	1.07	0.134
6.2	штучне, Лк	95	СНиП 2-4-79/85	96	1.01	8	1	1.01	0.126
7	Пил, мЛг/м³								
7.1	зерновий	3-4	ГОСТ 12.1.005-88	3	1	6	0.75	0.75	0.094
8	Робота стояча, %	30	ГІПГЕНІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРАЦІ	35	1.16	6	0.75	0.87	0.109

Відповідно до технології виконання виробничого процесу встановлюється тривалість дії кожного фактора і результати заносяться у гр. 7 і 8 табл. 5.1.

Визначається коефіцієнт небезпеки дії $K_{дф}$ від кожного фактора умов праці і від усіх діючих факторів K .

Ці коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$K_{дф} = K_n * T_{дф}; \quad (5.2)$$

$$K = \frac{K_{дф}}{n}; \quad (5.3)$$

де $T_{дф}$ - тривалість дії фактора; n - кількість факторів умов праці.

Результати підрахунків заносяться у гр. 9 і 10 табл. 5.1 – карти умов праці у подрібнювальному цеху.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявленні при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій. Але, як показали дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних аварій і катастроф. Обчислення рівняння небезпеки можна спрямувати на удосконалення конструкції технічних засобів, на зниження їх небезпеки, а також вживати термінових заходів для першочергового усунення небезпек з більш високим рівнем.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева відказів” та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так, побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм при роботі.

Основні принципи побудови моделі такі. Виявляється виробництво, на якому вже були раніше або можуть статися аварії, виробничі травми чи катастрофи. За своєю формою так модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву “дерево відказів і помилок”. Кінцеві події називають базовими.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.2).

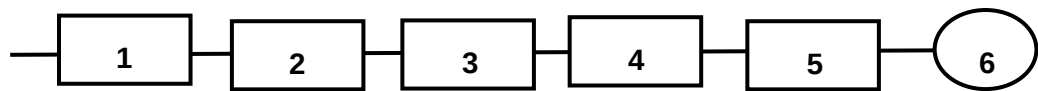


Рисунок. 5.2 - Схема побудови логіко-імітаційних моделей:

1- головна подія; 2-5- проміжні події; 6- базова подія.

Кожен блок рисунку, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі:

- 1 – відмова (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2 – послідовність подій, що приводять до відмови системи;
- 3 – послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;
- 5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;
- 6 – базові події зображують у вигляді кружечків з написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі.

5.3 Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва

Проаналізувавши кожну із логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди

можна знайти подію з якої починається небезпечний процес ще до виникнення небезпечних наслідків.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від досліджуваного явища.

Для оцінки рівня безпеки певного об'єкта чи явища можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці. Основні його принципи полягають в тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі безпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель “дерева відмов і помилок оператора”. При цьому важливе значення має правильний вибір головної події.

Головну подію (травма), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як головна.

Після визначення відповідних травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми для випадку технологічного процесу виробництва складемо список базових подій. Вони лежатимуть у основі даної моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Нижче подано сам список:

1. Стан контролю з охорони праці $P_1 = 0,2$;
2. Несерйозне відношення до проходження ТО $P_2 = 0,1$;
3. Відсутність комплектуючих $P_3 = 0,2$;
4. Невисока міцність $P_4 = 0,03$;
5. Застаріле обладнання $P_6 = 0,02$;

6. Попадання предметів з навколишнього середовища $P_7 = 0,4$;
7. Досвід роботи $P_{12} = 0,35$.
8. Професійний рівень робітника $P_{13} = 0,5$;
9. Психофізіологічний стан робітника $P_{14} = 0,083$;

На основі даного списку будуємо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічне представлення якої зображено на рис. 5.3.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що входять у дану логіко-імітаційну модель процесу виробництва (на прикладі ймовірності травми робітника, пов'язаної з ударом корпусу дробарки).

Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,003 - 0,2 \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,1 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 = 0,314$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

$$P_{10} = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,02 \cdot 0,314 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 0,00075$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,083 = 0,0145$$

Ймовірність події P_{18} :

$$P_{18} = 0,5 + 0,083 = 0,58$$

Ймовірність події P_{19} :

$$P_{19} = 0,0145 \cdot 0,083 = 0,0012$$

Ймовірність події P_{20} :

$$P_{20} = 0,00075 + 0,0012 = 0,00195$$

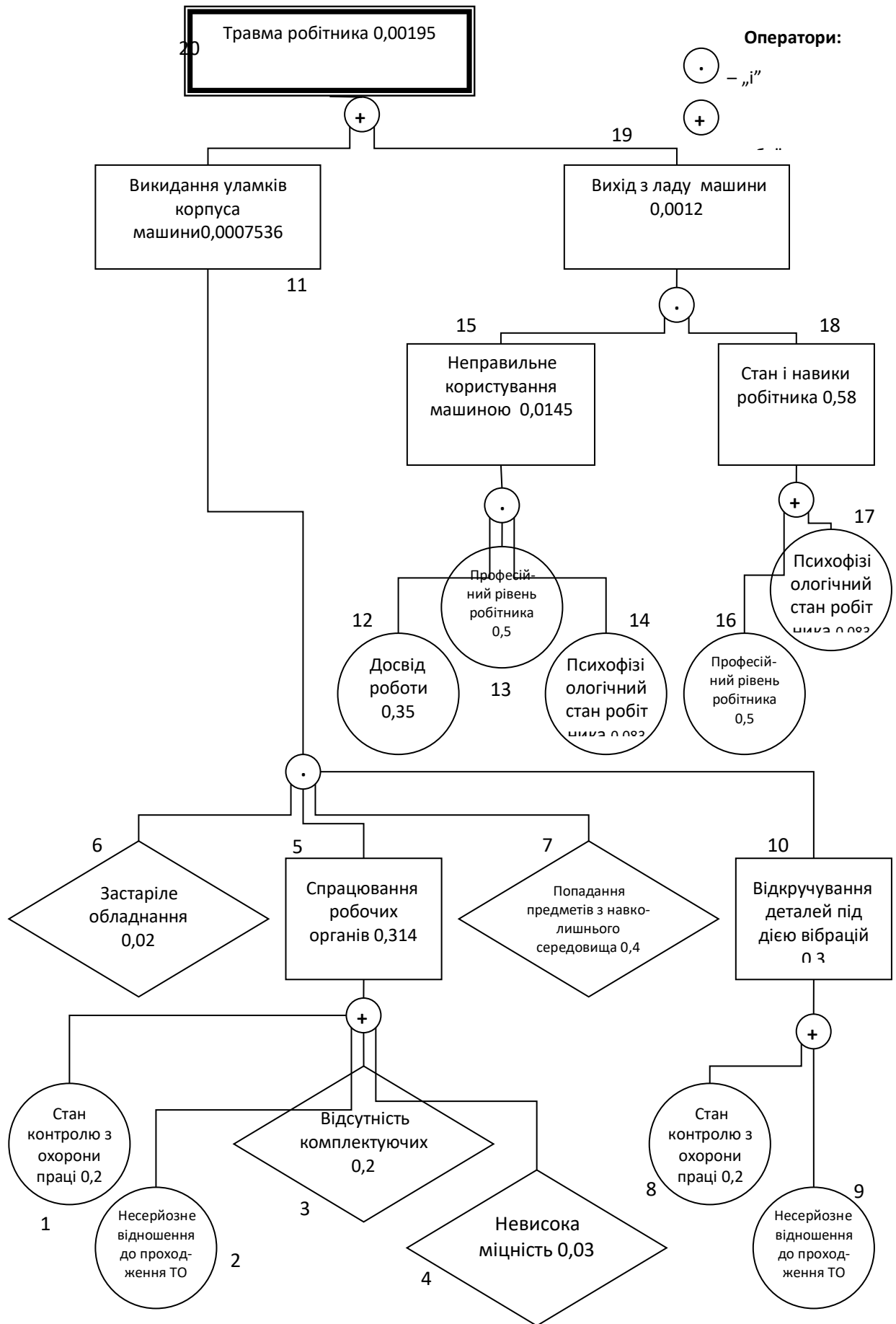


Рисунок 5.3 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

Ймовірність травми рівна ймовірності виникнення аварії. Це пов'язано з тим, що остання можлива лише за умови контролю людиною роботи устаткування.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки будь-якого робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які охоплюють як стан обладнання і самого робочого місця, так і поведінку працюючого і обчислити ймовірність виникнення травми.

Після аналізу результатів моделювання ймовірність виникнення травми можна звести до дуже малої величини – достатньо зменшити вплив ймовірностей вихідних факторів, які до неї призводять.

5.4 Розробка заходів щодо захисту навколишнього середовища

Забезпечення захисту цивільного населення у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань, яке покладається на службу з охорони праці.

Захист населення базується на державній системі заходів, що забезпечують виконання організаційних, інженерно - технічних, санітарно - гігієнічних та інших заходів в сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій природного характеру, які можуть виникнути на території підприємства належить: пожежа, ураган, смерч, землетрус, великі опади дощів.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитись спеціальний комплекс заходів, а саме:

- оповіщення та інформування населення про надзвичайну ситуацію, яка може виникнути;
- спостереження і контроль за довкіллям , продуктами харчування і

водою;

- створення захисних споруд та укриття в них усього населення відповідно до приналежності (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечній зоні);

- проведення медичного захисту для зменшення ступеня ураження людей, своєчасне надання допомоги та лікування.

6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ

Реформування агропромислового комплексу України створило необхідні передумови функціонування нових більш економічно ефективних форм організації виробництва, зокрема фермерські господарства, сільськогосподарські виробничі кооперативи, малі підприємства і т.д.

Проблема забезпечення вище перерахованих малих господарських організаційних формувань (МГОФ) засобами виробництва на даний час є досить актуальною, оскільки існуючі прототипи обладнання не завжди задовольняють як необхідні так і достатні умови його використання. Високі ціни на енергоносії в сільськогосподарських підприємствах не дають змоги виробникам знижувати ціни на вироблену продукцію, що в результаті негативно відображається в першу чергу на споживачах. Отже, в сучасних умовах функціонування на перший план виходить розробка нових та удосконалення існуючих засобів, які б відповідали основам ресурсозбереження.

Модернізація існуючих засобів механізації, що вимагає порівняно невеликих капіталовкладень, приносить відчутний економічний ефект при збільшенні ефективності роботи машини. Умови господарської діяльності мають певні особливості розрахунку економічної ефективності впровадження нової техніки [2, 26].

Визначити перевагу доробки сільськогосподарської продукції можна наступним чином (таб. 6.1):

$$E_{дор} = C_{дд} - C_{дд}; \quad (6.1)$$

де $E_{дор}$ - економічний ефект від доробки сільськогосподарської продукції;

$C_{дд}$ - середньомісячна ціна реалізації на певний клас сільськогосподарської продукції після доробки, грн./т;

$C_{\text{дд}}$ - середньомісячна ціна закупівлі на певний клас сільськогосподарської продукції до доробки, грн./т.

Таблиця 6.1 - Розрахунок економічної ефективності доробки сільськогосподарської продукції рослинництва

Культура	$E_{\text{дор}}$	Середньомісячна ціна сільськогосподарської продукції, т/грн	
		До доробки (попиту)	Після доробки (пропозиції)
Пшениця у тому числі 1 клас	300	10150	10450
2 клас	200	10000	10200
3 клас	150	9800	9950
4 клас	150	9750	9900
5 клас	100	9650	9750
6 клас	100	9500	9600
Ячмінь	100	8900	9000
Кукурудза	150	7800	7950

Зберігання дасть можливість підвищити певні якісні показники продукції, а саме головне зберегти досягнуті, тим самим підвищити дохідність підприємства. Здатність зерна зберігати протягом тривалого часу свої властивості зумовлює його цінність як сировини при виробництві високоякісних продуктів харчування. Вони є основним енергетичним джерелом для функціонування людського організму, використовується у вигляді хліба, круп, макаронних та кондитерських виробів. Ці продукти переробки зерна характеризуються високими поживними якостями, містять у

достатній кількості білки, вуглеводи, вітаміни, макро-, та мікроелементи, різноманітні ферменти – амілази, ліпази, пероксидази тощо [14].

Ефективність зберігання визначаємо наступним чином (таб. 6.2):

$$E_{збер} = C_{пз} - C_{дз}; \quad (6.2)$$

де $C_{пз}$ – середньомісячна ціна закупівлі на певний клас сільськогосподарської продукції після зберігання, грн./т (ціна попиту);

$C_{дз}$ – середньомісячна ціна закупівлі на певний клас сільськогосподарської продукції до зберігання, грн./т (ціна попиту на дату закінчення зберігання).

Таблиця 6.2 - Розрахунок економічної ефективності зберігання сільськогосподарської продукції рослинництва

Культура	$E_{збер}$	Середньомісячна ціна сільськогосподарської продукції, т/грн	
		До зберігання	Після зберігання ціна через 8-9 місяців
Пшениця 1 клас	950	10150	11000
2 клас	900	10000	10900
3 клас	850	9800	10650
4 клас	800	9750	10550
5 клас	800	9650	10450
6 клас	850	9500	10350
Ячмінь	750	8900	9650
Кукурудза	700	7800	8500

Ефективність від зберігання пшениці дозволить реалізувати її в середньому на 800 грн/т, ячмінь – 750 грн/т, кукурудзу – 700 грн/т. Отже, підвищити рівень конкурентоздатності сільськогосподарського підприємства можливо шляхом доробки і зберігання продукції рослинництва.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В результаті виконання магістерської роботи та в процесі проведення аналізу існуючих технологій, способів і технічних засобів для зберігання зерна, а також на основі теоретичних і експериментальних досліджень, розроблені наступні висновки та рекомендації.

Розроблена узагальнена схема класифікаційних ознак безпечних способів зберігання зерна. Визначено, що номенклатура технічних засобів для зберігання зерна за функціональним призначенням може бути представлена в наступній класифікації:

- тимчасового зберігання попередньо очищеного зерна вологістю більше 20%;

- тимчасового зберігання висушеного зерна вологістю 14 ... 16%;

- тривалого зберігання кондиційного за вологістю зерна 13...14%.

Для забезпечення зберігання зерна з мінімальними втратами об'єкти зберігання повинні характеризуватися такими ознаками: технологією зберігання зерна; конструктивними особливостями одиничного сховища; аеродинамічною розподільчою системою і варіантами компоновки сховищ.

Дослідження тепло-масообмінних процесів при вентиляванні нерухомого шару зернової маси дозволили розробити інженерну методику розрахунку основних параметрів, що сприяють видаленню вологи при зберіганні зерна. В основі цієї методики прийнято, що при сталості швидкості видалення вологи з усього зернового обсягу тривалість сушіння обернено пропорційна питомій подачі повітря і ступеню збагачення повітря вологою. При цьому враховується, що витрати електроенергії на вентилявання зернової маси, віднесені до одиниці випаруваної вологи, прямо пропорційні загальному гідравлічному опору аеродинамічної системи, в т.ч. зернового шару, і обернено пропорційно його початковій температурі.

За результатами досліджень розроблена інженерна методика розрахунку аеродинамічного опору вентиляційної системи силосу з кільцевим

зерновим шаром, виведено рівняння регресії для визначення тривалості вентилявання зерна і швидкості видалення вологи в інтервалі питомої подачі повітря $0,4 \dots 2,0 \text{ м}^3/\text{год кг}$, початкової вологості зерна $24,7\%$ і температури підігрітого повітря 40°C , а також номограма для визначення параметрів повітря і режимів вентилявання радіального шару товщиною $1,1 \text{ м}$ при початковій вологості зерна 25% і питомій витраті повітря $0,7 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$.

Встановлено що краще просушується зерно яке має меншу площу поперечного перерізу.

Застосування на практиці трьох варіантів вентилявання зернової маси показало, що зберігання зерна в буртах (насипом) неефективно через нерівномірне зниження температури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маньківський А.Я., Скалецька Л.Ф., Подпрятков Г.І., Сеньків А.М. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції: навч. посіб. Ніжин: Аспект, 1999. 383с.
2. Камінський В.Д., Бабич М.Б. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції: навч. посіб. Одеса: Аспект, 2000. 460с.
3. Кочубей-Литвиненко О.В., Ющенко Н.М. Технологія отримання та первинного оброблення молока: підруч. Київ: НУХТ, 2013. 211 с.
4. Савченко О.А, Грек О.В, Красуля О.О. Сучасні технології молочних продуктів: підручник. Київ: ЦП «Компринт», 2017. 218 с.
5. Савченко О.А, Грек О.В, Красуля О.О.: Технологія виробництва молочних продуктів спеціального призначення: підручник. Київ: ЦП «Компринт», 2017. 218 с.
6. Скалецька Л.Ф, Духовська Т.М, Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: Навч.посіб. Київ: Вища школа, 1994. 301с.
7. Харчова промисловість України: стан та перспективи / за ред. акад. НАН України І. Р. Юхновського. Київ: ФАДА, ЛТД, 2001. 197 с.
8. В.В. Власенко, М.І. Машкін. Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів: навч. посіб. Вінниця: ГІПАНІС. 2000р. 325с.
9. Клименко М.М., Пасічний В.М., Масліков М.М. Технологія проектування м'ясо-жирових підприємств м'ясної промисловості: навч. посіб. Вінниця: Нова Книга, 2005. 384с.
10. Дацишин О.В., Ткачук А. І, Чубов Д.С. та ін. Машини та обладнання переробних виробництв: Навч. Посібник // За ред. О.В. Дацишина. Київ: Вища освіта, 2005. 159 с.
11. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: Навч.посібник/ Л.Ф.Скалецька, Т.М.Духовська, А.М.Сеньков. Київ: Вища школа, 1994. 301с.

12. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу об'єктів. Основи системного підходу та системного налізу об'єктів нової техніки: Навч. посібник/За ред.. Ю.Г.Леги. Київ:Либідь, 2004. 288с.
13. Гречкосій В.Д. Основи проектування технологічних процесів / В.Д.Гречкосій, Р.В.Шатров, В.І.Василюк, Л.О.Шейко // Ніжин: МІЛАНІК, 2009. 111 с.
14. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник для студентів вищих закладів освіти/За ред..В.І.Бикова Київ:Либідь, 2000. 270с.
15. Теорія технічних систем / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2017. – 291 с. Харчова промисловість України: стан та перспективи / За ред. акад. НАН України І. Р. Юхновського. Київ : ФАДА, ЛТД, 2001. 197 с.
16. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві /І.І.Мельник, В.Д.Гречкосій, С.М.Бондар // Ніжин: Аспект – Поліграф, 2005. 192 с.
17. Мирончук В.Г. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, Л.О. Пушанко та ін. Вінниця.: Нова книга. 2004. 288 с.
18. Технологічний інжиніринг підприємств харчової галузі [Текст] : навч. посіб. / за ред. Я.Г. Верховкєра; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. Одеса : Освіта України, 2017. 144 с.
19. Мерко, І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. / І.Т. Мерко, В.О. Моргун. Одеса: Друк, 2001. 360 с.
20. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств: Навчальний посібник./В.Ф. Ялпачик, О.П.Ломейко, В.Г. Циб, Ф.Ю. Ялпачик та ін./Мелітополь: Видавничий будинок міської друкарні, 2014. 235с.

21. Мирончук В.Г. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, Л.О. Пушанко та ін. Вінниця.: Нова книга. 2004. 288 с.

22. Сиротюк С.В. Механізація переробки та зберігання продукції рослинництва. Курс лекцій. Львів.: ЛДАУ. 2000. 250 с.