

Степаненко С.П., Калініченко Р.А., Котов Б.І.

**РЕСУРСО-ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ КОНСЕРВУВАННЯ
ТА ОБРОБКИ ВОЛОГОГО ФУРАЖНОГО
ЗЕРНА**

МОНОГРАФІЯ

2023

УДК 631.365:664.723(075.8)

С 79

Рецензенти:

Мироненко В.Г. – д.т.н., професор, Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України;

Василенко В.В. – д.т.н., професор, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут";

Фришев С.Г. – д.т.н., професор, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут".

Рекомендовано до видання Вченою радою ВП НУБіП України
«Ніжинський агротехнічний інститут»
(протокол № 4 від 24 листопада 2022 року).

Степаненко С.П., Калініченко Р.А., Котов Б.І.

С 79 Ресурсо-енергоефективні технології і технічні засоби для консервування та обробки вологого фуражного зерна: Монографія / С.П. Степаненко, Р.А. Калініченко, Б.І. Котов - Ніжин: Видавець Лисенко М.М., 2023. – 126 с.:іл.

ISBN 978-617-640-608-2

В монографії розглядаються основні положення підвищення енергоефективності технологій післязбиральної обробки зерна і технічні засоби підготовки до консервації та споживання вологого фуражного зерна. Розраховано на науковців, практиків, а також викладачів ЗВО, аспірантів, студентів, усіх, хто цікавиться проблемами розвитку агропромислового виробництва.

УДК 631.365:664.723(075.8)

© Степаненко С.П., Калініченко Р.А.,
Котов Б.І. ВП НУБіП України "НАІ", 2023

© Видавець Лисенко М.М.

ISBN 978-617-640-608-2

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 НАУКОВІ ОСНОВИ КОНСЕРВУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА.....	6
1.1. Обґрунтування зберігання зерна в плівкових полімерних рукава.....	14
1.2. Зберігання зерна в плівкових рукавах при низьких температурах навколишнього середовища.....	29
РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ В ПОЛІМЕРНИХ РУКАВАХ.....	31
2.1. Технологічний процес та технічні засоби для зберігання зерна кондиційної вологості в полімерних рукавах.....	31
2.2. Технічні засоби та устаткування для реалізації процесу зберігання зерна в полімерних рукавах.....	45
2.3. Організація робіт по зберіганню зерна в полімерних рукавах.....	56
2.4. Економічна ефективність зберігання зерна в полімерних рукавах.....	59
2.5. Особливості техніки безпеки при виконанні робіт з плівковими рукавами.....	62
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОКОІНТЕНСИВНОЇ ТЕРМООБРОБКИ ВОЛОГИХ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ.....	65
3.1 Установки для мікронізації вологих зернових матеріалів.....	71
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ ТА ВІБРОПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНА ПРИ ВИСОКОІНТЕНСИВНІЙ ТЕРМООБРОБЦІ.....	81
4.1. Аналітичне моделювання тепломасообмінних процесів високотемпературної термообробки зернових матеріалів.....	81
4.2. Експериментальне дослідження процесів тепло- і масообміну при мікронізації зерна	87
4.3. Дослідження впливу зміни маси зернівки при високоінтенсивній термообробці на параметри переміщення	93
4.4. Експериментальне дослідження процесу вібропереміщення зерна при високоінтенсивній термообробці	97
4.5. Формування швидкісного режиму вібропереміщення зерна в процесах термообробки.....	106
ВИСНОВКИ.....	114
Список використаних джерел.....	116

ВСТУП

Найбільша частина енерговитрат на виробництво зерна концентрується на стадіях традиційної післязбиральної обробки зерна, яка включає очищення, сушіння і зберігання. Затрати енергії на доведення зерна до кондиційного за вологістю стану за такою технології складають до 70% загальних витрат на виробництво кінцевого продукту.

Враховуючи низький тепловий ККД сучасних зерносушарок (до 50%), доцільним прийомом зниження витрат дорогого органічного палива є зберігання кормового зерна у вологому стані. Тобто, реалізація (в господарствах) зберігання зерна в полімерних герметичних рукавах. Але така технологія може потребувати додаткових способів підготовки зерна при його подальшому використанні, адже основні існуючі технічні засоби для переробки розраховані на сухий стан зерна.

Одним із енергоефективних способів підготовки вологого фуражного зерна до згодовування є мікронізація – обробка зерна високоінтенсивним інфрачервоним випромінюванням.

В процесі мікронізації відбуваються структурні і фізико-хімічні зміни в зерновому матеріалі, що призводить до зменшення його механічної міцності, підвищення засвоюваності кормів, інактивації шкідливих речовин.

Для проведення мікронізації кормового зерна необхідно забезпечити густину радіаційного потоку для опромінення зернового матеріалу на рівні 20-45 кВт/м², за рахунок цього значно інтенсифікується процес – зменшується тривалість процесу, але зростають енергетичні витрати на одиницю готового продукту до 140-145 кВт/год на тону.

Такий високоінтенсивний процес інфрачервоної термообробки, в свою чергу, може мати і негативні наслідки для якості оброблюваного продукту – найпоширеніший з яких підгоряння поверхні зерна. Тому для механіко-технологічного обґрунтування параметрів і режимів високоінтенсивного процесу мікронізації необхідно мати адекватний математичний опис процесів тепло- і масообміну, що враховує зміну визначальних параметрів у процесі.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВІ ОСНОВИ КОНСЕРВУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

Зернові культури відіграють провідну роль у забезпеченні продовольчої безпеки людства, оскільки містять значну кількість поживних легко перетравних речовин. У зерні продовольчих культур містяться протеїни, вуглеводи, жири, а також значна кількість вітамінів і мікроелементів.

Сезонний характер виробництва зерна та постійна потреба у ньому змушують сільгоспвиробників зберігати його тривалий час. Перед господарствами стоїть важке завдання – не лише зберегти кількість закладеного на зберігання зерна, але й зберегти його корисні властивості та уникнути токсичності.

Чинники, які негативно впливають на зерно до його закладення на зберігання, включають:

- несприятливі кліматичні умови під час дозрівання та збирання врожаю, а також наявність польової мікрофлори;
- наявність насіння бур'янів та інших домішок;
- пошкодження зерна гризунами, птахами, комахами та кліщами;
- механічні ушкодження зерна під час збирання та транспортування;
- порушення технології збирання.

Збереження якості зерна під час зберігання залежить від біотичних та абіотичних факторів. Біотичні фактори виникають внаслідок природи зерна як живого організму, тоді як абіотичні фактори пов'язані з умовами довкілля, що впливають на збереження зерна. Біотичні та абіотичні фактори взаємодіють між собою. Визначальний вплив на збереження зерна під час зберігання має група біотичних факторів, до якої відносяться біохімічні процеси, що

відбуваються усередині продуктів. Ці процеси зумовлені дією ферментів зерна. Інтенсивність їхнього перебігу залежить від природи зерна, його хімічного складу, особливостей обміну речовин та умов зберігання.

Найбільший вплив на збереження зерна під час зберігання має процес дихання, який є характерним для всіх живих організмів, включаючи рослинні продукти. Цей процес пов'язаний з активністю окисно-відновних ферментів, таких як оксидази, і виконує важливу роль у забезпеченні обміну речовин та життєдіяльності.

Дихання зерна є складним процесом дисиміляції (розпаду) органічних речовин, переважно одномолекулярних вуглеводів, до кінцевих продуктів дихання з виділенням енергії у формі тепла. Існують два види дихання зерна: аеробне та анаеробне. Однак при зберіганні зернових мас найбільшу значимість має саме інтенсивність дихання, а не його тип чи характер.

Інтенсивність процесу дихання можна виміряти за кількома показниками:

- втратою маси сухих речовин (у міліграмах або відсотках);
- кількістю виділеного тепла під час дихання (вимірюється калориметрично);
- кількістю поглиненого кисню або виділеного діоксиду вуглецю.

Найнегативнішим наслідком дихання є виділення великої кількості тепла, що може призвести до самозігрівання зернової маси. Це непередбачене підвищення температури зерна внаслідок фізіологічних процесів, що відбуваються в ньому, та обмеженої теплопровідності. В залежності від початкового стану зерна та умов зберігання, температура може піднятися до 55-65°C, а в окремих випадках навіть до 70-75°C. Самозігрівання не залишається локалізованим, а тепло передається до сусідніх ділянок зернового

масиву, що призводить до активізації фізіологічних процесів та продукції тепла в них. Якщо не будуть прийняті заходи для усунення самозігрівання, всю партію зерна може стати непридатною для використання, особливо в запущених випадках самозігрівання.

Фактори, що впливають на інтенсивність дихання зерна, включають вологість, температуру та ступінь аерації зернової маси.

Зауважимо, що чим вологіше зерно, тим більш інтенсивно воно дихає. Високі рівні інтенсивності дихання спостерігаються в дуже вологих зернах, таких як деякі сирі зернові (з вологістю понад 30%) та насіння олійних культур (з вологістю понад 15-20%), які зберігаються в умовах неконтрольованого доступу повітря. У цих випадках, втрати сухих речовин зерна можуть становити від 0,05% до 0,2% на добу.

Критична вологість зерна визначається як рівень вологості, при якому з'являється вільна волога та спостерігається різке зростання інтенсивності дихання зерна та насіння. Значення критичної вологості для різних культур наступні:

- горох, квасоля, сочевиця: 15-16%;
- пшениця, жито, ячмінь: 14,5-15,5%;
- кукурудза, просо, сорго: 12,5-14%;
- соняшник: 7-8%.

Зерно основних злакових культур, яке має вологість до 14% (нижче критичного рівня), є стійким та може зберігатися у великих насипах з висотою до 30 метрів або більше. Зерно з помірною вологістю, що знаходиться на межі критичної вологості, дихає в 2-4 рази інтенсивніше, але має обмежений газообмін, тому таке зерно виявляє достатню стійкість під час зберігання. Вологе зерно дихає в 4-8 разів інтенсивніше сухого, а сире зерно (з вологістю понад 17%) - у 20-30 разів більш енергійно.

Отже, зернова маса основних зернових культур з вологістю нижче критичного рівня на 2-3% може зберігати свої технологічні характеристики тривалий період часу.

Важливим фактором, що впливає на інтенсивність дихання зерна, є температура. Підвищення температури в певному діапазоні на 10°C призводить до збільшення інтенсивності дихання у 2-3 рази. Вплив температури на дихання зерна також залежить від тривалості її впливу. Наприклад, максимальна інтенсивність дихання зерна пшениці при температурі 50-55°C проявляється лише протягом короткого періоду часу, оскільки подальше підвищення температури спричинює руйнування речовин, що складають клітини зерна, таких як білки та ферментні системи.

Зниження температури суттєво зменшує газовий обмін. При температурі 0-10°C, навіть з вологістю 18%, інтенсивність дихання зерна незначна. Критична вологість зерна пшениці явно виявляється лише при температурі 18°C і вище. Тому для збереження зерна належить підтримувати низькі (до 10°C) температури.

Газовий склад повітря також є важливим абіотичним фактором. Збільшення концентрації вуглекислого газу (CO₂) та зниження концентрації кисню до певних меж (до 2%) має позитивний вплив на збереження продукції, знижуючи інтенсивність дихання та запобігаючи розвитку мікроорганізмів (гнилі та плісняві). При зберіганні продукції в такому газовому середовищі сповільнюються процеси обміну речовин, старіння та розкладання тканин, що значно продовжує терміни зберігання.

Всі методи зберігання або консервування продуктів, що застосовуються на практиці, базуються на принципах часткового або повного пригнічення біологічних процесів (біотичних факторів), що впливають на безпеку продукції. Ці принципи включають біоз, анабіоз, ценоанабіоз та абіоз [1].

У методі біозу продукти зберігаються у живому стані зі звичайним обміном речовин, без пригнічення життєдіяльності. Цей принцип ґрунтується на імунних (захисних) властивостях будь-якого здорового організму, включаючи рослинний, який має імунітет і здатність протистояти патогенній мікрофлорі та негативним умовам навколишнього середовища.

Анабіоз - це процес, при якому продукт переходить у стан, коли біологічні процеси відбуваються дуже повільно або припиняються зовсім. Процеси обміну речовин у клітинах значно уповільнюються, активність мікроорганізмів, кліщів та комах припиняється, проте живі організми і живий початок в продукті не знищуються. При сприятливих умовах всі життєдіяльності відновлюються. Анабіоз може бути досягнутий за допомогою різних методів:

- термоанабіоз - зберігання продуктів при низьких температурах, що сповільнюють процеси обміну речовин у тканинах, знижують активність ферментів та запобігають розвитку мікроорганізмів;
- ксероанабіоз - зберігання продуктів у сухому або зневодненому стані. Часткове або повне зневоднення продукту призводить практично до зупинки біохімічних процесів, що позбавляє мікроорганізми змоги розвиватися в ньому;
- осмоанабіоз - зберігання продуктів при підвищенні осмотичного тиску в їх тканинах, що захищає продукти від мікроорганізмів та запобігає небажаним мікробіологічним процесам, таким як гниття, пліснявіння та бродіння;
- ацидоанабіоз - зберігання продуктів за підвищеної кислотності середовища;
- наркоанабіоз - застосування анестезуючих або наркотичних речовин (наприклад, хлороформу або ефіру) для

пригнічення діяльності мікроорганізмів та шкідників та уповільнення обміну речовин;

- аноксианабіоз - зберігання продуктів без доступу повітря, що створює безкисневе середовище. Відсутність кисню запобігає розвитку аеробних мікроорганізмів, зокрема пліснявих грибів, комах та кліщів. Дихання клітин продукту значно уповільнюється і набуває анаеробного характеру, що сприяє консервації продуктів у герметичних умовах.

Принцип ценоанабіозу полягає у створенні анабіотичних умов за допомогою корисних мікроорганізмів, які створюють сприятливе середовище. Корисна мікрофлора виробляє консервуючі речовини, які запобігають розвитку небажаної (патогенної) мікрофлори і псуванню продуктів. Мікробіологічне консервування базується на цьому принципі.

Абіоз - це процес зберігання продуктів без живих організмів, коли весь продукт переходить у неживий та стерильний стан. У цьому процесі знищуються певні групи мікроорганізмів, що викликають псування, або весь продукт перетворюється на неживу органічну масу. Абіоз має кілька видів:

1. Термоабіоз (термостерилізація) - це обробка продуктів високими температурами, коли їх нагрівають до 100°C і вище. Цей процес практично повністю знищує всіх живих організмів.

2. Хімабіоз (хімічна стерилізація) - це консервування продуктів за допомогою хімічних речовин, які вбивають мікроорганізми (антисептики) та комах (інсектициди).

3. Механічна стерилізація - це видалення мікроорганізмів з продуктів шляхом фільтрування або центрифугування.

4. Променева (фото) стерилізація - це знищення мікроорганізмів та комах за допомогою ультрафіолетових, інфрачервоних,

рентгенівських променів, β та γ -випромінювання в певних дозах (радіація).

Аналіз різних способів зберігання фуражного зерна з урахуванням його фізико-хімічних властивостей та цільового призначення показав, що найефективнішими методами для консервації вологого кормового зерна є:

- ксероанабіоз - зберігання зерна у сухому або зневодненому стані;
- аноксианабіоз - зберігання зерна без доступу повітря, створення безкисневого середовища;
- термоанабіоз - зберігання зерна при знижених і низьких температурах;
- ацидо-анабіоз - зберігання продуктів при підвищеній кислотності середовища;
- хімабіоз (хімічна стерилізація) - консервування продуктів за допомогою хімічних речовин, що вбивають мікроорганізми (антисептиків) та комах (інсектицидів).

Найбільша технологічна та економічна ефективність при зберіганні зерна досягається за умови правильного використання взаємозв'язків між фізико-хімічними властивостями зернової маси та довкіллям. Фактори, які впливають на стан та збереження зерна, включають вологість і температуру зернової маси та навколишнього середовища, а також доступ повітря до зернової маси (ступінь аерації). Враховуючи ці фактори, розроблені методи збереження фуражного зерна, які включають:

- зберігання у сухому стані, коли вологість зерна нижче критичного рівня;

- зберігання при охолодженні (зниження температури зерна до значень, що гальмують життєві функції компонентів зернової маси);
- зберігання без доступу повітря (у герметичному стані);
- хімічне консервування.

За результатами аналізу методів консервації фуражного зерна можна зробити висновок, що найбільш ефективним ресурсо- та енергоефективним способом є аноксианабіоз, який реалізується у плівкових рукавах.

1.1 Обґрунтування процесів зберігання зерна в плівкових полімерних рукавах

За останні роки суттєво розширилось герметичне зберігання зерна в рукавах, хоча дана технологія зберігання давно відома. В державах південної частини Європи, Середнього Сходу в посушливих районах Америки та Азії зберігали зерно в простих ямах в ґрунті. Периметр ям вистилали соломом для збільшення поглинання вологи, яка проникала крізь ґрунт та накриття. Солома вбирала вологу та пліснявіла при поглинанні кисню в повітрі зерноскладища.

Плівкові (полімерні) рукави використовують не тільки для зберігання зерна, але і для боротьби із шкідниками в сухому зерні та запобігання розвитку пліснявіння у вологому зерні.

Незалежно від кількості вологи в зерні технологія герметичного зберігання зерна в полімерних рукавах заснована на зниженні концентрації кисню в полімерному рукаві до того рівня, при якому гинуть комахи та плісневілі гриби.

Всім живим організмам необхідна енергія, яка з'являється в результаті дихання. При диханні розщепляються вуглеводи зерна або їжі, яку використовують комахи або плісневілі гриби. Дихання сухого, незараженого зерна знаходиться на відносно низькому рівні. В присутності комах та при підвищенні температури інтенсивність дихання, характеризується виділенням вуглекислого газу, значно збільшується табл.1.1.

Відповідно отриманих даних, інтенсивність дихання зараженого зерна низька при низькій вологості зерна внаслідок високої степені загибелі комах. Отже із табл.1 видно невелике підвищення кількості вуглекислого газу, виділене комахами, в зв'язку із збільшенням вологості зерна з 14,0% до 17,4%, що це свідчить про те, що збільшення вмісту вологи більше 14% слабо впливає на комах.

Таблиця 1.1 - Вплив вологості та температури пшениці на дихання рисового та амбарного довгоносикив за Ліндгреном [12]

Вологість	Виникнення вуглекислого газу за 24 години					
	Дихання пшениці, мг/100т		Дихання довгоносикив, мг/1т			
			рисового		амбарного	
	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C
8,7	-	-	75,8	64,5	119,3	114,5
10,7	-	0,2	150,0	107,7	117,4	212,9
14,0	0,7	1,4	206,4	261,3	169,7	244,9
15,2	1,0	2,2	201,9	289,4	170,8	242,2
17,4	13,2	21,2	204,8	232,0	190,8	225,1

Треба також відмітити, що у відмінності від комах більшість плісневілих грибів не може розмножуватись при вологості приблизно 14%.

Хоча в інших дослідженнях відмічається, що швидке виділення вуглекислого газу зерном при вологості більше 15% спостерігається істотний ріст кількості плісневілих грибів на зерні (табл.1.2).

Таблиця 1.2 - Інтенсивність дихання і розмноження плісневілих грибів в залежності від вологості за даними Мілнера [12]

Вологість, %	Інтенсивність дихання, мгСО ₂ /день	Число колоній плісневілих грибів на 1кг	Вологість, %	Інтенсивність дихання, мгСО ₂ /день	Число колоній плісневілих грибів на 1кг
12,3	0,07	0,5	16,8	23,35	396
13,6	0,11	0,1	18,5	111,0	2275
13,8	0,23	0,1	20,8	604,9	11300
14,5	0,57	0,4	25,2	1724,8	37500
15,4	2,53	4,8	30,5	2282,0	63500
16,3	20,3	209,0	38,6	4666,5	67000

Розглянуті фактори мають вплив на якість герметичного зберігання в полімерних рукавах. Якщо сухе заражене зерно завантажимо в герметичний полімерний рукав, комахи швидко використовують який є кисень та гинуть від задухи. Більшість видів комах загине у випадку коли вміст кисню знизиться до 2% об'єму повітря в міжзерновому просторі.

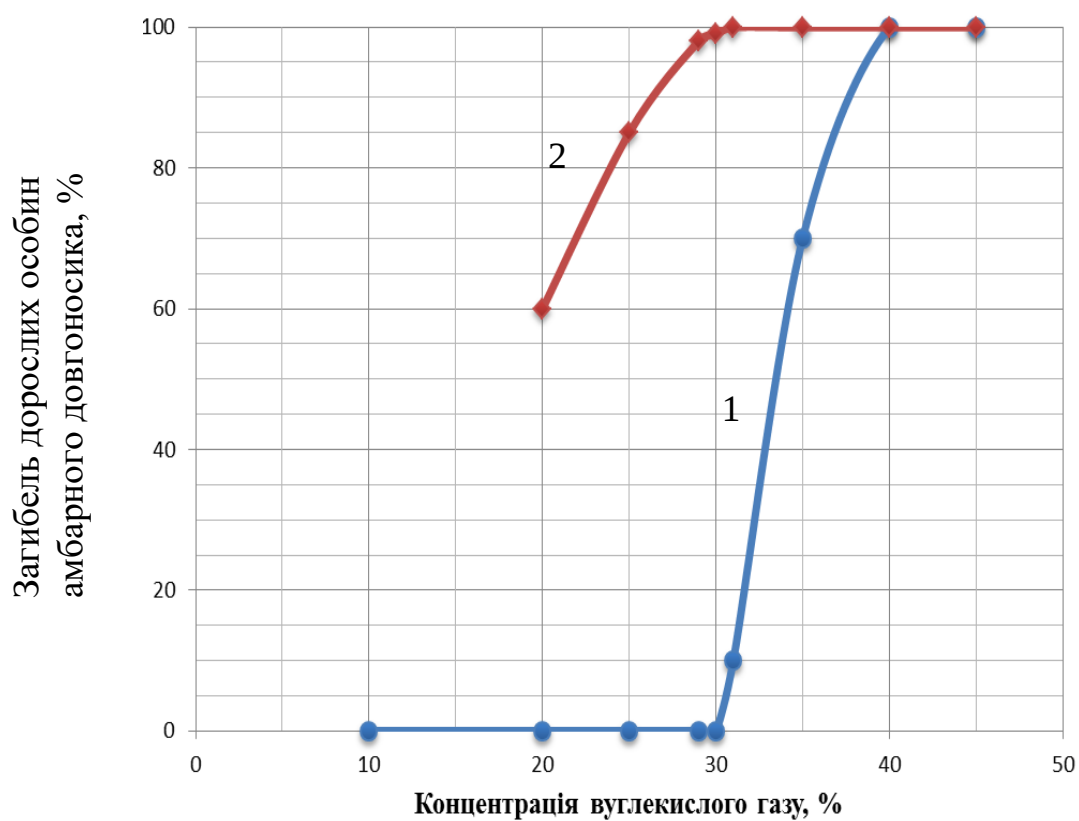
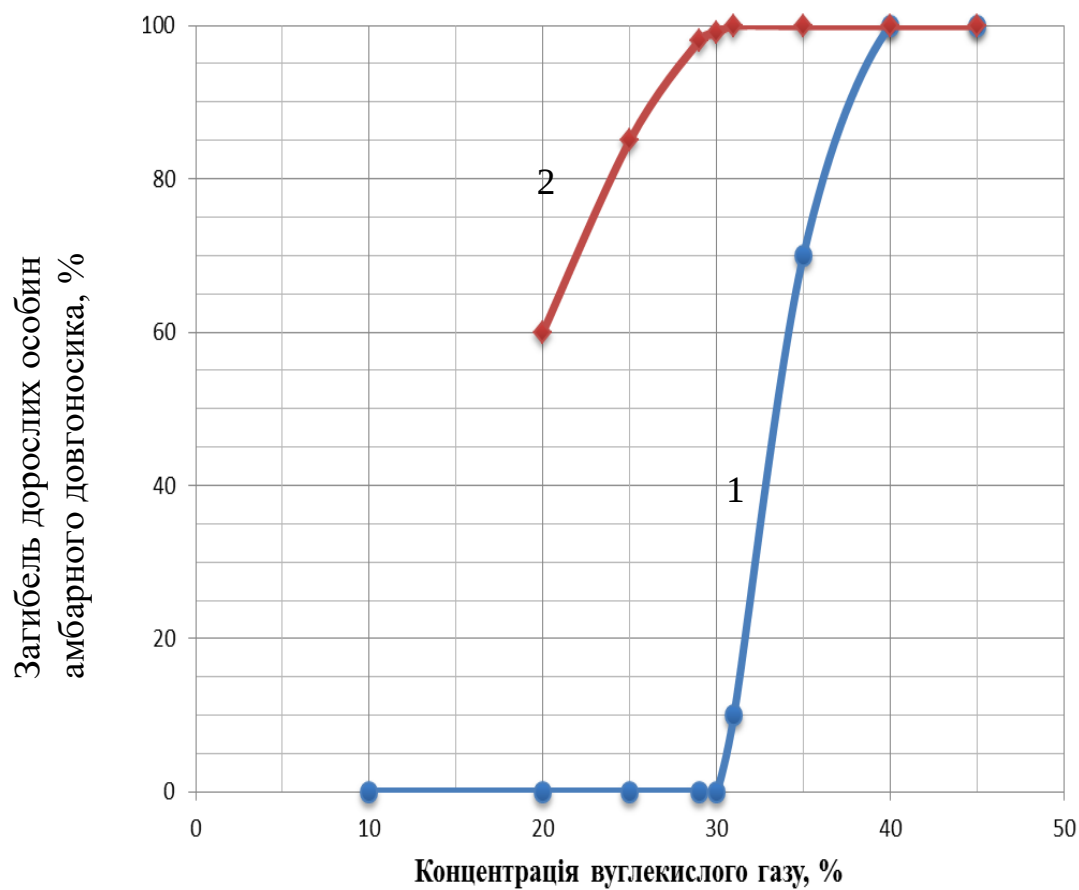
Плісневілі гриби можуть розмножуватись при досить низькому вмісту кисню - 0,2%. Якщо вміст кисню знаходиться в межах 0,5 – 1%, деякі мікроорганізми, за умов сприятливих температур швидко розмножуються.

Отже, досить таки важливо, щоб у період зберігання зерна в поліетиленових рукавах вологе зерно було повністю герметично запакованим. Подальші дослідження в даній галузі, показали, що фактором загибелі комах є зниження концентрації кисню, а не накопичення вуглекислого газу в полімерних рукавах.

Дослідження з амбарним довгоносом [13] показали, що за високого вмісту кисню (15–20%) для загибелі основної маси комах необхідна концентрація вуглекислого газу біля 36 % (рис.1.1).

Подальшими дослідженнями встановлено, що на практиці допустимий невеликий витік вуглекислого газу. Якщо надходження кисню менші 0,5% вільного простору на добу, то середня зараженість усувається, а концентрація кисню зростає зі швидкістю, яка еквівалентна його витіку (рис. 1.2). На рис.5 рукав завантажений пшеницею яку штучно заразили амбарним довгоносом (40 жуків на 450 г. пшениці).

При довгостроковому зберіганні зерна розміри втрат ваги досить значні. Наприклад, втрати ваги при зберіганні зерна вологості до 20% складають 0,75% в місяць.



1 – термін зберігання 17 діб; 2 – термін зберігання більше 17 діб

Рис. 1.1 – Загибель дорослих особин амбарного довгоносика в залежності від вмісту кисню (з ліва) і вуглекислого газу (з права).

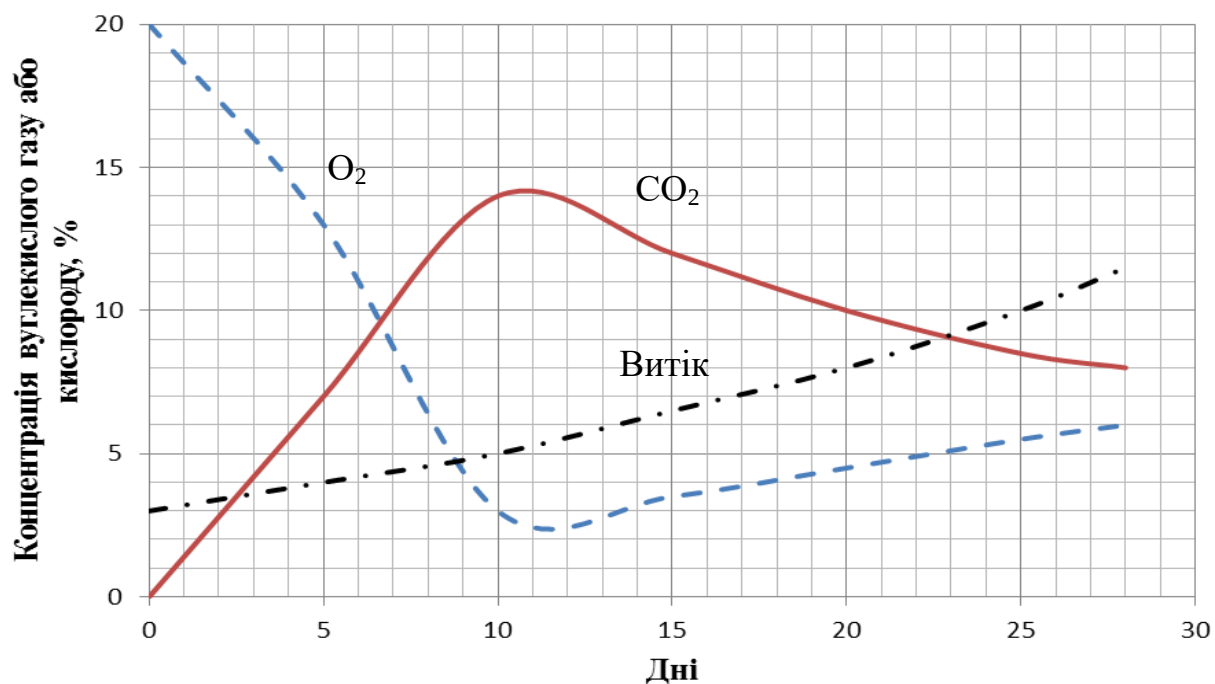
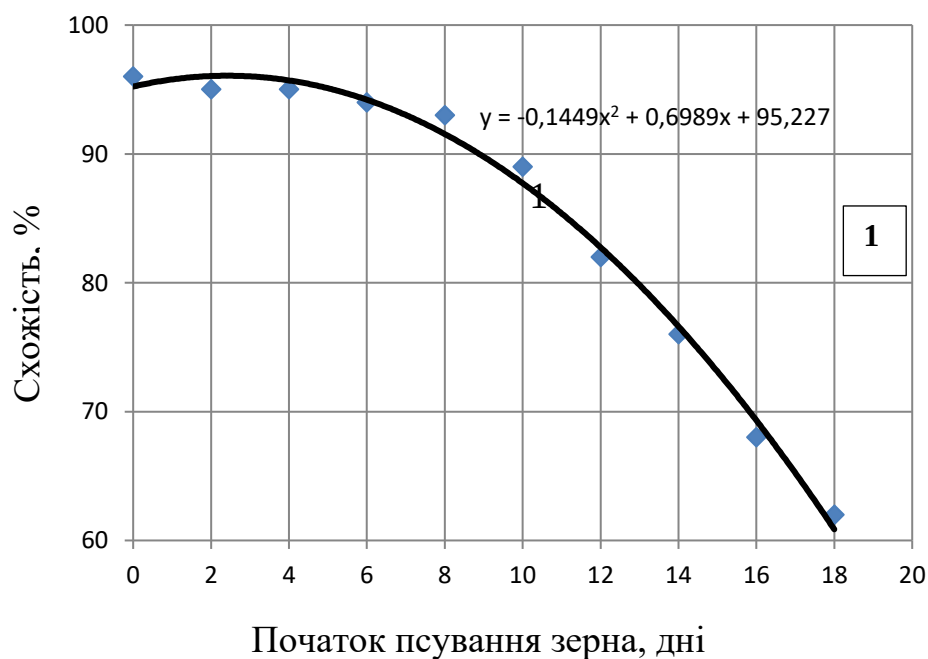
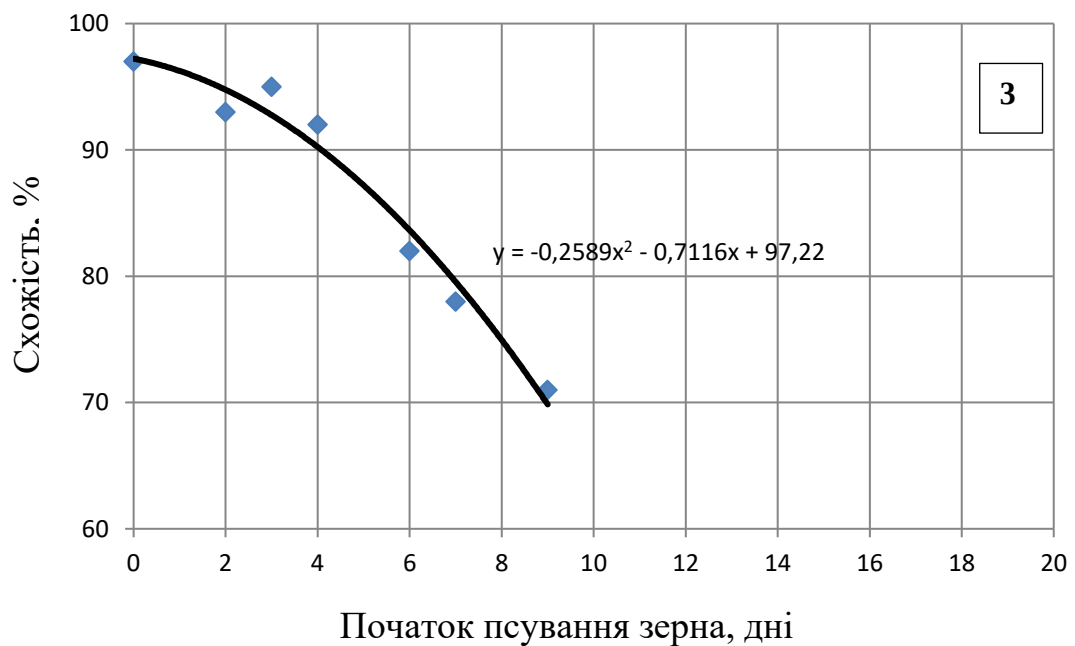
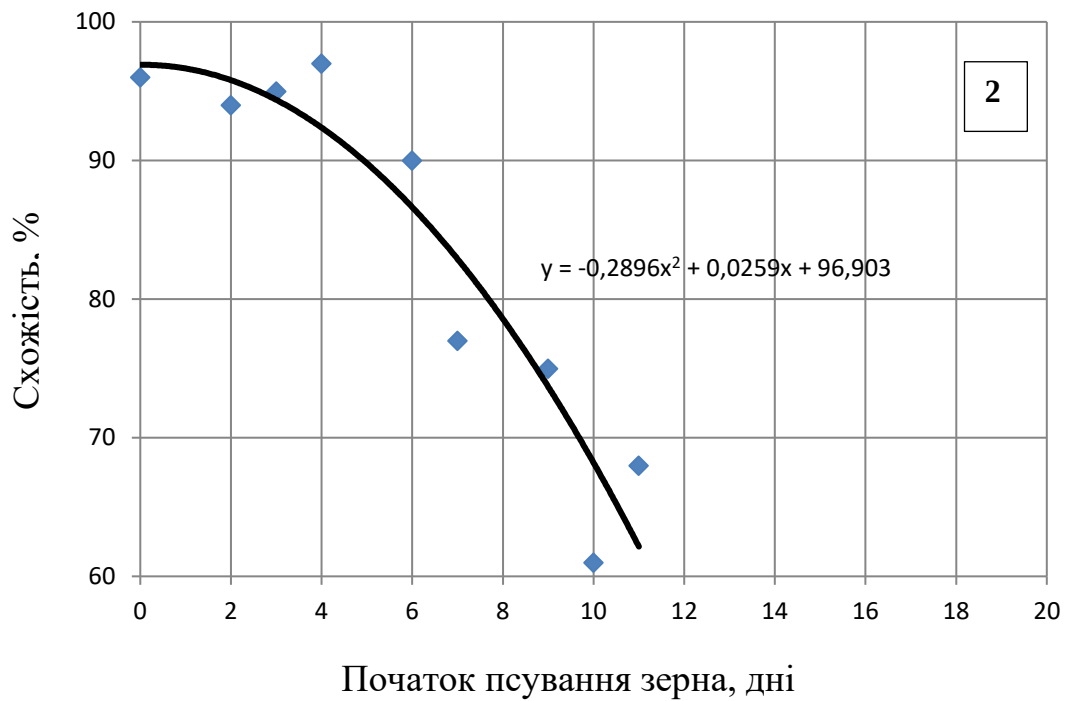


Рис. 1.2 – Концентрація кисню та вуглекислого газу в рукаві місткістю 10 т пшениці

Одним з негативних факторів який впливає на збереження зерна є вуглекислий газ, а також значна кількість вологи та тепла, які посилюють дихання зерна і створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів. Залежність погіршення якості насіння, в залежності від вологості при незмінній температурі, наведені на рис. 1.3.





1 - вологість 18,7 %; 2 - вологість 22,62 %; 3 - вологість 26,74 %

Рис. 1.3 – Графічні залежності схожості пшениці при різних показниках її вологості та температурі зберігання 20°C

В результаті життєдіяльності (дихання) зернової маси (зерна, мікрофлори і інших компонентів) [12] в зерні виділяється певна

кількість тепла, яке викликає поступове підвищення температури. У початковій стадії це природний процес, і втрата сухої речовини у зв'язку з диханням визначається нормами природного спаду. Проте, якщо вчасно не прийняти профілактичних заходів, тепловий процес, що розвивається, може погіршити умови зберігання зерна і привести до самозігрівання.

Самозігрівання зерна викликає значну втрату органічної речовини. Так, підвищення температури зерна при самозігріванні на 10°C відбувається виділення тепла в кількості близько 21000 кДж на 1000 кг зерна. Таким чином, при самозігріванні, скажімо, 1 тис. т зерна кількість його зменшується на 1-2 т при підвищенні температури на 10°C, на 2—4 т при зростанні температури на 20°C. Самозігрівання супроводжується різким погіршенням якості зерна.

Слід зазначити, що виникнення самозігрівання можливе при зберіганні навіть просушеного зерна унаслідок перенесення вологи конвективними струмами з подальшою її конденсацією, підвищеної фізіологічної активності у стадії післязбирального дозрівання, проникнення і розвитку шкідників хлібних запасів. Тому ослабляти контроль за станом зерна, що зберігається, у жодному випадку не можна.

В процесі зберігання зерна вологістю до 17% при температурі 15—20°C інтенсивність тепловиділення в результаті дихання зернової маси зазвичай невелика і не перевищує 3-4 мілліватт на 1 кг (таблиця 1.3), що може викликати за 10 діб зберігання підвищення температури всього на 1,3—1,7 град. Інтенсивність тепловиділення

при цьому може піднятися до 25 і навіть до 300 мВт/кг, викликаючи підвищення температури зерна відповідно на 1 і 12 град у добу. Все це підвищує небезпеку виникнення самозігрівання, ускладнює контроль температури зерна загальноприйнятими технічними засобами.

Таблиця 1.3 - Інтенсивність тепловіддачі зерна різних культур (мВт/кг)

Культура	Вологість зерна, %	Температура зерна в °С		
		0-10	15-20	25
Пшениця	14		0,3	1
	15	0,2	0,5	2
	16	0,3	1,4	5
	17	1	3	20
	18	1	6	
Ячмінь	14	1,4	3,3	
Рис-зерно	14	0,11	0,34	0,64
	15,5	0,25	1,3	2,5
Гречка	15	0,06	0,08	0,35
	16,5	0,08	0,1	0,48
	17,5	0,19	0,55	0,9
	19		1,1	4,8
Горох	14		0,04	0,09
	15	0,03	0,07	0,13
	16	0,05	0,1	0,21
Боби	15	2	3,4	5
	20	5,8	12	25
	25	19	28	41

Як видно з таблиці 1.3, інтенсивність тепловиділення внаслідок дихання зернової маси різко зростає при вологості вище 15—16% і температурі вище 10°C. Отже, для приведення зерна в стійкіший стан необхідно якнайскоріше понизити його вологість і температуру. Найбільш ефективним і доступним засобом видалення із зернової маси тепла, що утворюється, запобігання самозігрівання, а також консервації зерна є охолодження і підсушування.

Таблиця 1.4 - Гранично-контрольні норми дійсної втрати при зберіганні зерна і насіння олійних культур, %

Культура	Строки зберігання	В сховищах		На обладнаних для зберігання площадках
		насипом	в тарі	
Пшениця, жито, ячмінь	До 3 міс.	0,07	0,04	0,12
	До 6 міс.	0,09	0,06	0,16
	До 1 року	0,12	0,09	-
Овес	До 3 міс.	0,09	0,05	0,15
	До 6 міс.	0,13	0,07	0,20
	До 1 року	0,17	0,09	-
Гречка і рис не обрубаний	До 3 міс.	0,08	0,05	-
	До 6 міс.	0,11	0,07	-
	До 1 року	0,15	0,10	-
Просо, чумиз і сорго	До 3 міс.	0,11	0,06	0,14
	До 6 міс.	0,15	0,08	0,19
	До 1 року	0,19	0,10	-
Кукурудза в зерні	До 3 міс.	0,13	0,07	0,18
	До 6 міс.	0,17	0,10	0,22
	До 1 року	0,21	0,13	-
Кукурудза в початках	До 3 міс.	0,25	-	0,45
	До 6 міс.	0,30	-	0,55
	До 1 року	0,45	-	0,70
Горох, чечевиця, боби, квасоля, віка і соя	До 3 міс.	0,07	0,04	-
	До 6 міс.	0,09	0,06	-
	До 1 року	0,12	0,08	-
Сояшник	До 3 міс.	0,20	0,12	0,24
	До 6 міс.	0,25	0,15	0,30
	До 1 року	0,30	0,20	-
Інші олійні культури	До 3 міс.	0,10	0,08	-
	До 6 міс.	0,13	0,11	-
	До 1 року	0,17	0,14	-

Необхідно також відмітити, що при природному диханні зерна відбуваються неминучі втрати найбільш цінних поживних речовин. Хоча при правильному зберіганні зерна втрати поживних речовин дуже малі. Для основних зернових культур вони не перевищують

0,1—0,3% за рік. Разом з тим, вологе зерно за 1 добу витрачає на дихання стільки поживних речовин, скільки сухе зерно за 1 рік зберігання.

В табл. 1.4 наведені гранично-контрольні норми природної втрати в зерні поживних речовин, які враховують тривалість та умови зберігання.

При підвищеній вологості зерна до 27% вже через 3 дні спостерігається погіршення схожості насіння. Затхлий запах і поява пліснявілих грибів з'являється через 4 дні. За 14 днів ураження плісневілими грибами буває настільки сильним, що насіння можна вважати повністю ураженим. Лише при зберіганні зерна вологістю близько 18% спостерігається суттєве гальмування процесу пошкодження зерна - цей період починається після 8 днів зберігання і відбувається не так інтенсивно, як в інших випадках.

На рис. 1.4 наведений графік залежності максимальної тривалості зберігання зерна пшениці від її вологості при постійній температурі. З аналізу графічної залежності видно, що вологе зерно досить швидко піддається псуванню, в той час, коли кондиційне зерно можна зберігати без втрати якісних показників на протязі декількох днів.

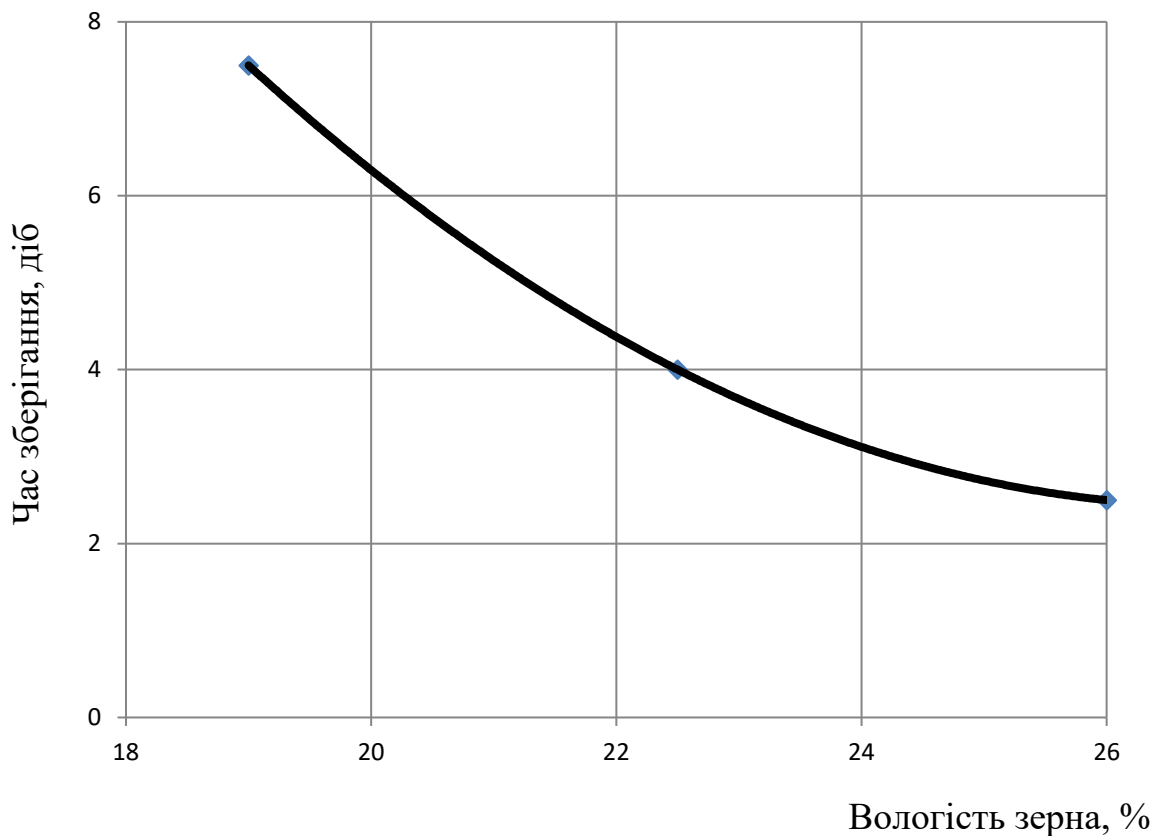
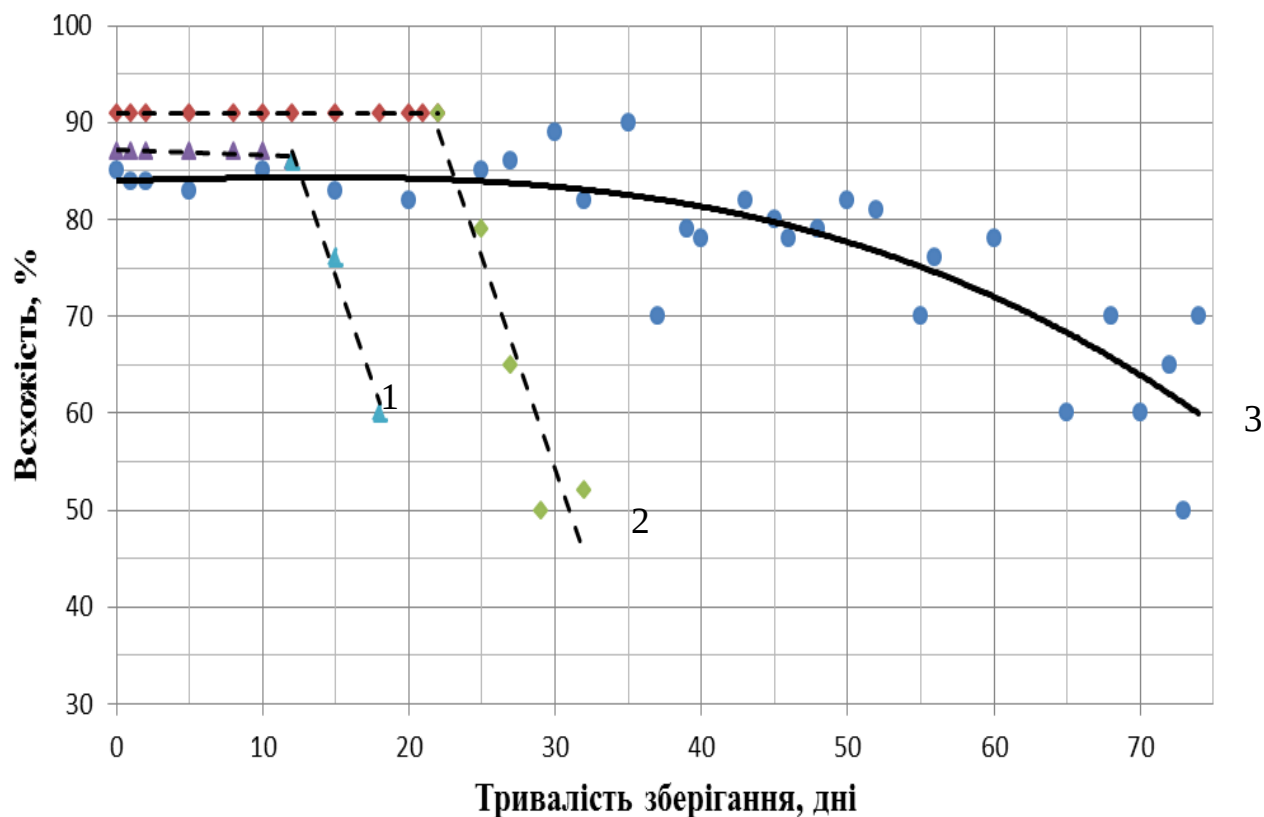


Рис. 1.4 – Максимально допустимий термін зберігання пшениці при 20°C в залежності від вологості зерна

Необхідно відмітити, що вказані на рис.1.4 границі допустимого зберігання вологого зерна пшениці задовольняють даним умовам лише для температури 20°C, при підвищеній температурі всередині зернової маси внаслідок дихання ураження зерна починається раніше.

Як відмічалось раніше, зниження температури зернової маси значно гальмує розвиток мікроорганізмів. На рис. 1.5 наведені результати досліджень зберігання жита при різних температурах за відносно однакової вологості. З аналізу графічних залежностей на рис. 1.5 видно, що якість жита, яке зберігалось при температурі 20°C, значно погіршується на 11 день. Приблизно у цей же період спостерігається поява плісневілих грибів.

Необхідно відмітити, що за температури 15°C запах стає помітним лише через декілька днів після плісняви, що пояснюється затримкою росту мікроорганізмів.



1 – вологість, 18,65%; температура, 20°C;

2 – вологість, 18,45%; температура, 15°C;

3 – вологість, 18,10%; температура, 10°C

Рис. 1.5 – Графічні залежності схожості жита, яке зберігалось при різних температурах

Необхідно відмітити також, що при підвищенні температури в зібраній зерновій масі до 25°C та відносній вологості повітря в міжзерновому просторі до 70 – 80% розвиток мікроорганізмів збільшується в декілька разів, що призводить до самозігрівання. При самозігріванні знижується як насінневі так і харчові властивості. Плісневілі гриби з'являються раніше ніж відбувається помітне

зниження схожості зерна. Якість насіння, призначених для посіву, після зберігання характеризується: чистотою, схожістю, вагою 1000 насінин та рівністю насінин за товщиною. В залежності від схожості та засміченості насіння повинне задовольняти наступним вимогам, які наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 - Посівні якості насіння різних класів

Культура	Нормативний документ	Клас	Насіння основної культури (%)	Відходи основної культури і домішок (%)	В тому числі не більше		Схожість не менше (%)
					Насіння інших культур (шт. на 1 кг)	З них насіння бур'янів (шт. на 1 кг)	
Пшениця озима	10467-63	I	99	1	10	5	95
		II	98,5	1,5	50	25	90
		III	97	3	200	50	90
Пшениця ярова	10467-63	I	99	1	10	5	95
		II	98,5	1,5	50	25	90
		III	97	3	200	100	90
Жито	10468-63	I	99	1	10	5	95
		II	98	2	100	50	90
		III	97	3	200	100	90
Ячмінь	10469-63	I	99	1	10	5	95
		II	98,5	1,5	100	25	95
		III	97	3	300	100	90
Овес	10470-63	I	99	1	10	5	95
		II	98,5	1,5	100	25	95
		III	97	3	300	100	90

В табл. 1.6 наведені рекомендовані терміни короткострокового зберігання зерна без погіршення його якості. Аналіз табл. 6 показує,

що чим зерно сухіше, тим довше воно зберігається без втрати його якісних властивостей при підвищених температурах і навпаки при великій вологості зерна температура зберігання повинна бути нижча. Наприклад для пшениці, ячменю термін зберігання становить 180 діб при вологості зерна 15% і температурі 10°C, за умов якості зерна не погіршується.

Зерно з урахуванням або іншими дефектами набагато частіше самозігрівається. Із-за цього строки безпечного зберігання ушкодженого зерна повинні бути коротші.

Таблиця 1.6 - Граничні строки зберігання зерна без відповідної обробки (по І.А. Клєєву) [12]

Культура	Температура (град.)	Строки зберігання діб при вологості зерна (%)																				
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Пшениця, жито, ячмінь	5								180	130	70	36	26	23	20	18	16	15	14	12	11	10
	10						180	135	70	32	20	13	10	8	6	5	4	2	1			
	15					170	75	35	20	12	8	5	3	1								
	20				180	80	36	29	11	7	4	2										
	25			200	125	37	19	9	4	1												
	30			180	90	30	14	5	2													
Овес	5						190	144	130	70	36	22	21	20	18	16	15	14	12	11	10	8
	10					190	135	70	32	20	13	10	8	6	5	4	2	1				
	15				190	165	75	35	20	12	8	5	3	1								
	20				180	80	35	20	11	7	4	2										
	25				125	37	19	9	4	1												
	30				90	30	14	5	2													
Просо	5				190	170	160	144	104	56	29	21	18	16	14	13	12	11	10	9	8	7
	10				-	144	108	56	26	16	10	8	6	5	4	3	2	1				
	15				132	60	28	16	10	6	3	1										
	20			144	64	28	16	9	6	3	1											
	25		144	100	30	15	7	2	1													
	30	144	90	72	24	11	4	1														

1.2. Зберігання зерна в плівкових рукавах при низьких температурах навколишнього середовища

Широкий спектр досліджень в напрямку морозостійкості зерна пшениці [13] були проведені різними дослідниками з метою визначення посівних властивостей зерна.

Дослідження проводили на пшениці вологістю 14,9%; 18,5% та 20,5% зберігали в холодильних камерах при температурі -5°C ; -10°C та -18°C на протязі 9 місяців. Потім визначали енергію проростання, схожість та життєздатність зерна при різних умовах пророщування, ферментивну активність та інтенсивність дихання зерна, подальший розвиток сходів, силу росту, повноту сходів, врожайність, розвиток мікроорганізмів тощо.

Результати досліджень наведені в табл. 7, показали, що життєздатність зерна не змінилась, але показники енергії проростання і схожості, які отримані при пророщуванні в піску при температурі $20\text{—}22^{\circ}\text{C}$, значно погіршились, особливо у зерні з вологістю 18—20% і при більш низьких температурах зберігання. Найбільше зниження даних показників спостерігається у перші три місяці зберігання зерна, потім вони стабілізуються та суттєво покращуються. При цьому енергія проростання до кінця терміну зберігання в усіх варіантах окрім вологості 18—20% і температури -18°C , перевершила вихідний рівень.

На зберігання зерна було закладено з незавершеним періодом дозрівання. Під дією низьких температур і підвищеною вологістю вони перейшли в більш глибокий стан спокою, внаслідок чого результати пророщування на 10-й день стали занижені. Після попереднього обігріву насіння перед висівом у ґрунт на протязі тижня при температурі $20\text{—}22^{\circ}\text{C}$ показники енергії проростання та схожості підвищувались і насіння досягло раціональних посівних кондицій.

Таблиця 1.7 - Динаміка зміни посівних якостей пшениці в процесі зберігання при мінусових температурах (по Сосєдову Н.І.) [13]

Початкова вологість, %	Енергія проростання, %				Схожість, %				Життєздатність, %			
	Строки зберігання в місяць											
	0	3	6	8,5		0	3	6	8,5	0	3	6
При температурі -5°C												
14,9	64	76	83	88	93	90	90	93	94	93	92	94
18,5	53	48	61	72	94	78	83	89	92	91	93	93
20,5	51	36	51	64	92	77	81	85	93	94	92	92
При температурі -10°C												
14,9	64	71	79	86	93	89	91	94	94	93	90	93
18,5	53	40	43	55	94	78	80	85	92	93	92	94
20,5	51	36	46	54	92	72	74	80	93	91	94	93
При температурі -18°C												
14,9	64	62	77	81	93	85	89	92	94	94	93	93
18,5	53	38	41	51	94	73	78	84	92	93	92	94
20,5	51	30	35	46	92	70	81	80	93	93	92	93

Отже при зберіганні зерна в зимовий період в поліетиленових рукавах зерно пшениці зберігає свої властивості при проморожуванні його за вологістю не вище 20% та температурі до -18°C, це обґрунтовується тим, що утворення льоду в тканинах зародка не спостерігається.

Зерно в зимовий період при низьких температурах тобто при проморожуванні переходить в стан глибокого спокою і дає повернення його до життєздатності перед посівом необхідно зігріти на протязі декількох днів при температурі 20 - 25°C. Посівні якості такого зерна зберігаються повністю.

РОЗДІЛ 2

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ В ПОЛІМЕРНИХ РУКАВАХ

2.1. Технологічний процес та технічні засоби для зберігання зерна кондиційної вологості в полімерних рукавах.

При зберіганні зерна останнім часом почала застосовуватись технологія зберігання зерна в герметичних гнучких полімерних рукавах. Без доступу повітря в зерновій масі зникає здатність до розмноження та розвитку грибів, паразитів тим самим підвищується термін зберігання зерна в рукавах.

Суть даного технологічного процесу полягає у зберіганні зерна в герметичному середовищі. Від дихання зерна утворюється вуглекислий газ, який дозволяє призупинити життєздатність комах, інших шкідників і самого зерна. Даний факт дає змогу зберігати його в залежно від вологості, від кількох місяців до двох років. Технологія має переваги: низькі капіталовкладення, недороге обладнання для завантаження та розвантаження мішків, розміщення рукавів із зерном в зручному для господаря місці, зниження транспортних витрат.

Комбайнер вивантажує зерно із бункера у транспортний засіб (автомобіль, спецбункер, причеп) і записує відмітку у своєму реєстраційному журналі, а водієві транспортного засобу відповідно запису передає встановленого зразку нумеровану картку формату А4 в чотирьох екземплярах [9, 11].

Режим зберігання зернових мас в герметичних умовах заснований на відсутності кисню у міжзернових просторах зерна шляхом ізоляції від атмосферного повітря або в спеціальному середовищі, що не містить кисню. Зерна основної культури і насіння смітєвих рослин переходять до анаеробного дихання і поступово знижують свою життєдіяльність. Майже повністю припиняється життєдіяльність мікроорганізмів, а кліщі і

комахи гинуть. При вологості від критичних і більше зберігання без доступу кисню дає позитивні результати, але в таких випадках спостерігається деяке зниження якості зерна (втрата блиску, потемніння, виникнення спиртового і кислого запахів, зростання кислотного числа жиру) при збереженні хлібопекарських і кормових властивостей.

Цілком виключається можливість зберігання без доступу повітря усіх партій зерна та насіння, призначених для висівання, так як існує неминуча можливість часткової або повної втрати схожості.

Одним із способів реалізації режиму зберігання зернових мас в герметичних умовах є використання полімерних зернових рукавів, у яких безкисневі умови досягаються природним накопиченням оксиду карбону (вуглекислого газу) і втратою кисню в результаті дихання усіх живих компонентів, від чого і виникає самоконсервування (автоконсервування) зерна. При цьому дуже важливо мати мінімальний запас кисню в рукаві, а це досягається повним його завантаженням без порожнин. Важливим фактором в початковий період автоконсервації є зниження температури зерна до $+15^{\circ}\text{C}$ і нижче, так як при таких умовах різко припиняється життєдіяльність мікроорганізмів, кліщів і комах. Тепле зерно довго залишається теплим, а холодне довго залишається холодним із-за дуже низької теплопровідності зернової маси.

Після прибуття транспортного засобу на технологічну лінію зерносховища лаборант відбирає пробу, забирає у водія усі 4 екземпляри картки і виконує необхідні аналізи (в тому числі експресними методами), в першу чергу вологості, зернової (олійної) та сміттєвої домішок, наявності насіння карантинних бур'янів, зараженості шкідниками зерна, заносить їх результати у кожний екземпляр картки. У ці ж екземпляри лаборант записує показники якості зерна, визначені польовими дослідженнями на даному полі певної ділянки для культури, що надійшла.

На основі аналізування даних працівник лабораторії вказує у картці подальший напрям руху зерна – на доробку з вказанням видів доробки чи, за певних гарантованих умов, на завантаження у полімерні зернові рукави з вказанням їх номерів. Одночасно, лаборант формує зразки зерна (насіння) кожного власника: середньодобові для однорідного та середньозважені для неоднорідного, а також проби для одиночних партій зерна та насіння олійних культур.

Водій транспортного засобу, отримавши необхідні документи, подає його на технологічну лінію для зважування. Вагар автомобільних ваг, а де його не передбачено, матеріально-відповідальна особа зважує транспортний засіб, заносить вагу (масу) брутто в усі чотири екземпляри картки та у журнал зважування вантажів. В один із екземплярів номерної картки вагар вказує номер запису в журналі форми, завіряючи вагу брутто і номер запису своїм підписом. Розвантажений на технологічній лінії транспортний засіб зважують, проставляючи в картках і ваговому журналі вагу тари, вагу нетто. Картки підписує матеріально-відповідальна особа і один екземпляр залишає собі. Решта карток передаються у лабораторію, адміністрацію (бухгалтеру) і одну водій залишає собі для звітності.

Зерно підлягає очищенню від сміттевої, зернової (олійної) домішок до вимог за вмістом їх у певному класі і за цільовим призначенням, що забезпечує раціональне використання зерна і економію витрат.

Сухе зерно культур із-під комбайна не рекомендується завантажувати безпосередньо в зернові рукави, а на технологічній лінії доробити його шляхом пропуску крізь скальператори та решітні сепаратори для вилучення крупної фракції органічного і мінерального походження, видалення легких домішок і пилу, знищення можливих шкідників зерна, охолодження його на 6-8 градусів нижче температури навколишнього середовища, можливого охолодження штучним

холодом, поліпшення сипкості зернової маси, надання зерну товарного вигляду.

Очищають зерно від грубих, крупних і легких домішок перед подачею його на сушіння в прямоточні чи рециркуляційні зерносушарки. Кінцеве очищення такого зерна здійснюють після сушіння.

Високозасмічене зерно та те, що самозігрівається, заражене шкідниками зерна, засмічене домішками з неприємним і невластивим запахом очищають в першу чергу.

Перед початком очищення для встановлення режиму зерноочисних машин матеріально-відповідальна особа разом з працівником лабораторії організують пробне очищення партії, використовуючи при цьому показники фізико-механічних властивостей зерна та насіння і розміри отворів решітних полотен для зерноочищувальних машин. Пробне очищення зерна на сепараторах вважають закінченим, якщо за одноразове проходження крізь машину встановленої продуктивності буде виділено не менше 60% відокремлюваних домішок.

Для запобігання потрапляння металоманітної домішки в зерно в лінії очищення встановлюють магнітні сепаратори або магнітні колонки з постійними магнітами.

Формування партій вологого і сирого зерна до сушіння здійснюють у накопичувальних місткостях із інтервалами по вологості: для зернових і бобових – до 17 %, від 17 до 22 % і більше 22 % з інтервалом в 6 %; для соняшника – до 9 %, більше 9 % з інтервалом в 3 – 4 %; для сої і рису-зерна незалежно від вологості з інтервалом в 3%, для ріпаку – до 11%, від 11 до 15% і більше 15% з інтервалом в 4%.

Контроль процесу сушіння здійснюється лаборантом за пробами зерна, що через кожні 2 години відбираються до і після сушки з визначенням температури зерна на виході із сушильної і охолоджуючої камер зерносушарки. Визначають запах, колір, вологість, зараженість, для пшениці – кількість та якість клейковини; для круп'яних культур –

наявність обрубаних і битих зерен; для олійних культур – без зменшення виходу олії, збільшення кислотного і йодного чисел олії, розтріскування оболонок.

Вентилювання атмосферним повітрям з метою зниження температури проводять у найбільш холодний період доби і до тих пір, поки зерно не буде охолоджене до температури, близької до температури зовнішнього повітря в нічний період доби.

Вентилювання сирого і вологого зерна насінневого призначення при мінусових температурах атмосферного повітря закінчують, якщо температура зерна досягла 0°C і не нижче -3, -5°C. Перед відпуском такого зерна на посів весною насіннєве зерно вентилюють удень, коли температура повітря буде не меншою +15°C.

В полімерних рукавах зерно насінневого призначення не зберігають, використовують склади підлогового типу або інші зерносховища.

З метою сушіння вентилюють зерно пшениці, жита, ячменю, рису, зерна, гороху, сої, кукурудзи вологістю не більше 17 %, ріпаку – 13 %, соняшнику – 10 % при любых метеорологічних умовах, доки середнє значення відносної вологості атмосферного повітря рівне рівноважному для досягнення необхідної вологості зерна. Сушіння закінчують, коли вологість зерна зернових культур у поверхневому шарі насипу досягне 14...15 %, насіння соняшнику – 6...7 %, кукурудзи, сої, проса – 12...13 %. Для сушіння зерна можливе використання тепловентиляційних агрегатів з рекуператором для підігріву до температури 60-90°C повітря, що надходитиме в устаткування для активного вентилювання. У таких випадках обладнання працює за режимами сушіння зерна.

В практиці зберігання зерна у різних країнах застосовують три режими:

- зберігання зернових мас у сухому стані, тобто, що мають вологість менше критичної;

- зберігання зернових мас в охолодженому стані, тобто мас, температура яких знижена до меж, що гальмують усі життєві функції компонентів зернової маси;

- зберігання зернових мас в герметичних умовах (без доступу повітря).

Застосування полімерних рукавів дозволяє використовувати комбіновані режими зберігання зернових мас:

- у сухому стані в герметичних умовах;
- в охолодженому стані в герметичних умовах;
- у сухому й охолодженому стані в герметичних умовах.

Перед закладкою зерна на зберігання вибирають один із вищенаведених комбінованих режимів. При необхідності зерно доробляють на технологічній лінії зерноскладища – очищають, сушать, охолоджують. Перед завантаженням зернових рукавів лабораторія визначає початкові показники якості зерна культур згідно чинної нормативної документації, а також визначають температуру зерна.

Дуже важливою є якість полімерних зернових рукавів. Обов'язковим є перевіряння документу (сертифікату) на рукав, дати виготовлення, терміну придатності, умов зберігання зерна. При наповнюванні ПРЗ не дозволено перевищувати норми розтягування (розміри індикативної лінії), встановлені виробником полімерних рукавів. Забороняється застосовувати рукави, що непридатні для зберігання зерна.

Перед завантаженням рукавів проводять розмітку території для дотримання відстані від огорожі до рукава, між рукавами в поперечному напрямі не менше 1,5-2,0 м. Вздовж лінії завантаження рукава на території проводять лінію для підтримування при завантаженні співвісності переміщення завантажувача і трактора, а також паралельності переміщення накопичувача зерна і завантажувача.

Підготовку завантажувача до роботи проводять згідно Інструкції по обслуговуванню машини, але оператору слід перевірити її

комплектність, а також тиск повітря в колесах, оскільки вона працює на гальмах.

Для встановлення рукава на завантажувач він повинен бути з'єднаний з трактором і повинно бути встановлено ручне гальм. Для безпеки роботи механізм відбору потужності від трактора слід приєднати до навантажувача тільки після встановлення рукава на завантажувач.

Рукав виймають з упаковки, встановлюють на землі співвісно з завантажувачем, розмотують складки з кінця на відстань близько 2 м, стискають кінець рукава двома дошками, підвертають його декілька разів з'єднанням до землі так, щоб між з'єднанням і землею не було щілини. Другу сторону рукава в складчастому вигляді за допомогою крюка і підйомника одягають на округлу раму завантажувача так, щоб нижня частина рукава знаходилася на лотку, слідкуючи за тим, щоб всі нижні складки рукава знаходилися на лотку, а верхні – на рамі. Відстань від землі до лотка дорівнює 15 см, що попереджує зворотній потік зерна на лоток.

Завантажувальний жолоб фіксують в горизонтальному положенні, сцепний механізм завантажувача з'єднують з механізмом відбору потужності трактора.

Накопичувач зерна з трактором розміщують збоку паралельно завантажувачу так, щоб випускна труба накопичувача подавала зерно точно по центру приймального бункера завантажувача.

Після перевірки роботи завантажувача на холостому ході повільно починають подачу зерна, перевіряючи, чи рівномірно по ширині заповнюється рукав і чи по розмітці його кінець лежить на землі. Після подачі зерна кінець рукава починає натягуватися, навантажувач і трактор починають рухатися і оператор повинен слідкувати, щоб уникнути пошкоджень рукава. Шнек транспортує зерно в кінець рукава, доки завантажувач не почне рухатися, штовхаючи трактор. При цьому

слідкують, щоб зерно рівномірно надходило в приймальний бункер і щоб рукав за рахунок натягу від зерна мав гладеньку поверхню. Ступінь натягу рукава в поперечному напрямі визначають по двох мітках на його поверхні, відстань між якими вказує виробник рукавів (здебільшого 40-45 см).

Синхронність подачі зерна і руху завантажувача забезпечується величиною гідравлічного тиску в системі гальмів навантажувача, від цього тиску залежить тиск зерна в середині рукава, а отже використання його місткості. Якщо земля мокра чи нещільна і колеса починають ковзати, то тиск в гальмах починають знижувати (по манометру).

Для зупинки процесу завантаження рукава зупиняють подачу зерна в приймальний бункер, вичікують доки шнек не закінчить транспортування залишків зерна, після чого трактор і завантажувач зупиняються. Якщо шнек обертається вхолосту – зменшують швидкість на валу трактора з рекомендованих 540 об/хв до нуля.

Коли на поверхні рукава з'явиться кольорова смужка, або коли залишиться його 4 складки, зупиняють трактор, залишаючи його на ручному гальмі, щоб зерно не штовхнуло завантажувач і трактор. Поступово відпускають ручне гальмо і відтягують завантажувач трактором до вивільнення кінця рукава.

Прийнято різні способи закриття зернового рукава з його подальшою герметизацією:

- за допомогою пластикової стрічки, закручуючи кінець з'єднання для щільнішого прилягання до землі;
- за допомогою двох дерев'яних пластин, між якими затискують кінці рукава і збивають гвіздками, а саме з'єднання закручують і притискують щільно до землі.

Після завантаження зернового рукава на спеціальній таблиці або на мішку незмивною краскою наносять номер згідно плану розміщення зерна. Якщо у рукав завантажені, наприклад, два класи зерна однієї

культури, то проставляють і два номери, а також наносять поперек роздільну полосу незмивною краскою і стрілки, направлені на даний клас зерна – поздовж рукава.

Оскільки зерно та насіння зберігаються в герметичних умовах, то ніяких операцій з зерном в ході зберігання не проводять. Однак постійно, кожного дня проводять спостереження за цілісністю рукавів. Найбільш часто пошкодження гризунами спостерігають на стику рукава з землею, на складках і в місцях завантаження й розвантаження рукавів та пошкодження птицями – зверху зернового рукава. Тому для попередження пошкоджень на стику рукава з землею щілини закривають монтажною піною.

Усі отвори в рукаві, що утворилися під час зберігання зерна, негайно закривають липкими стрічковими плівками (скотчем). Найбільш небезпечні поздовжні отвори і надрізи, оскільки від внутрішнього тиску зерна вони можуть розширюватись і привести до повного розкриття рукава. Такі надрізи по кінцях слід «замкнути» поперечними надрізами і усіх разом закрити клейкою стрічкою.

При значному пошкодженні рукава, що неможливо ліквідувати заклеюванням, його розвантажують з ближнього до пошкодження кінця і, при досяганні місця пошкодження, рукав обрізають та герметизують (закривають).

З моменту надходження зерна на зерносховище протягом усього періоду його зберігання організують систематичний контроль за показниками якості і станом кожної партії зернової маси культури. Контроль проводять за температурою зерна, його вологістю, зараженістю шкідниками, запахом, кольором, смаком і іншими показниками, що нормують діючою нормативною документацією: на пшеницю – ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні умови»; на ячмінь - ДСТУ 3769-98 «Ячмінь. Технічні умови»; на тритикале – ДСТУ 4762:2007 «Тритикале. Технічні умови»; на кукурудзу – ДСТУ 4525:2006

«Кукурудза. Технічні умови»; на сою – ДСТУ 4964: 2008 «Соя. Технічні умови»; на соняшник – ДСТУ 7011:2009 «Соняшник. Технічні умови»; на ріпак – ДСТУ 4966:2008 «Насіння ріпаку для промислового переробляння. Технічні умови». Для насіннєвого зерна контролюють схожість і енергію проростання.

Перед завантаженням рукавів проводять повний аналіз якості зерна за всіма показниками, визначеними стандартами. Вибір проб для аналізування зерна в процесі зберігання проводять у п'яти місцях по довжині рукава, відступаючи від країв по 5 м і на відстані 11,0-11,5 м в подальшому – три місця, що позначають незмивною фарбою внизу зернового рукава. Для взяття проби рукав надрізають поперек його довжини і спочатку вимірюють температуру зерна у трьох рівнях – зверху, посередині і в нижній частині. Далі у цих же трьох рівнях відбирають зразки зерна, складають пробу (за необхідності) для інших аналізів. Після виконання роботи розріз заклеюють стрічкою. Температуру вимірюють термощупами з технічними термометрами або індикаторами температури сучасних конструкцій. Строки перевірки температури залежать від стану зернових, бобових і олійних культур за вологістю, засміченістю та вмісту зернової (олійної) домішки.

Температуру зерна пшениці, тритикале, ячменю, кукурудзи в зерні, насіння олійних культур перевіряють у терміни, наведені у табл. 2.1, 2.2, 2.3.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані терміни перевірки температури зерна

Стан зерна	Свіжозібране зерно на протязі 3-х місяців з моменту приймання	Зерно, що зберігається при температурі		
		вище 10°C	від 10°C до 0°C	від 0 °C і нижче
Сухе	1 раз у 5 днів	1 раз у 15 днів	1 раз у 15 днів	1 раз у 15 днів
Вологе	Щодня	1 раз у 2 днів	1 раз у 5 днів	1 раз у 15 днів
Сире	Щодня	-	-	-

Таблиця 2.2 – Рекомендовані терміни перевірки температури зерна кукурудзи

Стан зерна	Свіжозібране зерно на протязі 3-х місяців з моменту приймання	Зерно, що зберігається при температурі	
		вище 10°C	від 10°C і нижче
Сухе	1 раз у 3 днів	1 раз у 10 днів	1 раз у 15 днів
Середньої сухості	1 раз у 2 днів	1 раз у 5 днів	1 раз у 10 днів
Вологе	Щодня	-	-
Сире	Щодня	-	-

Таблиця 2.3 – Рекомендовані терміни перевірки температури насіння сої, соняшнику, ріпаку

Стан зерна	Свіжозібране зерно на протязі 3-х місяців з моменту приймання	Насіння, що зберігається при температурі		
		від 20 до 25°C	від 20 до 10°C	від 10°C і нижче
Сухе	1 раз у 3 днів	1 раз у 5 днів	1 раз у 10 днів	1 раз у 15 днів
Вологе	Щодня	-	-	-
Сире	Щодня	-	-	-

При зберіганні зерна та насіння один раз на місяць проводять його повний технічний аналіз за всіма показниками чинної нормативної документації на культуру по середній пробі, відібраної від однорідної партії. Результати аналізів усіх спостережень реєструють в лабораторних журналах.

Терміни зберігання зерна в рукавах можуть бути переглянуті, якщо зафіксовано достовірне підвищення температури як у рівнях поперек мішка, так і у місцях контролю по довжині рукава. Орієнтовно, в таблиці 2.4 наведені терміни зберігання зерна злакових культур без зниження його якості при зберіганні в герметичних умовах.

Таблиця 2.4 – Рекомендовані терміни зберігання зерна злакових культур без зниження його якості при зберіганні в герметичних умовах, діб

Температура зерна, °C	Вологість 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	80-120	40-60	20-30	20-30	10-15	5-8	5-8	3-5	3-5	3-5	3-5
30	40-60	20-30	10-15	10-15	5-8	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5

Перед розвантаженням працівник лабораторії відбирає пробу зерна для аналізування за всіма показниками якості, передбаченими нормативним документом на культуру, і оформлення документів на відпуск продукції споживачам.

Розвантаження зерна проводять відповідно до інструкції спеціального розвантажувача, що гвинтовим конвеєром (шнеком) подає зерно в транспортний засіб (спецбункер чи причеп з трактором, автомобіль), який синхронно з ним рухається зліва паралельно поздовжній лінії зернового рукава.

За допомогою гідравлічної системи трактора вивантажувальну трубу шнека-розвантажувача піднімають з транспортного в робоче

положення; клапан переключень гідросистеми знаходиться в положенні «Труба», потім клапан переводять у положення «Вал».

Вільний кінець зернового рукава повинен мати довжину біля 2 погонних метрів для заведення в нього механізмів розвантаження і закріплення на валу для намотування самого рукава. Його відкривають обережно, так як будь-який продольний удар у верхній поздовжній частині може призвести до поздовжнього розриву усього рукава. Якщо вільний кінець рукава короткий і його неможливо закріпити на валу, то необхідно вибрати частину зерна вручну лопатами для забезпечення необхідної довжини. Надалі посередині на висоті 2 м роблять поперечний надріз рукава довжиною близько 20 см і посередині від нього вниз роблять поздовжній розріз, рукав відкритий.

Кінець рукава заводять зверху на вал розвантажувача, клапан регулювання потоку зерна відкривають на півоберта (1800) і з допомогою гідросистеми трактора обертають вал, щоб фіксуючими гвинтами (7 штук) закріпити і зафіксувати рукав на валу.

Трактором розвантажувач наближають до маси зерна, перевіряючи, чи співпадає ріжучий ніж розвантажувача з надрізом на рукаві. Якщо напрями не співпадають, то додатково спереду роблять невеликий поперечний надріз рукава, а від нього – поздовжній до ножа.

Перевіряють положення накопичувача зерна (зліва від рукава) для прийому зерна і повільно включають карданний вал, доводячи його оберти до 540 об./хв. Після обертання карданного вала (шнеків) гідравлічно активізують тяговий вал. Його швидкість збільшують за допомогою клапана контролю потоку до тих пір, поки рівень потоку зерна в рукаві не стає стабільним. Постійно перевіряють, чи ніж розрізає рукав.

При роботі під валом або над ним створюється виступ зерна, який не повинен перевищувати діаметр вала. Виступ зерна над валом

зменшують, закриваючи клапан потоку зерна, а під валом – висотою зчіплюючої скоби.

Слід попереджувати перевантаження розвантажувача, коли шнеки не встигають забирати зерно або коли швидкість вала не узгоджена зі швидкістю шнеків.

При зупинці розвантажувача першою виключається гідравлічна система, що зупиняє вал, потім шнеки, працюючи, знижують тиск зерна і після цього виключають карданну передачу. При запуску – навпаки, спочатку запускають в роботу шнеки, потім – вал.

Коли шнеки дійдуть кінця рукава вал необхідно зупинити, а після цього зупинити шнеки. Машину витягують з рукава переключенням гідросистеми трактора на оберти вала у зворотному напрямку. Кінець рукава з залишками зерна відрізають, трактор з розвантажувачем шнеками наближають до зерна. Закривають дві кришки, що убезпечують нижню частину підйомного шнека, закріплюють ручну розвантажувальну воронку, потім шнеками і лопатою вивантажують залишки зерна (не більше 200 кг).

Перевагами даної технології є:

- економія засобів на зберіганні зерна за рахунок скорочення витрат на сховища, логістику і транспорт;
- зберігання відсортованого зерна;
- відсутність знеособлення і заниженої оцінки елеваторами якості зерна (втрата в ціні);
- здобуття на виході зерна вищої якості (виграш в ціні) за рахунок післязбирального дозрівання в рукавах;
- уникається знеособлення зерна, тобто з мішка береться те саме зерно, яке туди упаковане, а не перемішане із зерном того ж класу, але з нижчим вмістом клейковини, як це відбувається на елеваторі.
- собівартість зберігання в рукавах (шлангах) може бути в 2-3 рази нижче чим на елеваторі.

2.2. Технічні засоби та устаткування для реалізації процесу зберігання зерна в полімерних рукавах

Технічні засоби та устаткування, необхідне для упаковки та затарювання зерна кондиційної вологості в полімерні рукава поділяється на наступні етапи:

1. Для підвезення – накопичувальні бункери–перегрузчики зерна, що працюють в причепі з тракторами (у випадку, якщо "беггер" з верхнім завантаженням).

2. Для завантаження зерна безпосередньо в рукав – спеціальні зернопакувальні машини (беггери), що працюють від ВОМ трактора, (потужність 70-100 л.с. і 2 виходи гідравліки) рукави, що дозволяють забезпечити щільне набивання, зерном.

3. Для вивантаження зерна з рукава – спеціальна шнекова вивантажувальна машина, що забезпечує розрізання рукава з одночасним бічним вивантаженням і укладанням використаної плівки в рулон або звичайний навантажувач.

Завантаження в полімерний рукав здійснюється за допомогою переліку начіпних накопичувальних бункер-перевантажувач зерна табл. 2.5. Спеціальні технічні засоби забезпечують продуктивність від 200 до 450 т/год. Середньозважений об'єм завантаження продовольчого зерна в полімерний рукав може складати від 1000-1500 тон.



а)



б)

а) - ПБН-10 та ПБН-16 «Завод Кобзаренка» б) - Cопow TUW 22
Рис.2.1.- Фото бункер-перевантажувачів зерна

Таблиця 2.5 - Основні техніко-експлуатаційні показники найбільш поширених накопичувальних бункер-перевантажувачів зерна

Марка агрегату (фірма-виробник)	Вантажопі діймність, кг	Об'єм, м³	Діаметр шнека, мм	Висота завантаженн я, мм	Продуктивність , м³/год	Агрегатується з трактором, к.с.
ПБН-10 («Завод Кобзаренка»)	8000	10	300	4000	200	
ПБН-16 («Завод Кобзаренка»)	12000	16	400	4300	220	120
ПБН-20 («Завод Кобзаренка»)	16000	20	400	4300	220	120
ПБН-30 («Завод Кобзаренка»)	20400	30	400	4300	220	200
«Maestrouniversal. 16/20» (ООО Ліліані)	16000	20	430	3900	450 т/год	130
«Maestrouniversal. 20/25» (ООО «Ліліані»)	20000	26,5	430	4650	450 т/год	130
«Maestrouniversal. 25/32» (ООО «Ліліані»)	25000	32,5	430	4650	450 т/год	150
«Maestrouniversal. 33/42» (ООО «Ліліані»)	33600	42	430	4400	450 т/год	170
БПЗ-16 («Агригант»)	16000	20	-	-	-	150
БПЗ-20 («Агригант»)	20000	26	-	-	-	200
БПЗ-30 («Агригант»)	30000	38	-	-	-	270
Сопов ТУВ 22	22000	25	400	4400	400 т/год	200
PRONAR T740	15300	28	430	4550	400 т/год	>165
"Tolvo" T-27R	22000	27	-	-	310 т/год	130
Тонар	28000	33	400		>300 т/год	200

Полімерні рукави на даний час в Україні представлені багатьма виробниками табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Основні експлуатаційні показники полімерних рукавів для зберігання зерна

Марка/виробник	Діаметр, м	Товщина, мкм	Довжина, м
ООО "Планета Пластик" (Україна)	1,65	240	60
	1,95	240	60
	2,4	240	75
	2,7	240	60
	2,7	240	75
	3	240	75
Ag-Bag (Німеччина)			
В 5,5/60	1,65	220	60
В 6,5/60	1,95	220	60
В 825	2,4	220	75
В 920	2,7	220	60
В 925	2,7	220	75
В 1025	3	220	75
В 1030	3	220	90
TGD 920 A	2,7	200	61
TGD 920 A	2,7	200	75
CGD 920 A	2,7	215	61
CGD 925 A	2,7	215	75
CGS 920 N	2,7	240	61
CGS 925 N	2,7	240	75

Основними показниками полімерних рукавів є їх довжина та діаметр, які коливаються в межах 60-75 м та 1,6-3 м відповідно. Необхідно також пам'ятати про те, що із збільшенням довжини рукава постає питання вирівнювання поля. У випадку нерівностей відбувається натягування рукава з подальшою можливістю його розриву.

Товщина полімерних рукавів коливається в межах 200-250 мкм, із збільшенням товщини полімерного рукава втрачається його еластичність, а також погіршуються умови його експлуатації.



Рис. 2.2 - Фото полімерних рукавів

Властивість полімерного рукава на розтягнення допускається в межах від 1 до 2 % його початкового діаметр. Вимірювання щільності заповнення полімерного рукава виконують шляхом накладання плоскої контрольної шкали на спеціально нанесену відмітку на зовнішній стороні полімерного рукава. Полімерні рукави зазвичай виконують в три шари – білий, чорний та екструдивний чорний. Верхній шар роблять білим з метою підвищення ефективності віддзеркалення сонячних променів та теплового випромінювання. До складу плівки додаються ультрафіолетові елементи, які перешкоджають впливу сонячних променів на зерно, що зберігається. Рукава виготовляють, змішуючи шари поліетилену методом роздуву. Стандартна місткість полімерного рукава коливається в межах 200-250 тон, в залежності від його довжини

Одним із основних пристроїв завантаження полімерних є машини для заповнення рукавів «Беггери» табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Основні техніко-експлуатаційні показники машин для заповнення полімерних рукавів «Беггерів»

Показники	Марка машини (Фірма виробника)					
	Main ero 2230	AKRON E9250	Agromec E.G.S.12 00	Лик- 250.9	Richigen	
					R9	R10
Продуктивність, т/год	250	250	220-250	250	290	600
Діаметр рукава, мм	1600 - 3000					
Діаметр шнека, мм	400	400	400	400	340	460
Частота обертання шнека, об/хв	540					
Мінімальна потужність, к.с.	45					80
Габаритні розміри, мм	4023	4390	4600	4525	3250	3760
- довжина	2061	3090	3800	3320	3500	4100
- ширина	3000	3070	3900	3422	3450	3860
- висота						
Вага, кг	1250		1570	950	1100	1800

В основному «Беггери» працюють від ВВП трактора. Вільний кінець полімерного рукава надівається на свод (тунель) беггера, інший кінець рукава закривається за допомогою спеціального замка, або зав'язується шнуром та присипається землею.



Рис. 2.3 - Фото машини для заповнення зерном полімерних рукавів «Беггера» фірми «Mainero»

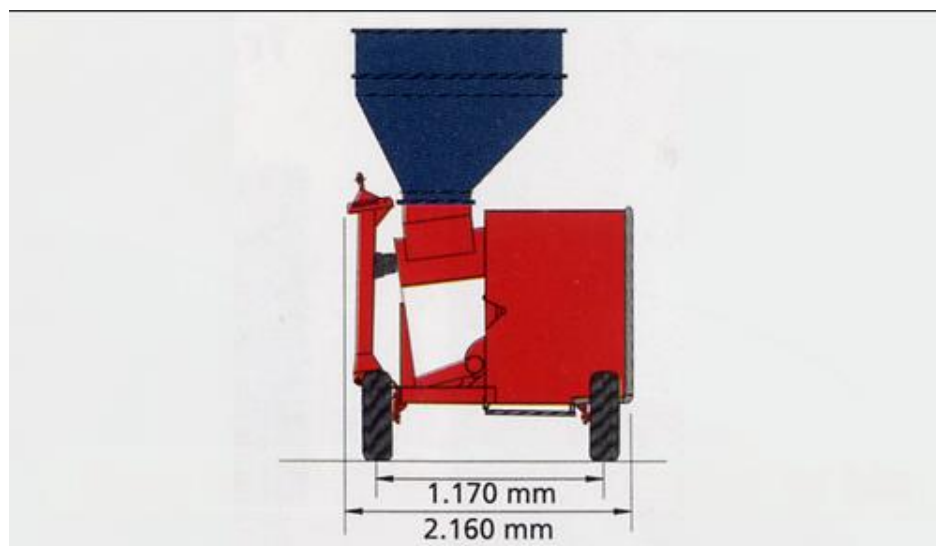
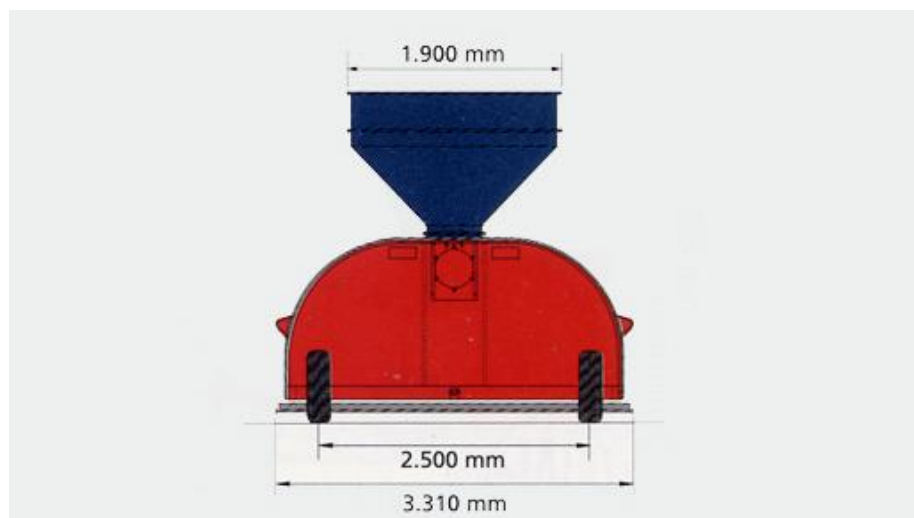
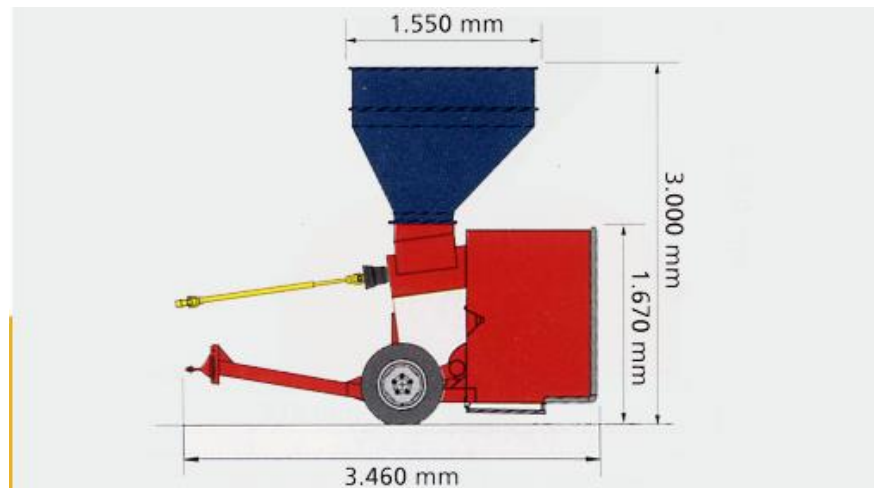


Рис. 2.4 - Схема машини для заповнення зерном полімерних рукавів «Беггера»

Трактор постійно працює на холостому ході та приводить в рух механізм беггера, який щільно набиває в рукав зерно, яке засипається в бункер беггера з накопичувального бункер-навантажувача. Трактор разом із беггером під тиском, який створює щільну зернову масу, просуваються в перед. При цьому рівномірність натягнення полімерного рукава регулюється гальмами беггера. Після того, як закінчується заповнення полімерного рукава, його кінець, який був закріплений на своді (тунелі) беггера, знімається та закривається спеціальним замком, або зав'язується шнуром.

Подача зерна в бункер беггера може здійснюватись, як за допомогою причіпних накопичувальних бункер-навантажувачів, так і будь-яким зернонавантажувачем з бурту та пневмонавантажувачем з автомобіля тощо.

Для того щоб швидко та без втрат вивантажити зерно з полімерних рукавів використовують спеціальні шнекові вивантажувальні машини, які одночасно забезпечують розрізання рукава з одночасним бічним вивантаженням в причеп і укладання використаного рукава в рулон або звичайний навантажувач. Основні технічні показники машин для вивантаження зерна з рукавів наведені в табл.2.8.

Таблиця 2.8 - Основні техніко-експлуатаційні показники найбільш поширених машин для вивантаження зерна з рукавів «Екстракторів»

Марка агрегату (фірма-виробник)	Ширина захвату , м	Діаметр мішка, м	Висота завантаження, мм	Продуктивність, т/год	Агрегується з трактором, к.с.
ПРУ-180	2,1-4,2	2,7	4200	до 180	80
МЗР-180	6,1	2,7	5600	до 180	80
GrainExtractor.9	5,7	2,74	5000	до 180	70
C.m.R 3000	2.4	2,7		180	>60
C.m.R 8000	4,7	2,7		480	>75
AKRON EXG 300		3		280	80
MAINERO 2330	2,05-4,47	2,7	4410	100-120	>70
Richiger EA-180	4,7	2,7	5870	180	>55
Richiger EA-240	5,21	3	5870	220	>70
AGROMEC	2,4	2,7		180	>60

Принцип роботи екстрактора полягає в тому, що полімерний рукав (мішок), який попередньо розрізається, намотується на ролики, які приводяться в дію через механізм приводу від ВВП трактора. Два шнека, які знаходяться на рамі екстрактора, подають зерно від периферії полімерного рукава до його центру, де основний шнек-вивантажувач зерна під кутом 50-60° завантажує зерно в транспортний засіб.



Рис. 2.5 - Фото машини для вивантаження зерна з полімерних рукавів «Екстрактора»



Рис. 2.6 - Схема роботи машини для вивантаження зерна з полімерного рукава «Екстрактора»

Вивантажувальний шнек має діаметр 300-400 мм та може транспортувати зерно на висоту до 4-5 м. Горизонтальні шнеки з діаметром від 200-250 мм та довжиною до 3 м приводиться в дію через редуктор від ВВП трактора.

Продуктивність екстракторів (рис. 2.5 та рис. 2.6) може коливатися в межах від 180 до 250 т/год.

2.3. Організація робіт по зберіганню зерна в полімерних рукавах

2.3.1. Вимоги до майданчика для зберігання зерна

Майданчик для зберігання рукавів (мішків, контейнерів, шлангів) має бути рівним і твердим, щоб рукав мав постійну форму (це зводить до мінімуму ризик його розриву або інших пошкоджень при заповненні). Слід уникати місць з вибоїнами або місць з великою кількістю соломи,

що стирчить. Бажано ізолювати територію з рукавами (мішками, контейнерами) від тварин (великої рогатої худоби, кішок, собак).

Необхідно періодично провітрювати рукави (мішки, контейнери, шланги) із зерном високої вологості ($>15\%$) шляхом спеціальних невеликих надрізів у верхній частині мішка, який потім заклеюється (скотчем). Альтернативою провітрюванню, є сушка зерна мобільними зерносушарками з одночасною закладкою в новий рукав (мішок, контейнер) зерна з допустимою вологістю до 14% .

Технологія зберігання зерна передбачає догляд за мішком, для чого необхідно періодично контролювати його цілість і відразу, після виявлення розривів, які можуть мати місце, заклеювати їх.

Ризик вимірюється з врахуванням вологості зерна, старіння рукава і можливості її пошкодження по зовнішніх причинах. Дані оцінки ризику орієнтовні, а не абсолютні, і можуть варіюватися в різних ситуаціях. Як правило, можна стверджувати, що із збільшенням температури навколишнього середовища міра ризику збільшується і навпаки.

Багатий досвід виробників, що використали дану систему для зберігання насіння, придатного до сівби, підтверджує збереження їх якостей після декількох місяців зберігання.

2.3.2. Догляд за рукавами із зерном

Успіх цієї системи дуже пов'язаний з доглядом за рукавом (мішком, контейнером), для цього необхідно періодично контролювати його і негайно заклеювати розриви, які можуть траплятися.

Початок гарного використання і догляду за рукавами (мішками, контейнерами) – це вибір місця, що поєднує вищеописані характеристики, гарний дренаж, відсутність засмічених домішок, дроту, каменів і стерні, які можуть бути причиною розриву.

Захист від гризунів. Необхідно уникати розсипу зерна по землі, оскільки це дуже привабливо для тварин. Періодичний контроль дуже важливий і для його здійснення рекомендується залишати між рукавами близько 4 метрів, щоб могла проїхати машина, що є дуже практичним і швидким способом.

В разі виявлення розривів, вони мають бути заклеєні негайно. Рекомендується, щоб відповідальний за контроль рукавами, при обході завжди мав з собою стрічку для їх латання. В даний час на ринку існують досить ефективні самоклеючі стрічки. Їх необхідно застосовувати на землі і в нижній частині рукава, тому що у них обмеження придатності від одного місяця до 45 днів в нормальних умовах і, сильний дощ їх змиває.

Є різні засоби різної ефективності – собаки, пастки і інше, але можливо кращий – знищення нір при їх виявленні. Також необхідно майданчик для зберігання зерна дотримувати в чистоті від бур'янів. Для цього рекомендується обприскувати її гліфосатом. При навалі гризунів, не рекомендується вживання сірковмісних препаратів, оскільки вони можуть сприяти розпаду рукавів.

Дротяні огорожування з трьох рівнів під напругою ефективні для захисту як від гризунів, так і від інших диких тварин. Дріт повинен розташовуватися на висоті 5, 10, 15 см від поверхні ґрунту.

Псування худобою. Рукав необхідно оточити дротом під напругою щоб уникнути контакту з тваринами. Рукави повинні знаходитися на відстані не менше 2 метрів від дротяного огорожування, щоб не дозволити тваринам дотягнутися до них і укусити, або проштрикнути рогом. Необхідно прослідити, щоб птиці, собаки і кішки не пошкодили рукав.

Пошкодження градом. Крупний град може проривати рукави. Після його випадання, необхідно якнайскоріше оглянути рукави і, якщо збиток дуже високий, пересипати в новий рукав або продати. Якщо рукав, під

час заповнення надмірно розтягується, ризик пошкодження градом збільшується. Тому при наповненні необхідно ретельно стежити за розтягуванням.

В разі легкого збитку, можливе заклеювання спеціальною стрічкою. Інший спосіб лагодження при великому збитку – використання старого рукава. Він розстилається паралельно пошкодженому і розрізається з метою отримання відрізка у вигляді простирадла. Цей відрізок розтягується поверх пошкодженого і закріплюється так, щоб відтворити анаеробні умови. Важливо, щоб старий рукав був розтягнутий як можна сильніше.

Частота забору проб в цьому місці має бути вище, щоб проконтролювати, як еволюціонує якість зерна, що зберігається.

Небезпека пожежі.

Стерня пшениці дуже пожежонебезпечна, тому рекомендується видалити її довкола рукавів, щоб попередити поширення вогню. Також цьому перешкоджає розпилення Гліфосфату, який знищує бур'яни, які також можуть поширювати полум'я.

Крадіжки і навмисне шкідництво.. Роблячи мінімальні запобіжні засоби відносно місця розташування рукавів, можна убезпечити себе від даної проблеми.

2.4. Економічна ефективність зберігання зерна в полімерних рукавах

Проведений аналіз складських приміщень та елеваторних місткостей для зберігання зернових та зернобобових, олійних культур в Україні показав, що їхня кількість не в змозі вмістити вирощену врожайність даних культур, а так як тенденція рухається в напрямку вирощування більшої кількості зерна із збільшенням врожайності то

постає наглядне питання пошуку шляхів та технологій якісного зберігання.

Таблиця 2.9 - Економічні показники зберігання зерна за базовою та технологією зберігання зерна в полімерних рукавах

Показники	Господарств а до 1 тис. га	Господарст ва до 1 -3 тис. га	Господарства понад 3 тис. га
	I категорія	II категорія	III категорія
Середній валовий збір зернових та зернобобових, т	15000	29850	95480
Середня врожайність, т/га	26,8	26,8	26,8
Базова технологія зберігання в складах та елеваторах			
Затрати праці, люд-год/т	-	-	-
Витрати пального, грн./км за 1т	0,37-0,70		
Вартість зберігання, грн./т (6 місяців)	108-154		
Капітальні вкладення, грн./т	-	-	-
Технологія зберігання зерна в полімерних рукавах			
Затрати праці, люд-год/т	1,3		
Потреба в мішках, шт.	75	149	478
Прямі експлуатаційні витрати, грн./т	37,90	36,34	35,3

Продовження таблиця 2.9

Капітальні вкладення, грн./т	61,3	30,82	9,64
Вартість зберігання, грн./т (6 місяців)	99,2	67,2	44,9
Річний економічний ефект від впровадження нової технології, тис.грн.	106,91	113,04	117,25

*Вартість обладнання 920000 грн.

Суттєві розбіжності у валовому зборі зерна (табл. 2.9) по категоріям господарств кардинально впливають на вибір оптимального методу зберігання.

Однією з новітніх технологій на сьогодні є зберігання зерна в полімерних рукавах. Економічна ефективність застосування даної технології в порівнянні з традиційною (зберігання в складських приміщеннях та елеваторах) була розрахована для різних категорій господарств (табл. 2.9):

I категорія – господарства з об'ємом посівних площ до 1 тис. га з виробництвом зернових та зернобобових культур приблизно 15 тис. тон;

II категорія – господарства з об'ємом посівних площ від 1 тис. до 3 тис. га з виробництвом зернових та зернобобових культур приблизно 30 тис. тон;

III категорія – господарства з об'ємом посівних площ більше 3 тис. га з виробництвом зернових та зернобобових культур приблизно 30 тис. тон.

Основними чинниками високої ефективності цієї технології у порівнянні з традиційною є:

- менші капіталовкладення;

- низькі втрати зерна при зберіганні;
- висока ефективність застосування;
- зменшення зростання мікроорганізмів;
- швидкий спосіб завантаження рукавів.

Розглядаючи кожен з наведених чинників застосування нової технології передбачає значно менші капіталовкладення тому, що не потребує будівництва спеціальних майданчиків, будівель. На ряду із показниками якості зберігання зерна, важливим питанням виступає економічність названої технології.

Отже, за результатами розрахунків можна зробити наступні висновки, що господарствам I категорії найбільш доцільно зберігати зерно в полімерних рукавах з отриманням послуг завантаження зерна спеціалізованими (сторонніми) підприємствами з відповідним обладнання або закупівлею власного обладнання (з терміном окупності до 1,6 років). Господарствам II категорії доцільно використовувати комбіновані технології зберігання такі, як побудова власного зерносховища (ангар) та зберігання в полімерних рукавах з закупівлею обладнання (термін окупності 0,6 років). Враховуючі великі обсяги виробництва зерна, для господарств III категорії доцільно застосовувати два альтернативні варіанти:

1. Будівництво власних зерносховищ елеваторного типу, вартість однієї тони елеваторної місткості оцінюється приблизно 100-120 доларів;
2. Закупівля лінії по завантаженню полімерних рукавів.

2.5. Особливості техніки безпеки при виконанні робіт з плівковими рукавами

Роботи із зберіганням зерна в плівкових рукавах виконуються з використанням тракторів, комбайнів, сільгоспмашин та транспорту

загального призначення, тому вимоги щодо безпечного виконання робіт на цих машинах залишаються в повному обсязі.

Поряд з цим слід перед початком робіт проінструктувати виконавців про особливості роботи.

Забороняється виконувати будь-які роботи по очистці, мащенню чи регулюванню машин з включеним двигуном.

При пускові збирального агрегату в роботу, чи при зупинці подавати звуковий сигнал. При роботі на схилах рухатися слід вздовж них.

Не розташовувати пакувальники під лініями електропередач, працюючи комбайном під лініями передач в місцях провисання проводів слідкувати за відстанню між проводами та вивантажувальним матеріалопроводом. Вологість визначають – ваговим методом з висушуванням наважок по 25-30 г чи з використанням приладів для експрес-аналізу.

При зберіганні зерна з використанням консервантів забороняється контактувати з ними. Робоче місце слід обладнувати запасами води, захисними засобами для захисту та змивання консерванту, що потрапляє на відкриті ділянки тіла.

До самостійної роботи з хімічними консервантами зерна допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, навчені безпечним методам роботи і які здали на допуск до самостійної роботи. Перед безпосереднім допуском до роботи працівники повинні проходити стажування на протязі трьох-п'яти повноцінних робочих змін та отримати інструктаж на робочому місці.

Особи, які працюють з хімічними консервантами, повинні мати спеціальний одяг (куртка, брюки) та мати всі необхідні засоби індивідуального захисту, оскільки при потраплянні кислоти на незахищені ділянки тіла можливий опік. Робота в комбінезоні з

кислотами не допускається, оскільки у аварійних випадках його зняти трудніше, ніж куртку і брюки.

Після закінчення роботи, а також перед обідом необхідно ретельно мити руки, вмиватися і полоскати рот.

В місцях проведення робіт з хімічними консервантами необхідно мати воду і медичні аптечки, забезпечувати мінімальну втомлюваність працюючих. На робочих місцях повинні бути інструкції, попереджувальні надписи з техніки безпеки.

Біологічні консерванти, на відміну від хімічних, є безпечними для персоналу і не потребують дотримання спеціальних мір оберігання і використання засобів захисту. Фасують біоконсерванти в поліетиленові пляшки чи каністри місткістю 5 чи 10 літрів. Допускається інша фасовка, узгоджена із споживачем. Кожна одиниця фасовки повинна мати інструкцію з використання.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОКОІНТЕНСИВНОЇ ТЕРМООБРОБКИ ВОЛОГИХ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Значення термічної обробки в сільськогосподарському виробництві величезне. На сушіння зерна на хлібопереробних підприємствах затрачають близько 15 % палива, що споживається в країні за рік [1-12, 27, 34, 45-67].

При термічній обробці змінюються структурно-механічні, фізико-хімічні і органолептичні властивості продукту, що визначають його кінцеву якість.

Термічна обробка зерна знаходить широке застосування в різних технологічних процесах виробництва, переробки й зберігання продукції рослинництва. Теплову обробку застосовують для сушіння продовольчого і насінневого зерна, підготовки фуражного зерна і кормів до згодовування, підготовки сировини до зберігання, його переробки і т.д.

Термічна обробка зерна - це процес впливу на нього температури, як індивідуального фізичного фактора. Можливий також і спільний вплив температури з вологою або тиском (гідротермічний, баротермічний вплив). Вибір способу термічної обробки залежить від технологічних властивостей обробленого зерна.

На рис. 3.1 представлені основні види термічної обробки зернових матеріалів в різних процесах його переробки в продовольчі і кормові продукти [8, 27, 38-42, 66].



Рис. 3.1 - Види термічної обробки зерна

Термічне сушіння забезпечує довготривале збереження зібраного матеріалу, мікронізація – підвищує поживні якості фуражного зерна [53], термічна дезинсекція і дезінфекція – знезаражує зерно перед зберіганням або перед висіванням, термостимуляція насіння підвищує схожість і енергію проростання. Відновлення хлібопекарських властивостей дефектного зерна також рекомендується здійснювати шляхом інтенсивної термообробки зернової маси для інактивації амілолітичних і протеолітичних ферментів [27].

Мікронізація - обробка зерна інфрачервоними променями. Швидкий прогрів зерна здійснюють за допомогою НВЧ-полів або інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. Мікронізація зерна останнім часом почала швидко поширюватися у сільськогосподарській практиці США, Англії, Японії та інших країн. Термін «мікронізація» був введений у зв'язку з обробкою зерна під дією мікрохвиль. Сутність мікронізації полягає в тому, що потік ІЧ-випромінювання проникає в зерноматеріал і діє безпосередньо на воду в обробляємому матеріалі, вода в зернівці миттєво переходить в псевдопарообразний стан і намагається дифундувати з високою швидкістю в оточуюче середовище. Але щільний алеїроновий шар зернівки заважає цьому процесу, як наслідок, псевдопар виявляється в герметичній оболонці, це викликає різке підвищення тиску (може

досягати 100 МПа) всередині зерна і в результаті воно спучується, відбувається своєрідний вибух, що розламує зерно і вивертає вміст зернівки назовні.

Термічне знезаражування (дезінфекція, дезінсекція) є профілактичним і винищувальним заходом боротьби із патогенною мікрофлорою та шкідниками зерна і продуктів його переробки. Мікронізація, як і інші способи високоінтенсивної ІЧ-термічної обробки, найбільш ефективна для зерна з метою підвищення санітарних якостей кормів. Мікронізація знищує шкідливу мікрофлору зерна й зменшує загальна кількість мікроорганізмів в 5-6 разів. При тривалості опромінення більш 45 секунд у зерні повністю гинуть бактерії, більш 60 секунд - цвілеві гриби. Мікронізація попереджає зараження зерна комірними шкідниками. Найкращий ефект досягають при опроміненні зерна протягом 50-60 секунд.



Рис. 3.2 - Зерно, ушкоджене суринамськими мукоїдами

Як інактивується мікрофлора і мікотоксини в зерновому матеріалі при мікронізації за дослідженнями ВАТ «ВНІІКП» відображено в таблиці 3.1. і таблиці 3.2 [45-58].

Таблиця 3.1. Вплив експозиції мікронізації на санітарний стан зерна.

Продукт	Експозиція мікронізації, с	Нерухомий шар				Вібросріджений шар			
		Мікрофлора							
		Поверхнева		Глибинна		Поверхнева		Глибинна	
		Кількість грибів в 1г, шт.	Ступінь інактивації, %	Ступінь зараженості, %	Ступінь інактивації, %	Кількість грибів в 1г, шт.	Ступінь інактивації, %	Ступінь зараженості, %	Ступінь інактивації, %
Необроблений ячмінь	—	11200	—	96	—	11200	—	96	—
Мікронізований ячмінь	15	650	94,2	15	84,4	1675	85	82	14,6
	30	30	99,7	2	98	310	97,3	67	30,2
	60	20	99,8	1	99	15	99,9	24	75
	90	0	100	0	100	10	100	4	95,9
	120	0	100	0	100	0	100	0	100

Таблиця 3.2. Вплив експозиції мікронізації на токсичність зерна.

Продукт	Експозиція мікронізації, с	Токсичність зерна, ступінь	Вміст афлатоксину В ₁ , мкг/г	Токсичність афлатоксину В ₁
Необроблений ячмінь	—	Різко токсичне, четверта	>1000	Дуже висока
Мікронізований ячмінь	30	Токсичне, третя	50–250	Середня
	60	Слабо токсичне, друга	<50	Слаба
	90	Слабо токсичне, друга	0	Відсутня
	120	Дуже слабо токсичне, перша	0	Відсутня

Ефективність знезаражування зерна від шкідників залежить також від часу перебування його в установці для термообробки при максимально допустимій температурі нагрівання зерна. Є підстава вважати, що при термічному знезаражуванні температура шкідників (або їх яєць) близька до температури зерна, а повна їхня загибель залежить як від температури нагрівання, так і від втрати вологи самими шкідниками.

Особливі труднощі з погляду збереження якості зерна представляє термічне знезаражування зерна пшениці, температура нагрівання якої наприклад, у шахтних сушарках, не повинна перевищувати 50 °С.

Нерівномірність нагрівання зерна сильно впливає на ефективність знезаражування, тому що в шарах, у яких температура нагрівання вище припустимої, можливе псування зерна, а там, де вона нижче, шкідники не гинуть.

За даними англійської фірми «Мікронайзинг», використання мікронізованого зернового матеріалу при згодовуванні свиней збільшує приріст живої до 30%, з одночасним зниження витрат кормів до 20%. Це пояснюється тим, що при вологості продукту більше 15% і температурі вище 65 °С відбувається клейстеризація крохмалю, його гранули деградують і створюється суцільна гомогенна маса з високою в'язкістю. Так клейстеризація крохмалю ячменю збільшується з 30% в необробленому зерні до 70% в обробленому. Розчинність крохмалю підвищується з 12,8 мг/г в необробленому до 109,3 мг/г в мікронізованому. Такий крохмаль легше розчіпляється на прості вуглеводи, тобто, виявляє більш високу податливість дії амілолітичних ферментів. Декстринізація в мікронізованому зерні складає 78,7%, вміст цукру 9,6%, в необробленому – відповідно 12,4% і 5,6% [61, 66].

Мікронізація інгібуванням уреаз робить сою придатною до споживання тваринами і збільшує її харчову цінність вдвічі, дозволяє збільшувати кількість жита в раціонах тварин за рахунок інактивації пентазонів та інших небажаних речовин, що є наявні в житі [61, 66].

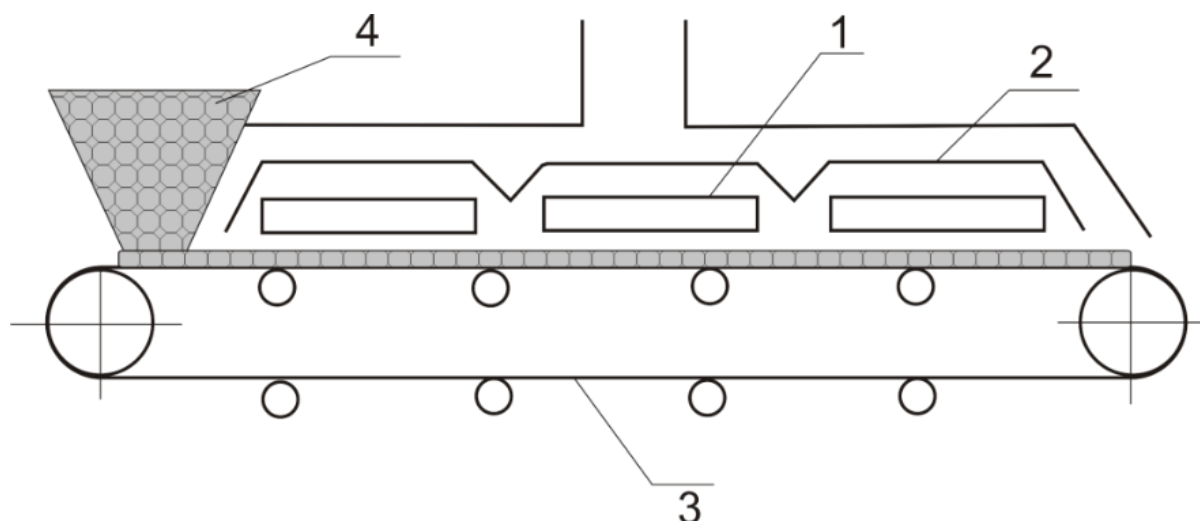
При мікронізації покращуються смакові якості зерна, його колір і запах, зменшуються енергозатрати організму на перетравлення кормів, утворюються одночасно антирахітні речовини - провітаміни групи Д, зменшується механічна міцність зернівки [42, 52]. Разом з тим, для проведення якісної мікронізації кормового зерна необхідно забезпечити енергопідвід до зернового матеріалу на рівні 20-45 кВт/м², за рахунок цього значно інтенсифікується процес – зменшується експозиція

процесу, але зростають енергетичні витрати на одиницю готового продукту до 140-145 кВт/год на тону [58, 65].

3.1 Установки для мікронізації вологих зернових матеріалів

Установки для мікронізації можна поділити на три категорії, барабанного типу, конвеєрні, з вібропереміщенням.

Схема конвеєрної термоустановки з ІЧ-енергопідводом для термообробки зернової сировини з розташуванням генераторів ІЧ - випромінювання уздовж конвеєрної стрічки представлена на рис. 3.3.



1— батарея ІЧ-генераторів, 2 – відбивач, 3 – конвеєр, 4 – бункер із зерновим матеріалом.

Рис. 3.3 - Схема конвеєрної установки для ІЧ-термообробки

На рис. 3.3 наведений загальний вид мікронізатора зерна за конвеєрною схемою. Технічні характеристики мікронізатора представлено в таблиці 3.3.

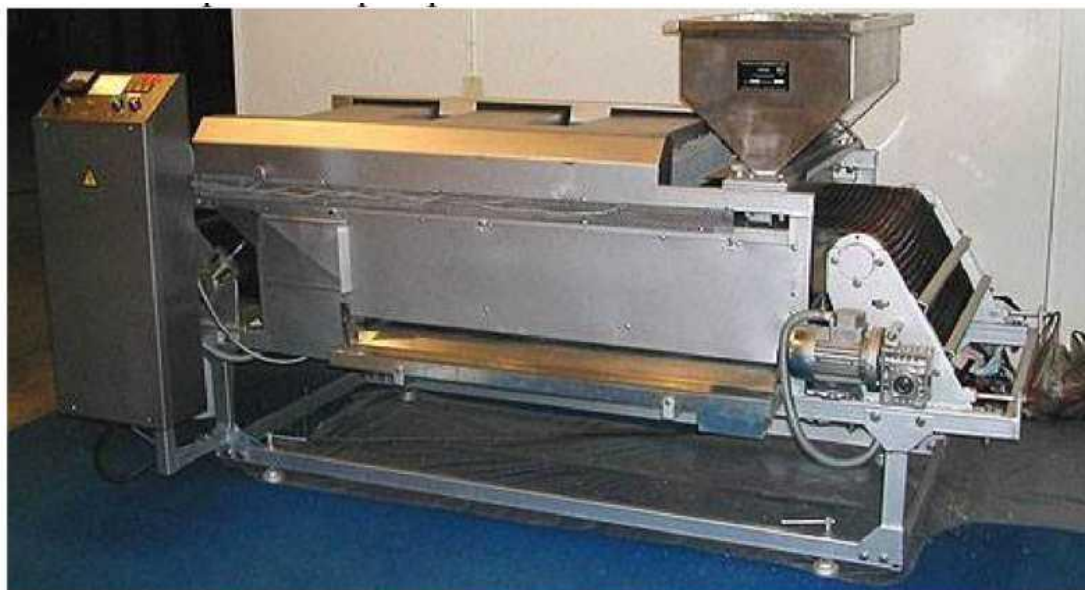


Рис. 3.4 - Мікронізатор зерна

Даний пристрій призначений для термічної обробки зерна і продуктів його переробки.

Таблиця 3.3. Технічні характеристики мікронізатора

Показники	Значення показників
Продуктивність, кг/год	до 250
Споживана потужність, кВт	24,5
Маса, кг	350

Компанією «Старт» розроблена установка для термообробки зернової сировини УТЗ – 4 (рис. 3.5). Установка включає в себе нагрівальну камеру, що складається з трьох касет і містить 27 або 33 кварцові галогенні лампи КГТ-220-100, розташовані над стрічковим транспортером із жароміцного матеріалу. Швидкість стрічки, час перебування продукту в зоні обробки, товщина шару матеріалу на стрічці плавно регулюється.



Рис.3.5 - Установка для термообработки зерновой сировини УТЗ–4
(виробник фірма «Старт»)

Мікронізатора зерна ІПБГ 1.0 – рис. 3.6 призначений для термічної обробки зерна злакових, бобових і олійних культур.



Рис. 3.6 - Мікронізатор ІПБГ 1.0

Конвеєр знаходиться всередині теплоізованої камери з тепловідбиваючими екранами, застосування яких в умовах високих температур дозволяє підвищити ефективність роботи генераторів ІЧ - випромінювання і знизити втрати енергії, досягти більшої однорідності поля опромінення на поверхні оброблюваного продукту [20, 61].

Установки реалізовані за конвеєрною схемою мають переваги в простоті конструкції, можливості досить легко змінювати експозицію обробки, за рахунок чого є найбільш універсальними, але мають і такі недоліки: втрати теплової енергії за рахунок нагріву елементів стрічкового конвеєра, відбивачів ІЧ-випромінювачів, конвективні втрати через нещільності між камерою опромінення і стрічковим конвеєром, великі габарити, обрана конфігурація розташування ІЧ – генераторів за рахунок нерівномірності ІЧ-опромінення знижує ККД установки і якість оброблюваного матеріалу [49].

Більш ефективним пристроєм для переміщення зерна всередині термокамери стало застосування для цієї мети вібропереміщення (рис. 3.7) [16, 67].

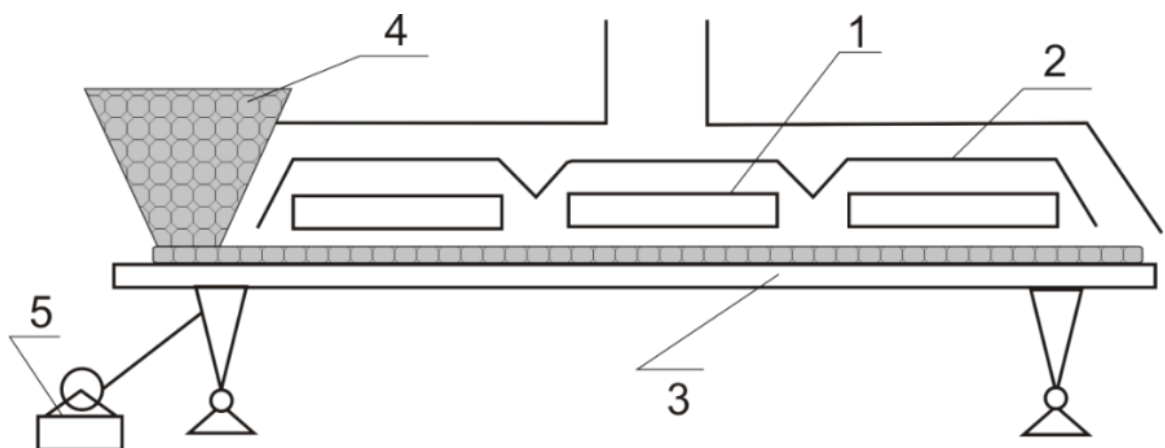


Рис. 3.7 - Схема установки для ІЧ-термообробки на вібростолі

За такої схеми виключені зупинки конвеєра, викликані пробуксовкою транспортної стрічки, зерно переміщається по вібростолу

суцільним шаром товщиною в одну зернівку. Швидкість переміщення продукту можна регулювати зміною параметрів вібрації: кута нахилу столу, частоти і амплітуди коливань.

Вібраційні транспортери забезпечують більш якісну ІЧ-обробку за рахунок перевертання зерен при вібротранспортуванні. Довжина транспортера як правило змінюється в діапазоні 3-5 м.

Установка джерел ІЧ - випромінювання уздовж вібростолу з певним кроком, дозволяє вирівнювати щільність променистого потоку в зоні опромінення і використовувати енергозберігаючий прийом імпульсної-періодичного впливу на зерновий матеріал.

Розроблені установки за такою схемою представлені на рис. 3.8–3.10. В яких застосовується як електричні ІЧ-генератори так і газові.



Рис. 3.8 - Установка для ІЧ-термооброки СВІК–150

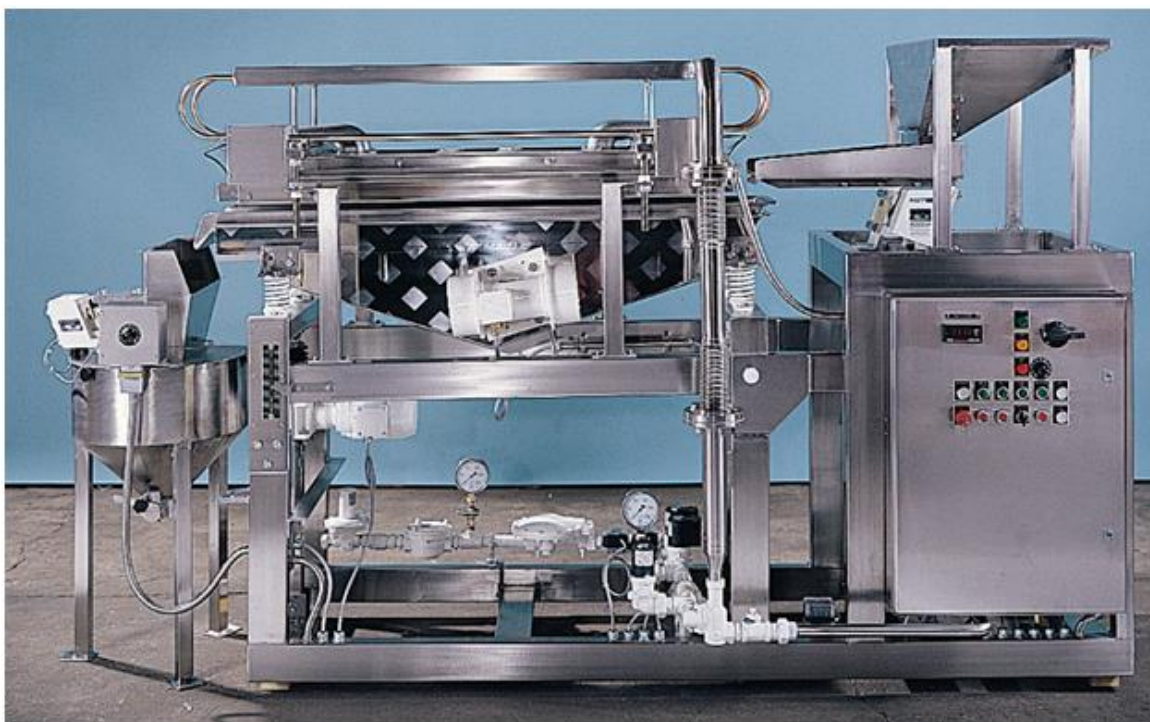


Рис. 3.9 - Мікронізатор MR-2
(Виробник Micronizing Company UK, Велика Британія)

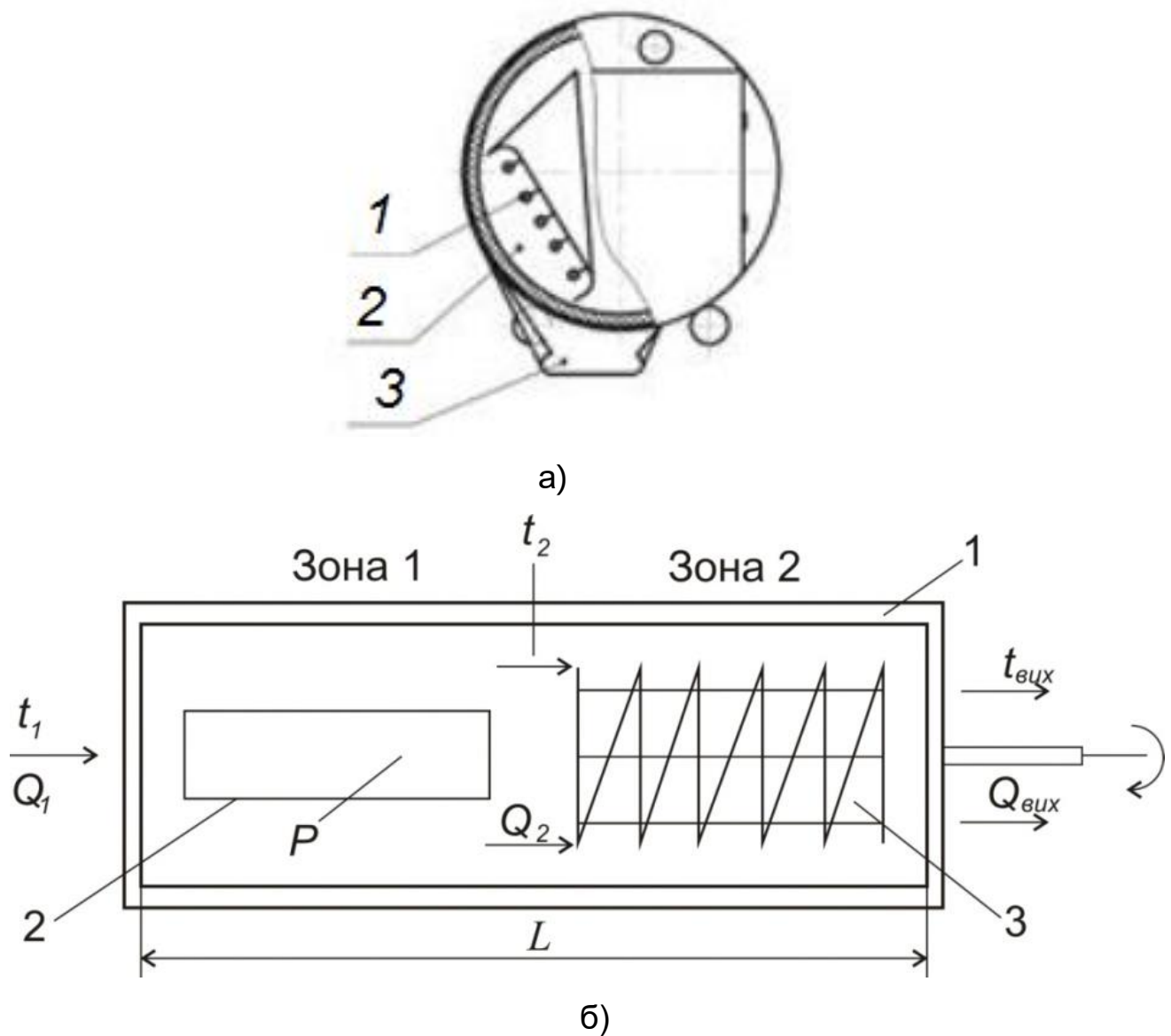


Рис.3.10 - Мікронізатор УЗ-АМ3-2

Але установки з вібропереміщенням мають теж ряд недоліків: швидкість транспортування залежить від властивостей сипучого матеріалу, вологості, зчеплення, об'ємної маси, крупності, форми зерна і т.д. При змінних параметрах зернового матеріалу практично неможливо досягти стабільної малої швидкості переміщення тонкого шару зерна на віброуючій поверхні. Невеликим за розмірами установкам повинні відповідати малі швидкості переміщення, а отже, мінімально можливі частоти і амплітуди коливань робочого органу. У той же час для активного процесу мікронізації в шарі зерна необхідна велика переміщення окремих зерен відносно один одного, а для цього необхідна величина прискорення повинна забезпечувати рух зерна з відривом від поверхні [90].

Проаналізувавши конвеєрні і установки з вібропереміщенням можна прийти до висновку, що при високоінтенсивній ІЧ-термообробці таке обладнання має завищені втрати енергії через нещільність між конвеєром або вібростолом і камерою опромінення, що знижує ККД установки і якість оброблюваного матеріалу, також вони мають великі габарити.

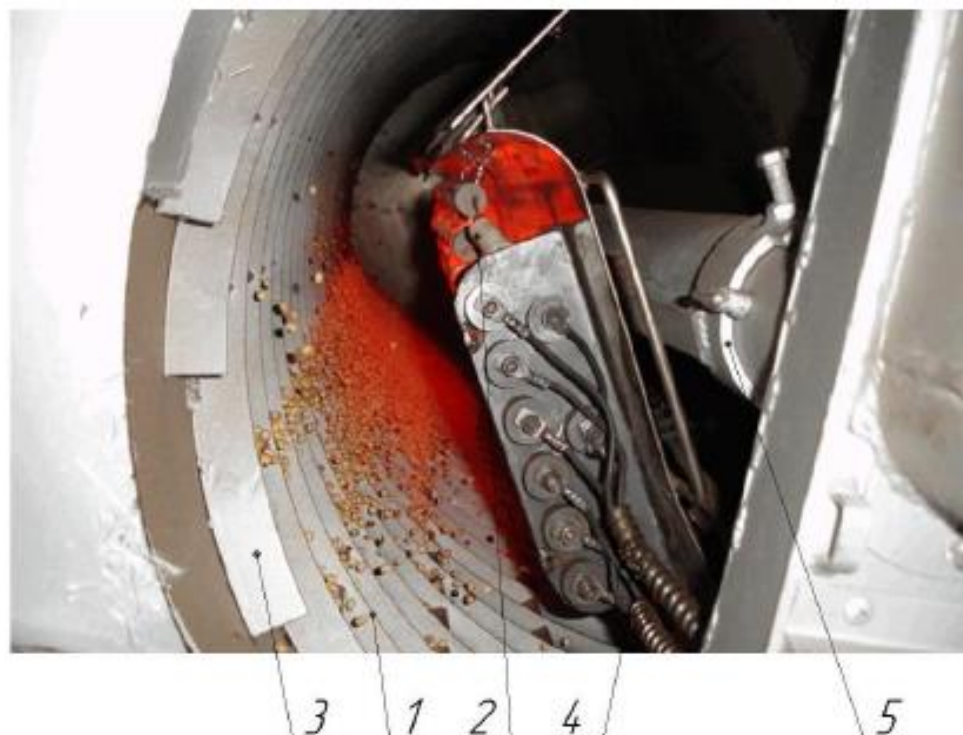
Більшість установок для високоінтенсивної термообробки барабанного типу відповідають конструкційним схемам зображеним на Рис. 3.11 (а, б) [41].



1– барабан, 2– ІЧ-випромінювач, 3– насадка

Рис. 3.11 - Схема барабанної установки

За такою схемою в науково-виробничій фірмі "Гран" (Україна) розроблений багатофункціональна установка (мікронізатор) для ІЧ-термообробки ВТО-5-2М (рис. 3.12), що входить у гнучкий технологічний модуль з виробництва комбікормів і добавок (сипучих, гранульованих, пастоподібних, рідких), включаючи використання вторинної сировини підприємств АПК.



1 - напрямні рейки; 2 - ІЧ-випромінювач; 3 - барабан; 4 - камера ІК випромінювання; 5 – привід

Рис. 3.12 - Загальний вигляд робочої поверхні мікронізатора ВТО-5-2М

В процесі роботи матеріал з бункера подається живильником в камеру випромінювання першого барабана. При його обертанні матеріал одночасно інтенсивно перемішується, піддаючись впливу випромінювання, підсушується, стерилізується і переміщається до вивантажувального лотка. Частоти обертання живильника і барабана узгоджені і регульовані, що дозволяє вибирати режими обробки в залежності від властивостей матеріалу. Дозу опромінення можна регулювати також і шляхом відключення джерел випромінювання. Агрегат має роздільні приводи, швидкість яких регулюється частотними перетворювачами, і ряд інших уніфікованих вузлів, що підвищує його продуктивність, контролює час перебування матеріалу в камері випромінювання, забезпечує послідовно комбіноване вплив різних типів джерел випромінювання, здатних підвищити сумарний ефект [41]. Час

перебування матеріалу в зоні обробки задається програмним пристроєм.

Таким чином, узагальнюючи вищевикладене, можна відзначити:

- що термічна обробка зерна має важливе технологічне значення, але збільшення корисного ефекту видів термообробки супроводжується зростанням питомих витрат теплової і механічної енергії (рис. 3.13);
- для різних видів високоінтенсивної термообробки можуть використовуватися як універсальні терморадіаційні установки і обладнання, так і установки різних конструкційних оформлень в залежності від виду термообробки і кінцевого призначення готового продукту, але усі вони мають спільні суттєві недоліки: завищені енерговитрати на обробку, недосконалість апаратного і режимного оформлення процесів, що призводить до низького рівня ККД установок.

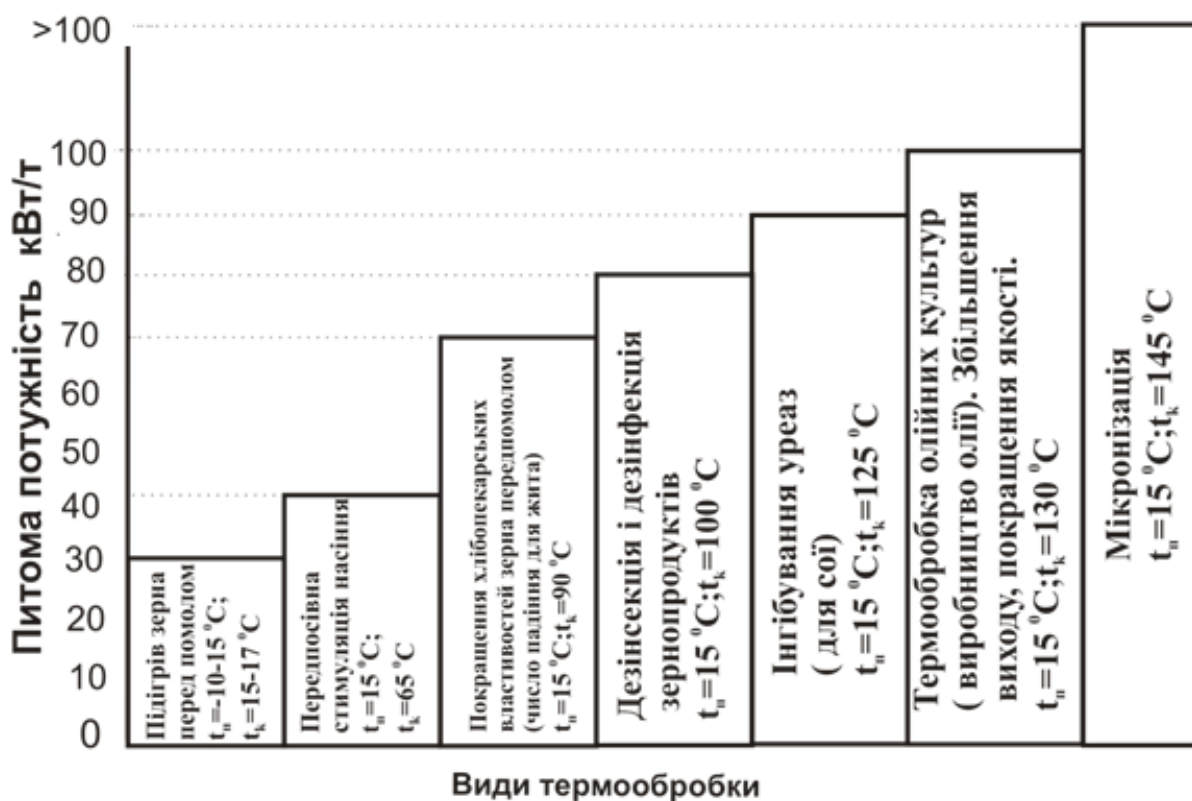


Рис. 3.13 - Питомі витрати енергії при різних видах термообробки

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ ТА ВІБРОПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНА ПРИ ВИСОКОІНТЕНСИВНІЙ ТЕРМООБРОБЦІ

4.1. Аналітичне моделювання тепломасообмінних процесів високотемпературної термообробки зернових матеріалів

Результати аналітичного дослідження тепло- і масообмінних процесів при ІЧ-енергопідводі викладені у роботах [3, 4 , 5]. В роботі [6], на основі рівнянь енергетичного і матеріального балансів розроблені аналітичні математичні моделі, що описують процеси нагріву і зневоднення зерна при сталих теплофізичних коефіцієнтах. В роботах [7, 8] використовуються розв'язки аналітичних математичних моделей процесів тепло-масообміну для тіл класичної форми, теплофізичні коефіцієнти приймаються незмінними за процес. Характер протікання високоінтенсивного тепло- і масообміну в зерновому матеріалі при мікронізації має декілька етапів, тобто змінюється за процес [9], що суттєво впливає на значення тепломасообмінних коефіцієнтів в розроблених аналітичних математичних моделях. Але досліджень процесу високоінтенсивного тепло- і масообміну з врахуванням змінних теплофізичних коефіцієнтів проведено недостатньо, що ускладнює визначення оптимальних режимів проведення процесу в залежності від параметрів установки і характеристик зернового матеріалу.

Для аналізу процесів складемо математичну модель на основі енергетичного балансу і рівняння нагріву [10].

$$mc \frac{d\theta}{d\tau} - mr_0 \frac{dU}{d\tau} + \alpha f (\theta - t) = A\eta P; \quad (4.1)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = k(\theta_m - \theta); \quad (4.2)$$

де U – вологовміст зерна, кг/кг;

θ – температура зерна, $^{\circ}\text{C}$;

θ_m – максимальна температура нагріву зерна, $^{\circ}\text{C}$;

t – температура оточуючого повітря, $^{\circ}\text{C}$;

m – маса зерна, кг;

c – теплоємність зерна, Дж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$;

r_0 – скрита теплота пароутворення, Дж/кг вип.вологи;

α – коефіцієнт теплообміну, Вт/м $^2\cdot^{\circ}\text{C}$;

f – площа поверхні зерна, м 2 ;

P – потужність нагрівача, кВт;

A – коефіцієнт поглинання енергії матеріалом;

η – к.к.д. нагрівача;

k – коефіцієнт нагріву, с^{-1} .

Розв'яжемо, рівняння (4.2) за умови $\theta(0) = \theta_0$, отримаємо:

$$\theta(\tau) = \theta_m - (\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau) \quad (4.3)$$

Коефіцієнт нагріву k – визначаємо за експериментальними даними у вигляді лінійної емпіричної залежності:

$$k = -0.0024 - 0.08U_0 + 0.0016q \quad (4.4)$$

де U_0 – початковий (до мікронізації) вологовміст, кг/кг;

q – густина радіаційного потоку, кВт/м 2 , що визначається із

залежності:

$$\frac{P}{F} = q \quad (4.4a)$$

де F – площа опромінення, м^2 .

Графічна інтерпретація формул (4.3) і (4.4) представлена на Рис. 4.1.

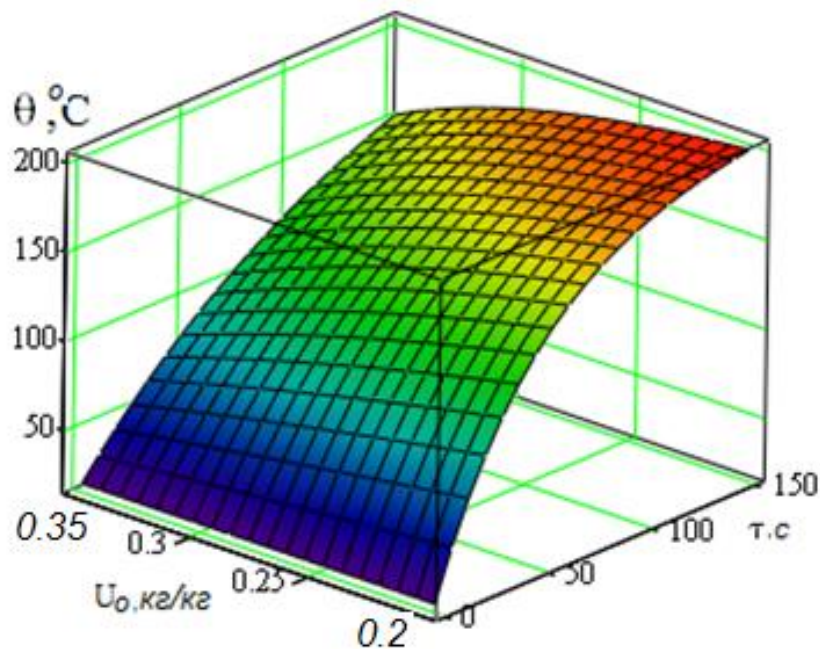


Рис. 4.1 - Кінетика зміни температури зернівки, розрахована на формулами (4.3), (4.4), $q=25\text{кВт/м}^2$.

Теплофізичні коефіцієнти у формулі (4.1) можна визначити так:

$$c = c_c(1 - U) + c_v U \quad (4.5)$$

де c – теплоємність зерна, залежить від його вологовмісту;

c_c – теплоємність сухої речовини зерна, $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$;

c_v – теплоємність води, $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$;

r_0 – скрита теплота пароутворення води, для визначення її залежності від температури використаємо емпіричну формулу:

$$r_0 = r - b\theta \quad (4.6)$$

де $r = 2051$ – скрита теплота пароутворення води при температурі 0°C , кДж/кг;

$b = 2,43$ – емпіричний коефіцієнт, кДж/(кг·°C).

Підставимо (4.3), (4.5), (4.6) в (4.1) отримаємо:

$$\begin{aligned} m(c_c(1 - U) + c_v U)(k(\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau)) - \\ - m(r - b(\theta_m - (\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau))) \frac{dU}{d\tau} + \\ + \alpha f(\theta_m - (\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau) - t) = A\eta P \end{aligned} \quad (4.7)$$

Після розкриття дужок і зведення подібних доданків отримаємо:

$$B(\tau) \frac{dU}{d\tau} + CU = D(\tau) \quad (4.8)$$

де

$$B(\tau) = bm(\theta_m - \theta_0) + m(r - b\theta_m) \exp(k\tau) \quad (4.9)$$

$$C = km(\theta_m - \theta_0)(c_c - c_v) \quad (4.10)$$

$$D(\tau) = (\theta_0 - \theta_m)(\alpha f - c_c km) - [A\eta P + \alpha f(t - \theta_m)] \exp(k\tau) \quad (4.11)$$

Для аналітичного рішення рівняння (4.8) усереднимо за період термообробки T (експозиція) змінні в часі коефіцієнти (4.9) і (4.11):

$$B_s = \frac{1}{T} \int_0^T B(\tau) d\tau =$$

$$= \frac{m}{kT} \left(r(e^{kT} - 1) + b \left(\theta_m - e^{kT} \theta_m + kT(\theta_m - \theta_0) \right) \right); \quad (4.12)$$

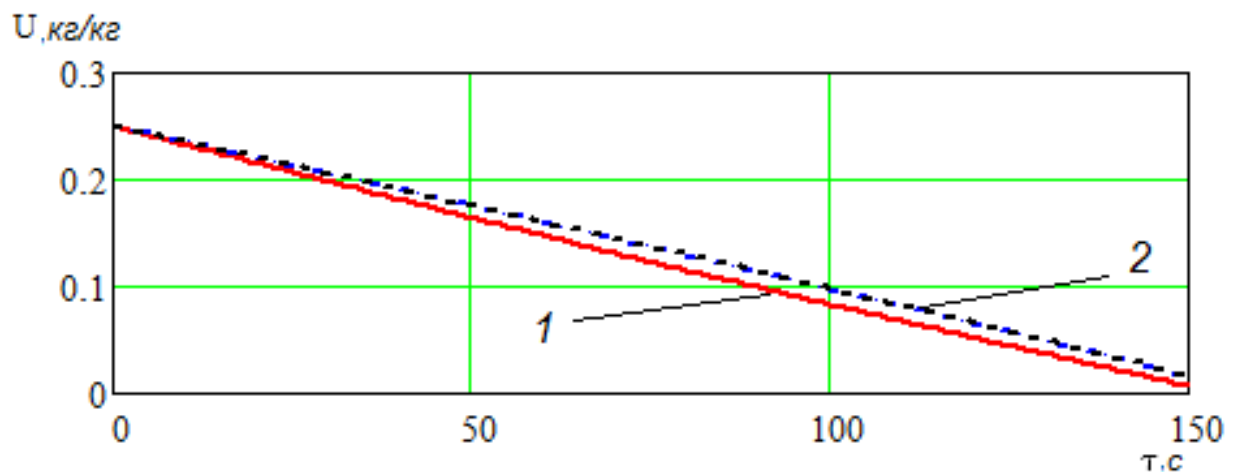
$$D_s = \frac{1}{T} \int_0^T D(\tau) d\tau =$$

$$= \frac{1}{kT} \left(\frac{A\eta E(e^{kT} - 1) + c_c k^2 m T(\theta_0 - \theta_m) +}{+ \alpha f(kT(\theta_m - \theta_0) + \theta_m + (t - \theta_m)e^{kT} - t)} \right) \quad (4.13)$$

Розв'язок звичайного неоднорідного диференціального рівняння першого порядку (4.8) з постійними коефіцієнтами визначеними з (4.12) і (4.13) за початкової умови $U(0) = U_0$ запишеться у вигляді:

$$U(\tau) = \frac{D_s}{c} + \left(U_0 - \frac{D_s}{c} \right) \exp\left(\frac{c\tau}{B_s}\right) \quad (4.14)$$

На рис. 4.2. представлені кінетики зміни вологовмісту зерна розраховані 1 – за залежностями (4.8), (4.9), (4.11), 2 – із постійними коефіцієнтами за (4.14).



1–чисельний, 2–аналітичний розв'язок

Рис. 4.2 - Кінетика зміни вологовмісту при мікронізації зерна
за $q=25 \text{ кВт/м}^2$

З рівняння (4.14) визначимо експозицію термообробки зерна ($U_k = 0.09$).

$$T = \frac{B_s}{c} \ln \frac{D_s - cU_k}{D_s - cU_0} \quad (4.15)$$

де U_k – кінцевий (після мікронізації) вологовміст зерна, кг/кг.

Для більш точного визначення експозиції мікронізації підставимо в (4.15) залежності (4.12) і (4.13), отримаємо трансцендентне рівняння відносно T .

Якщо врахувати, що A – коефіцієнт поглинання енергії матеріалом, залежить лінійно від вологовмісту матеріалу:

$$A = A_0 - A_1 U. \quad (4.16)$$

Підставимо (4.16) в (4.7), отримаємо:

$$\begin{aligned} & m(c_c(1 - U) + c_v U)(k(\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau)) - \\ & - m(r - b(\theta_m - (\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau))) \frac{dU}{d\tau} + \\ & + \alpha f(\theta_m - (\theta_m - \theta_0) \exp(-k\tau) - t) = (A_0 - A_1 U) \cdot \eta \cdot P \end{aligned} \quad (4.17)$$

Після розкриття дужок і зведення подібних доданків матимемо:

$$(B_1 + B_2 e^{k\tau}) \frac{dU}{d\tau} + (M_1 + M_2 e^{k\tau}) U = (D_1 + D_2 e^{k\tau}) \quad (4.18)$$

$$\text{де} \quad B_1 = bm(\theta_0 - \theta_m); \quad (4.19)$$

$$B_2 = m(b\theta_m - r); \quad (4.20)$$

$$M_1 = km(\theta_0 - \theta_m)(c_c - c_v); \quad (4.21)$$

$$M_2 = A_1 \eta P; \quad (4.22)$$

$$D_1 = (\theta_0 - \theta_m)(c_c km - \alpha f); \quad (4.23)$$

$$D_2 = A_0 \eta \frac{P}{F} + \alpha f(t - \theta_m). \quad (4.24)$$

Розв'язок звичайного неоднорідного диференціального рівняння першого порядку (4.17) за початкової умови $U(0) = U_0$ отримаємо у вигляді:

$$U(\tau) = \left(\int_0^\tau (B_1 + B_2 \cdot e^{k \cdot s})^{\frac{-kB_1B_2 + M_2B_1 - B_2M_1}{kB_1B_2}} \cdot (e^{ks})^{\frac{M_1}{kB_1}} (D_1 + D_2 e^{ks}) ds + \frac{U_0}{(B_1 + B_2)^{\left(\frac{M_1}{kB_1} - \frac{M_2}{kB_2}\right)}} \right) \times \\ \times (B_1 + B_2 e^{k\tau})^{\left(\frac{M_1}{kB_1} - \frac{M_2}{kB_2}\right)} (e^{k\tau})^{\frac{-M_1}{kB_1}} \quad (4.25)$$

Розроблений аналітичний математичний апарат із змінними за процес коефіцієнтами дозволяє визначати експозицію процесів нагріву і зневоднення зерна в залежності від початкової вологості зернового матеріалу і його енергетичної освітленості.

4.2. Експериментальне дослідження процесів тепло- і масообміну при мікронізації зерна

Для визначення експериментального експозиції мікронізації зерна пшениці від його початкової вологості і щільності радіаційного потоку був проведений багатофакторний експеримент на лабораторному стенді рис. 4.3. Режим термообробки встановлювали методом накладок [11-34].

Щільність радіаційного потоку задавалася значеннями q - 25, 27, 29, 31, 35 кВт/м². В якості генератора ІЧ-випромінювання використовували керамічні електричні ІЧ-нагрівачі типу ECS потужністю 500, 600 Вт і ЕСР потужністю 700, 850, 1000 Вт компанії Інтмакс (м. Одеса). Щільність радіаційного потоку регулювали також висотою розміщення ІЧ-нагрівача над шаром зерна.

Для аналізу були взяті усереднені зразки зерна пшениці сорту «Аналог», відібрані по ГОСТ 12036-85, вихідним вологовмістом U_0 - 0.17, 0.25, 0.35 кг / кг.

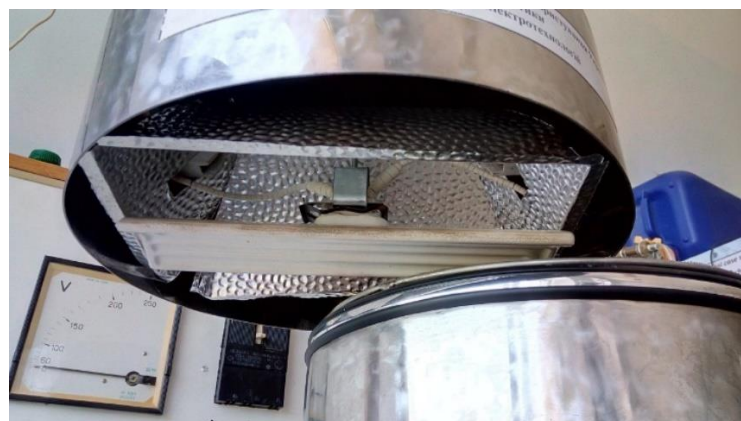


Рис. 4.3 - Загальний вид лабораторного мікронізатора з ECS нагрівачем.

Для отримання рівняння регресії використано планування повнофакторного експерименту другого порядку [23-34, 56-62]. Обробка експериментальних даних і визначення адекватності проводилися в пакеті Statistica.

За результатами проведеного багатфакторного експерименту було отримано рівняння регресії експозиції мікронізації:

$$T_{\text{мікр}} = 882,9 - 52q + 538,2U_0 - 11,3qU_0 + 0,79q^2 - 10,9U_0^2 \quad (4.26)$$

де $T_{\text{мікр}}$ - експозиція мікронізації, с;

U_0 – початкове значення вологовмісту, кг/кг;

q - густина радіаційного потоку, кВт/м².

Графічна інтерпретація рівняння (4.26) представлена на рис. 4.4.

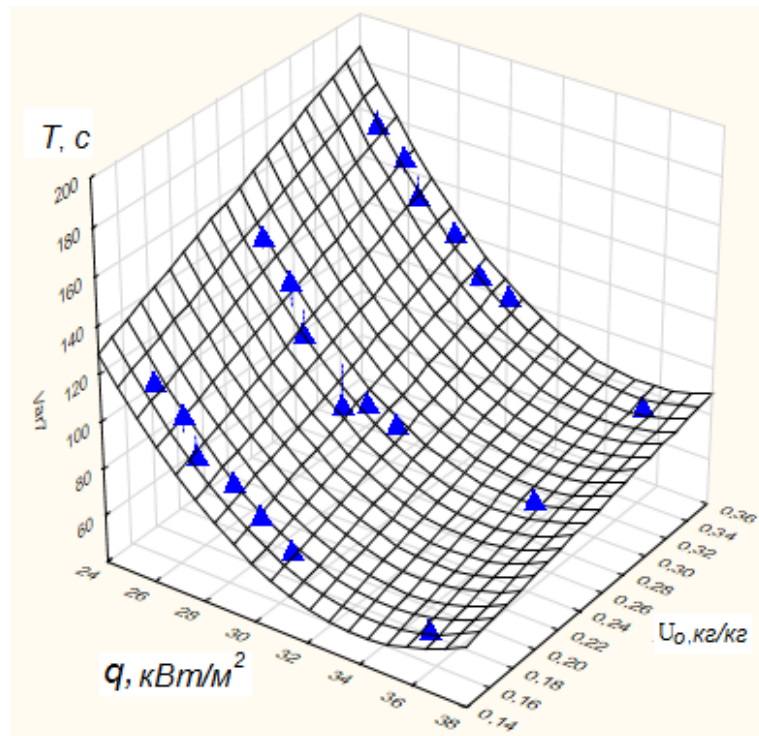


Рис. 4.4 - Поверхня відгуку експозиції мікронізації (за залежністю 3.26) та експериментальні точки – ▲, рівень множинної кореляції

$R=0.98$.

Як можна побачити з рис. 4.4. експозиція мікронізації при заданих енергетичних параметрах установки може тривати від 60 до 180 секунд.

Якщо прийняти, що коефіцієнт поглинання A – не змінюється за процес, добуток коефіцієнт теплообміну α на площу поверхні зерна f – сталий, тоді можемо визначити к.к.д. нагрівача – η порівнюючи експериментальні експозиції мікронізації і розрахункові отримані за залежністю (4.15).

Визначенні значення η , апроксимовані поліноміальною залежністю (4.27) в пакеті Statistika:

$$\eta = 0.92 - 0.02E - 0.76U_0 + 0.89 \cdot 10^{-5}q^2 - 2.25U_0^2 + 0.08qU_0 \quad (4.27)$$

Графічна інтерпретація формули (4.27) представлена на рис. 4.5, на якій відображається збільшення ефективності використання енергії (η – нагрівача) із збільшенням густини радіаційного потоку при початковому вологовмісті зерна $U_0 > 0,3$ кг/кг і зменшення η при високих значеннях густини радіаційного потоку і початковому вологовмісті зерна $U_0 < 0,22$ кг/кг. Тобто, щоб забезпечити високу енергетичну ефективність установки для ІЧ-мікронізації зерна, зерно з підвищеним початковим вологовмістом ($U_0 > 0,3$) потрібно обробляти при максимальній густині потоку ($q = 35$ кВт/м²), а при $U_0 < 0,22$ кг/кг обробляти в радіаційному потоці густиною 20 кВт/м².

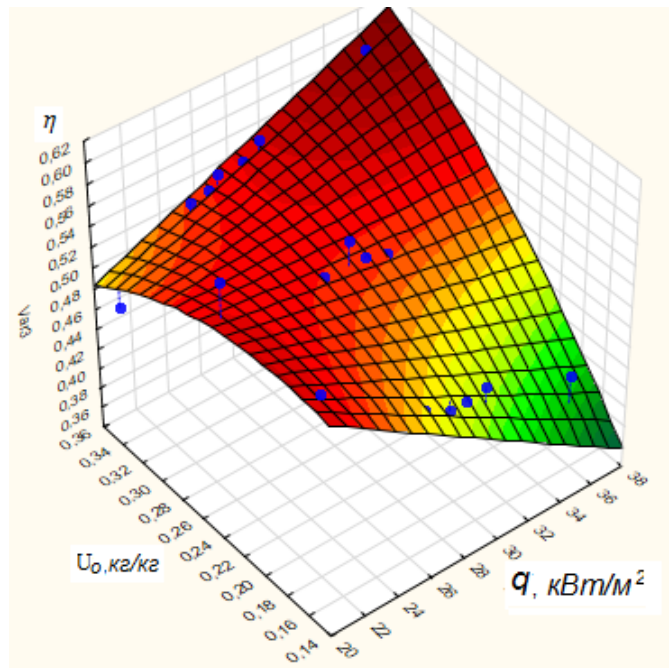


Рис. 4.5 - Залежність η від початкої вологості зерна і густини радіаційного потоку q .

Для перевірки правильності наших припущень підставимо залежність (4.16) в (4.14), (4.15) і порівняємо розрахункові кінетики (рис. 4.6) і експозиції (рис. 4.7) мікронізації з експериментальними.

На рис. 4.6. представлена кінетика зміни вологовмісту зерна в процесі мікронізації визначена за залежністю (4.14).

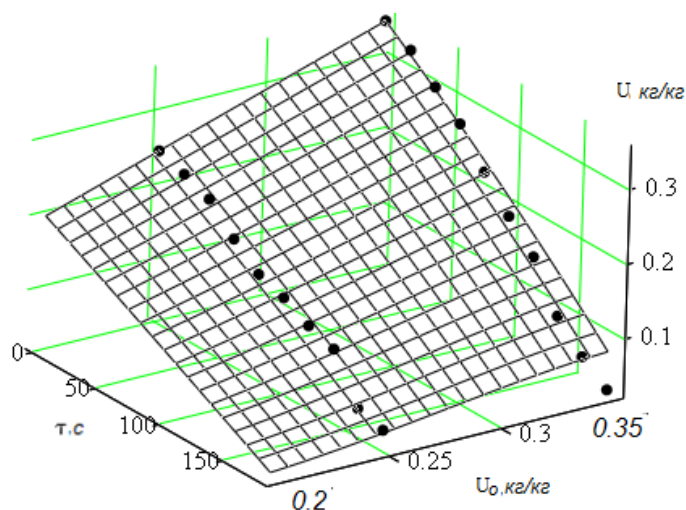


Рис. 4.6 - Кінетика зміни вологовмісту зернівки, розрахована на формулами (4.12), (4.13), (4.14), $q=25\text{кВт/м}^2$, ● – експериментальні точки.

На рис. 4.7 зображена поверхня експозиції мікронізації T (визначена з (4.15) з врахуванням (4.12, 4.13)), від початкової вологості і густини потоку опромінення, а також експериментальні точки.

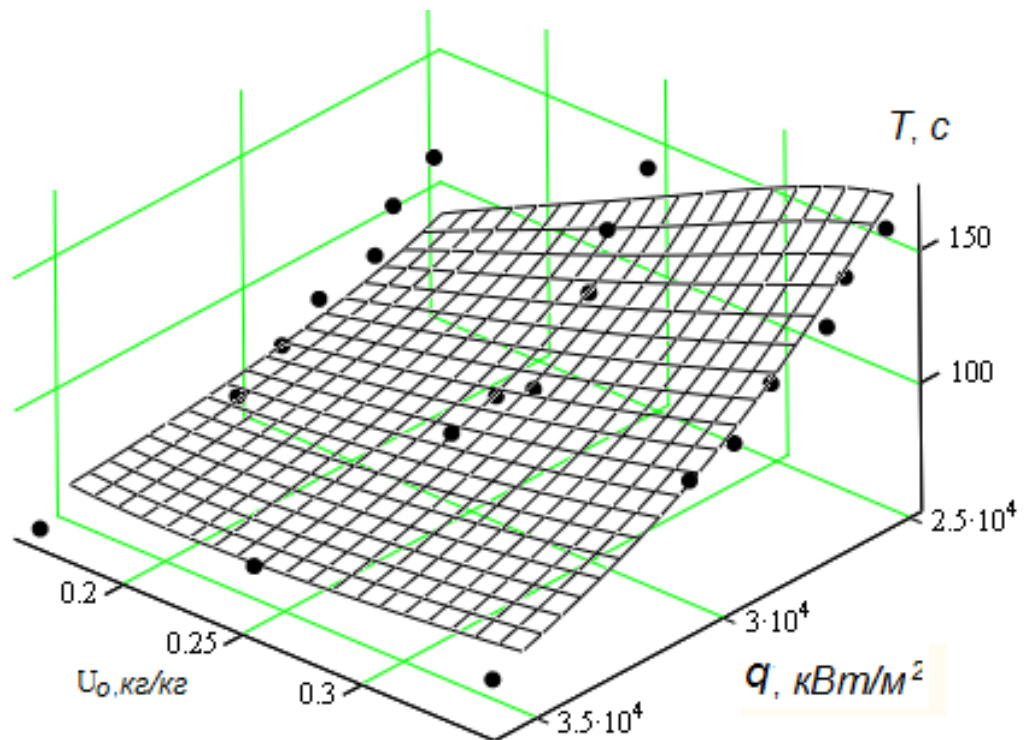


Рис. 4.7 - Розрахункова поверхня експозиції мікронізації, ● – експериментально визначені експозиції, коефіцієнт множинної кореляції $R=0.91$.

Якщо ж врахувати, що коефіцієнт поглинання змінюється за залежністю (4.16) то відповідність експериментальних даних моделі (4.25) відображено на рис. 4.8.

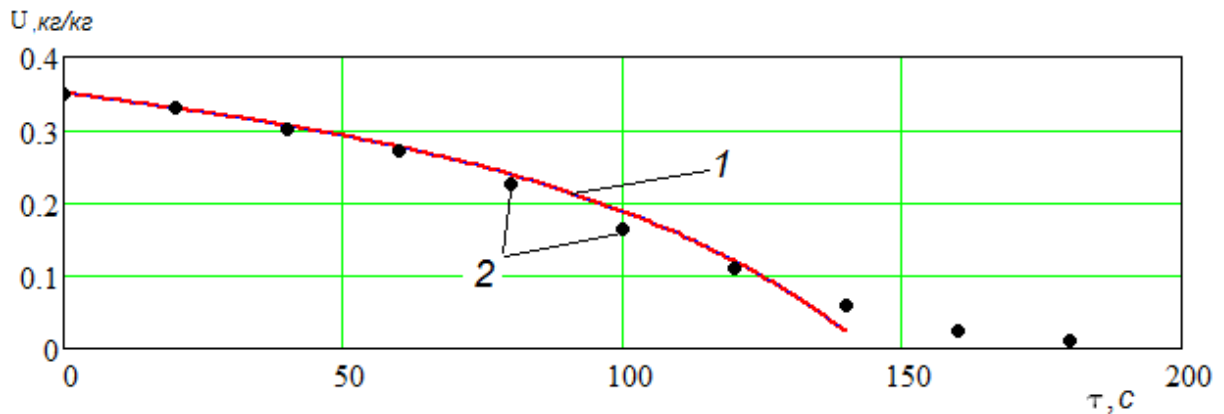


Рис. 4.8 - Кінетика зміни вологовмісту при мікронізації зерна з енергетичною освітленістю $E=25\text{кВт/м}^2$ (1–аналітична залежність за формулою (3.25), 2–експериментальні точки)

Розроблені математичні моделі на основі експериментально-аналітичної ідентифікації високоінтенсивних процесів термообробки зернових матеріалів забезпечують широкий діапазон прорахунку режимів і параметрів машин для термообробки зернових матеріалів, а також точність і адекватність емпіричних математичних моделей.

4.3. Дослідження впливу зміни маси зернівки при високоінтенсивній термообробці на параметри переміщення

Одним із перспективних способів високоінтенсивної термообробки зернових матеріалів запропонований в роботі [12-45], в основі якого є гравітаційний рух зернового матеріалу по шорсткій поверхні і одночасному ІЧ-підведенні енергії до нього.

Однак, при різних видах високоінтенсивної термообробки основним критерієм ефективності процесу є чітко визначена експозиція і густина ІЧ-потoku. Тому визначення часу переміщення зернового матеріалу по шорсткій поверхні є важливою задачею для визначення режимних параметрів установки.

Для визначення закономірностей переміщення зернівки розглянемо сили, що діють на зернівку при гравітаційному русі по шорсткій поверхні, рис. 4.9.

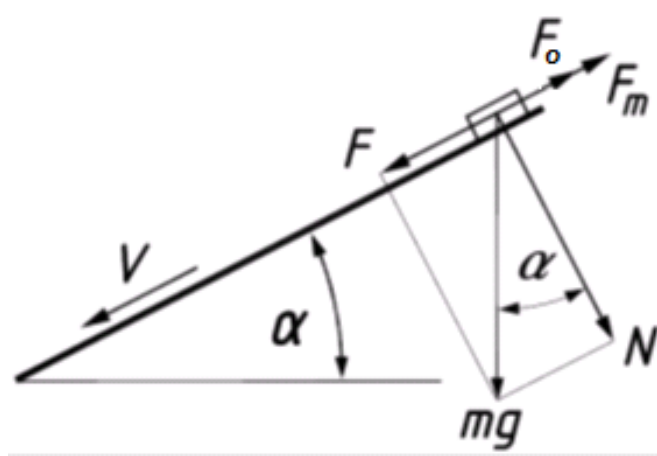


Рис. 4.9 – Схема сил, що діють на зернівку при гравітаційному русі по шорсткій поверхні

Диференціальне рівняння гравітаційного руху частинки з незмінною масою по шорсткій прямолінійній поверхні запишеться у вигляді [15, 17, 51-66]:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \cdot \sin \alpha - f \cdot mg \cdot \cos \alpha - F_o \quad (4.28)$$

де, m – маса зернівки, кг;

v – швидкість, м/с;

α – кут нахилу поверхні;

f – коефіцієнт тертя;

F_o – сила опору середовища.

Сила опору середовища (повітря) пропорційна квадрату швидкості руху зернівки: $F_o = k_n \cdot v^2$, де k_n – коефіцієнт парусності.

При високоінтенсивній ІЧ-термообробці маса зернівки змінюється в процесі переміщення, за рахунок випаровування вологи, тоді рівняння (4.28), переписеться у вигляді:

$$\frac{d(mv)}{dt} = m(t) \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m(t) \cdot g \cdot \cos \alpha - F_o. \quad (4.29)$$

Зміну маси зернівки визначимо так:

$$m(t) = m_c + m_e(t) = m_c + m_c \cdot U(t) = m_c(1 + U(t)); \quad (4.30)$$

де, m_c , m_e – маса абсолютно сухої речовини і води в зернівці, відповідно, кг;

$$U(t) = \frac{m_e(t)}{m_c} \text{ питомий вологовміст матеріалу, кг вл./кг сухої. реч.}$$

Зміну вологовмісту матеріалу визначимо з формули Ликова [13, 15-17, 22-37]:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-k \cdot t}; \quad (4.31)$$

де, k – коефіцієнт сушіння, 1/с;

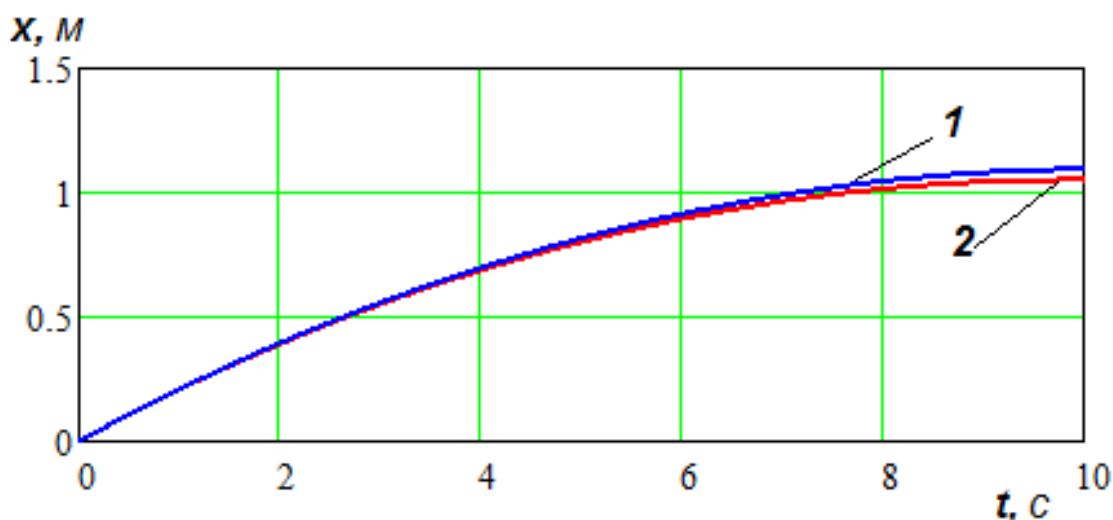
U_0 – початковий вологовміст матеріалу, кг вл./кг сухої. реч.

Підставивши (4.31) в (4.30), а потім в (4.29) і розкривши знак похідної, отримаємо:

$$\frac{d^2x}{dt^2} - \frac{k \cdot U_0 \cdot e^{-k \cdot t}}{(1 + U_0 \cdot e^{-k \cdot t})} \cdot \frac{dx}{dt} = g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{F_o}{m_c(1 + U_0 \cdot e^{-k \cdot t})}; \quad (4.32)$$

де, $v = \frac{dx}{dt}$, x – переміщення, м.

За результатами чисельних обчислень за диференціальним рівнянням (4.32) при різних початкових параметрах (початковій швидкості, коефіцієнті тертя, відповідно до [12]; максимальній інтенсивності зневоднення з роботи [11]), розходження переміщення зернівки вкінці шорсткої поверхні довжиною 1м становило – 3-4%.



1 – з урахуванням зміни маси в процесі руху;

2 – без врахування зміни маси.

Рис. 4.10 – Залежності переміщення зернівки по шорсткій поверхні

Отже, проведені теоретичні дослідження дозволили встановити ступінь впливу інтенсивного зневоднення зернівки на характер її гравітаційного руху по шорсткій поверхні. За результатами обчислювальних експериментів визначити, що навіть при максимально інтенсивному зневодненні цей вплив не перебільшує 4% для параметрів розглянутої установки і в подальший розрахунках режимних параметрів цим впливом можна знехтувати.

4.4. Експериментальне дослідження вібропереміщення зерна при високоінтенсивній термообробці

Для забезпечення якісної мікронізації, експозицію якої можна визначити за залежністю (4.26) і час переміщення на вібротранспортері (під ІЧ-нагрівачами) повинні бути рівними.

Експозиція мікронізації залежить від початкової вологості зерна і щільності радіаційного потоку. Час перебування зерна на вібротранспортері залежить одночасно від декількох параметрів [11]. Тому дослідження раціональних взаємопов'язаних параметрів вібропереміщення зерна при високоінтенсивній термообробці актуальне завдання.

Основи теорії вібраційного переміщення сипких матеріалів закладено в роботах І.І.Блехмана [14] і розвинуто (для переміщення зернового матеріалу) в роботах [15, 16]. В подальшому задачі дослідження процесів вібраційного переміщення матеріалів виконані для окремих технологічних процесів, відповідно до завдань проектування відповідних машин: переміщення, сушіння, нагріву, мікрохвильової обробки зернових, інфрачервоного опромінення [17, 18, 19]. У перелічених роботах розглядаються випадки розрахунку швидкості переміщення частинки на коливній поверхні при незмінних за координатою і в часі характеристик матеріалу і кінематичних параметрах опорної коливної поверхні. Але в процесі термообробки параметри транспортуючого матеріалу є змінними [2], що вимагає корегування розрахунків кінематичних параметрів. Крім того, при використанні елементної бази існуючих віброрешітних машин для установок мікронізації виникають задачі гальмування і зміни швидкості переміщення продукту в напрямку руху, які в існуючих публікаціях висвітлені недостатньо.

Час переміщення зернівки на вібротранспортері знаходимо з очевидної залежності:

$$T_{\text{вібр}} = \frac{L}{V}; \quad (4.33)$$

де, L – довжина вібротранспортера, м;

V – середня швидкість вібропереміщення зернівки, м/с.

Відповідно до досліджень [21], при зменшенні вологості зерна зменшується коефіцієнт тертя, а при зменшенні коефіцієнту тертя збільшується швидкість вібропереміщення зернового матеріалу [15]. Це в свою чергу може призводити до збільшення потрібної довжини вібротранспортера установки для мікронізації, зменшення товщини шару зерна, ще негативно відображається на якості і енергоефективності процесу мікронізації.

Вплив повітряного потоку на швидкість вібропереміщення зерна, досліджувалось в роботах [15, 18].

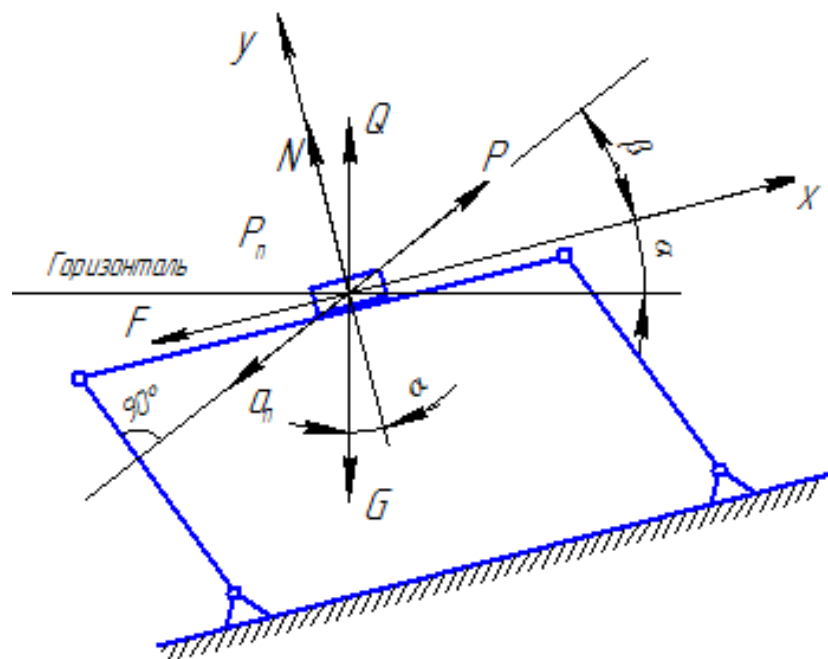


Рис. 4.11 - Схема сил при вібраційному переміщенні зернівки.

Відповідно до [15], рис. 4.11 при сумісній дії на частинку коливної площини і повітряного потоку відомі рівняння руху частинки матимуть вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \omega t - mg \cdot \sin \alpha - Nf, \\ m\ddot{y} = mA\omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta - mg \cdot \cos \alpha + N + P_{\pi}, \end{cases} \quad (4.34)$$

де, f – коефіцієнт тертя;

Nf – сила тертя;

g – прискорення вільного падіння;

P_{π} – сила аеродинамічного тиску повітряного потоку.

Діюча на частинку сила аеродинамічного опору (тиску) в межах режиму обтікання частинки повітрям (за умови $10^2 \leq Re \leq 10^5$) може бути визначена за формулою [22]:

$$P_{\pi} = mk_B(V_{\pi} - V)^2, \quad (4.35)$$

де, $k_B = \frac{g}{V_{\text{віт}}^2}$ – коефіцієнт вітрильності;

$V_{\text{віт}}^2$ – швидкість витання частинки.

Оскільки у робочих режимах руху частинки швидкості повітря $V_{\pi} \gg V$ (V – швидкість частинки) то:

$$P_{\pi} = mk_{\pi}V_{\pi}^2 \quad (4.36)$$

При переміщенні частинки по вібруючий площині у безвідривному режимі (умовою якого є: $N > 0$, або $\frac{g}{A\omega^2} \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}$) координата y дорівнює нулю, а сила тертя визначається співвідношенням:

$$F = \begin{cases} -fN, & \dot{x} > 0; \\ fN, & \dot{x} < 0. \end{cases} \quad (4.37)$$

Нормальна реакція знаходиться із рівняння (4.35):

$$N = mg \cdot \cos \alpha - mA\omega^2 \sin \omega t \cdot \sin \beta - P_n. \quad (4.38)$$

Підставляючи значення N з (4.38) в рівняння (4.35) і замінюючи $f = \tan \rho$ та $P = \frac{P_n}{mg}$ після перетворень отримаємо:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \frac{\cos(\beta \mp \rho)}{\cos \rho} \left[\sin \omega t - \frac{g}{A\omega^2} \frac{\sin(\alpha \pm \rho) \mp P \cdot \sin(\rho)}{\cos(\beta \mp \rho)} \right]. \quad (4.39)$$

Верхні знаки, відповідно до [27], відповідають до позитивного напрямку відносно швидкості переміщення ($x > 0$), а нижні негативному напрямку ($x < 0$).

Подальші розрахунки і перетворення для визначення швидкості переміщення виконано за методикою [22].

Рівняння (4.39) представлено в загальному вигляді:

$$\ddot{x} = a_{\pm} (\sin \delta - Z_{\pm}), \quad (4.40)$$

$$\text{де } a_{\pm} = A\omega^2 \frac{\cos(\beta \mp \rho)}{\cos \rho}; \quad \delta = \omega t; \quad (4.41)$$

$$Z_{\pm} = \frac{g}{A\omega^2} \frac{\sin(\alpha \pm \rho) \mp P \cdot \sin(\rho)}{\cos(\beta \mp \rho)}. \quad (4.42)$$

Верхні знаки – рух вгору, нижні – рух донизу.

Упускаючи відомі перетворення наведені в [15-17], запишемо кінцеві результати.

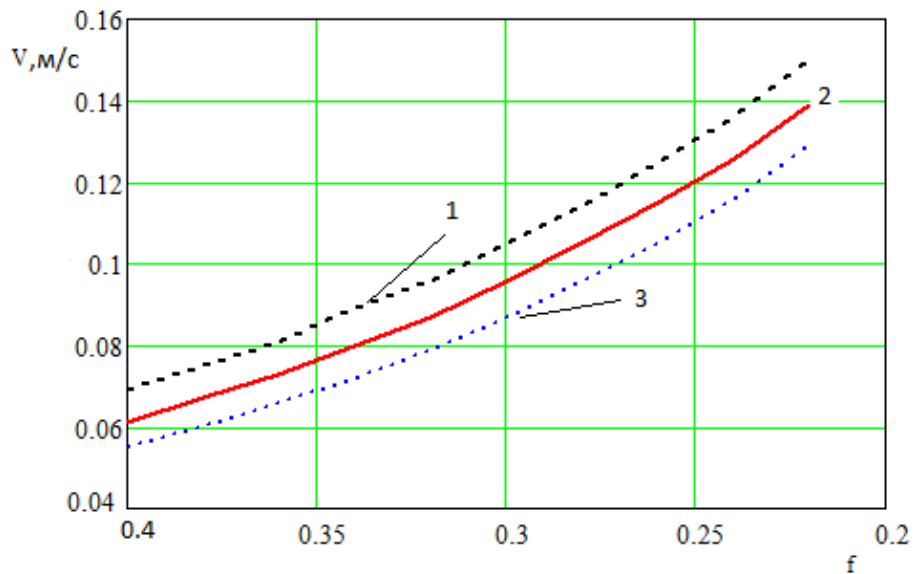
$$V = \frac{A\omega}{\pi \cdot \cos \rho} \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon Z_+)^2} \cdot \left[\left(1 - \frac{\varepsilon}{tg \varepsilon}\right) \cos(\beta - \rho) - \left(1 + \frac{\pi - \varepsilon}{k-1}\right) \cos(\beta + \rho) \right] \quad (4.43)$$

$$\text{де } \varepsilon = \pi \frac{k}{k-1}; \quad k = \frac{Z_-}{Z_+} = \frac{\sin(\alpha - \rho) \cos(\beta - \rho)}{\cos(\beta + \rho) \sin(\alpha + \beta)},$$

або:

$$V = A\omega \cos \beta \cos \varepsilon \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon Z_+}{\sin \varepsilon}\right)^2} \left[\frac{2f}{\pi} tg \beta \left(tg \varepsilon - \varepsilon + \frac{\pi}{2} \right) - 1 \right].$$

На рис. 4.12. Представлено графіки зміни швидкості переміщення зерна отримані за формулою (4.43) в залежності від коефіцієнта тертя.



1 – з висхідним повітряним потоком, $V_{\text{п}}=2\text{м/с}$;

2 – без повітряного потоку;

3 – з низхідним повітряним потоком, $V_{\text{п}}=2\text{м/с}$;

Рис. 4.12 - Залежність зміни швидкості вібропереміщення зерна від коефіцієнта тертя, за параметрів: $\alpha=\beta=5^\circ$, $A=0.005\text{ м}$, $\omega=52.36$

За результатами теоретичних розрахунків, за наведеними формулами, можна зробити висновок, що висхідний повітряний потік збільшує швидкість переміщення зерна, низхідний зменшує.

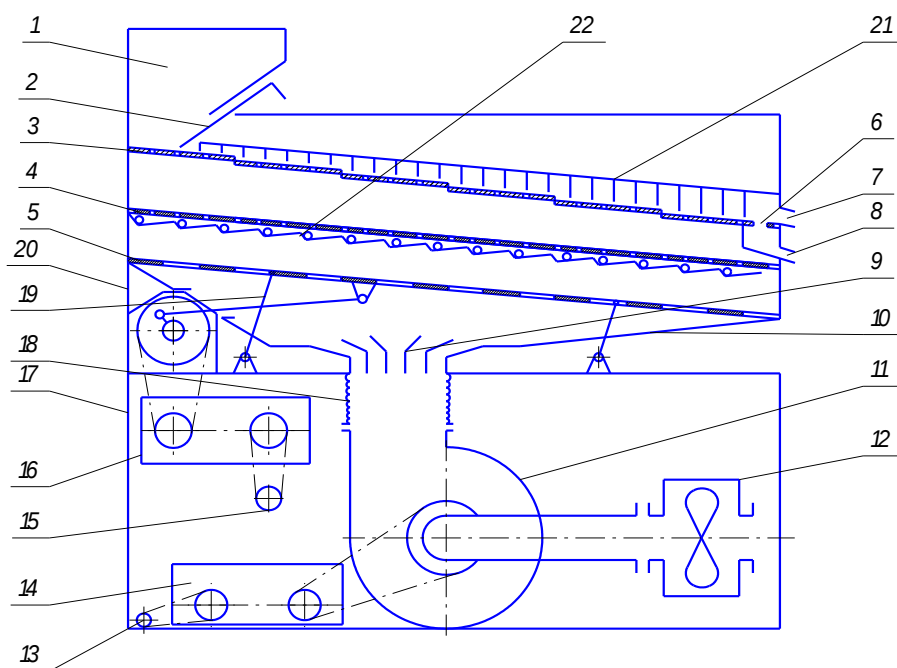
Враховуючи те, що вібропереміщення зерна залежить від декількох параметрів, які в свою чергу взаємопов'язано впливають на швидкість переміщення зерна, то для уточнення і перевірки теоретичних обчислень проведені експериментальні дослідження на лабораторній установці ІМА АПВ НААН.

Лабораторна вібраційно-пневматична установка для генерації направлених коливань (рис. 4.13) складається з таких вузлів: засипний бункер 1 із заслінкою 2, якою регулюється завантаження вібраційної поверхні 3. Засипний бункер прикріплений на кронштейнах до спеціальної опорної рами 20. На опорній рамі 20 кріпиться вібраційна поверхня 3, два решета 4 і 5 круглими отворами, нагнітальна

пневматична камера 10 з жалюзіями 9. Нагнітальна пневматична камера 10, решета 4 і 5 призначаються для вирівнювання швидкості і тиску повітряного потоку, що створюються нагнітальним вентилятором 1. Жалюзі 9 призначені для рівномірного розподілу повітря по довжині решета.

Нагнітальна камера 10 через гнучкий рукав 18 з'єднується з горловиною вентилятора 11. Опорна рама 20 разом з вібраційною поверхнею 3 і нагнітальною пневматичною камерою 10 шарнірно з'єднана з вібратором. Коливання передаються шатуном 19 від ексцентрикового вала, швидкість обертання якого може змінюватися варіатором 16 від приводу асинхронного електродвигуна 15 (4АС на 380 В, потужністю 1,7 кВт, з частотою обертання 950 хв.^{-1}).

Швидкість обертання колеса вентилятора 11 також змінюється за допомогою варіатора 14, від приводу асинхронного електродвигуна 13 (потужністю 1,5 кВт, з частотою обертання 940 хв.^{-1}), це давало змогу змінювати витрату повітря, яка контролюється спеціальним лічильником 12.



a)



б)

Рис. 4.13 - Конструктивна схема (а) і зовнішній вид (б) лабораторної вібраційно-пневматичної установки

Враховуючи, що вібропереміщення з низхідним повітряним потоком є складним механічним процесом, то для встановлення емпіричної залежності швидкості переміщення зерна від таких визначальних факторів: кут нахилу площини α – x_1 ; швидкість низхідного повітряного потоку $V_{\text{п}}$ – x_2 ; вологості зерна U^c – x_3 ; частота коливань ω – x_4 , вибрали план дослідів На – Ко₃₄ (Хартлі – Коно). Варіювання факторів здійснювали на трьох рівнях.

Експериментальні дані оброблялися в математичному пакеті Statistica, в якому і отримана емпірична залежність швидкості від визначених факторів:

$$V = 0.0005\alpha^{0.87}V_{\text{п}}^{-0.07}U^{-1.08}\omega^{2.24} \quad (4.44)$$

де, α – кут нахилу вібраційної поверхні, 3÷9 град;

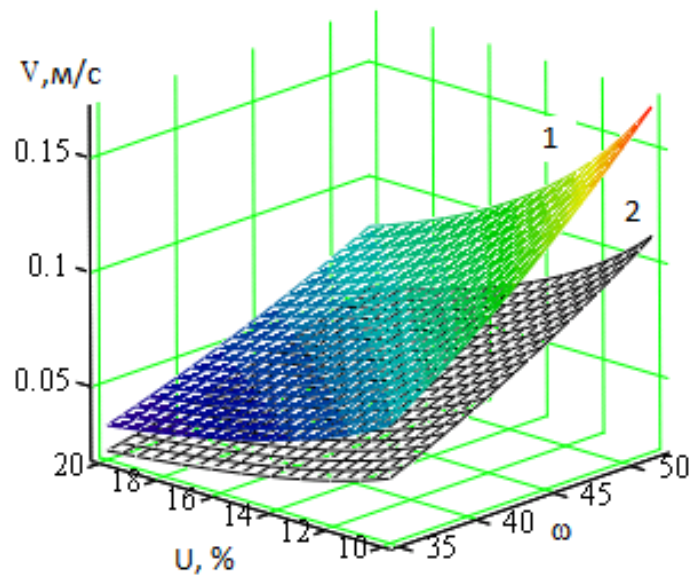
$V_{\text{п}}$ – швидкість низхідного повітряного потоку, 0.1÷2 м/с;

U – вологість зерна 10÷20%;

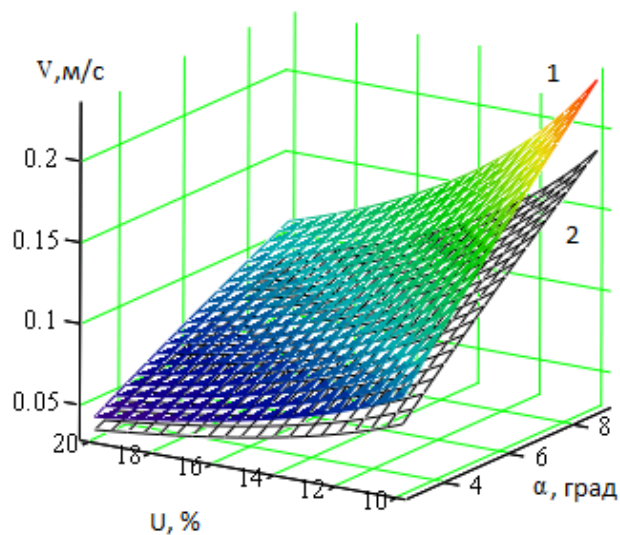
ω – частота коливань, 33÷52.

Рівень множинної кореляції залежності (4.44) та експериментальних даних – $R=0.97$.

На рис. 4.14 представлені поверхні відгуку швидкості переміщення зерна, отримані за емпіричною залежністю (4.44).



а)



б)

Рис. 4.14 - Поверхні відгуку швидкості вібропереміщення зерна: а) $\alpha=5^\circ$;

1 – $V_n=0.1$ м/с; 2 – $V_n=2$ м/с, б) $\omega=52$; $V_n=2$ м/с; 1 – $\alpha=8^\circ$; 2 – $\alpha=5^\circ$.

В результаті проведених досліджень визначено:

- регресійну залежність для визначення експозиції мікронізації;
- теоретично обґрунтована зміна швидкості вібропереміщення зерна в залежності від його вологості і доведена можливість зменшувати швидкість переміщення зерна низхідним повітряним потоком;
- експериментально визначена емпірична залежність зміни швидкості вібропереміщення від визначальних параметрів. Це надає можливість формування необхідного швидкісного режиму вібропереміщення зерна зміною параметрів: нахилу віброуючої площини, частоти коливань, вологості зерна і швидкості низхідного повітряного потоку для функціонування в оптимальних режимах установки для мікронізації зерна на вібротраспортері.

4.5. Формування швидкісного режиму вібропереміщення зерна в процесах термообробки

Розглядаючи можливість зміни швидкості переміщення частинки, звернемо увагу на такі обставини:

- 1) оскільки, величина амплітуди коливань A є величиною сталою, то швидкість переміщення є функцією частоти коливань $V(\omega)$;
- 2) величина ε визначатиме вплив кутів α , ρ на швидкість переміщення так, як величина β є нерегульованою;
- 3) на швидкість переміщення зерна впливає величина швидкості повітря V_n і кут вектора його спрямування γ .

Таким чином змінювати швидкість переміщення зерна окрім частотою коливань, можна зміною кута нахилу опорної поверхні до горизонту та зміною коефіцієнта тертя.

В роботах [19, 23] для зменшення швидкості вібраційного переміщення використано опорну поверхню із різним коефіцієнтом тертя

при русі в різних напрямках або пружні елементи, що гальмують шар зерна в одному з напрямів руху опорної поверхні. В нашому випадку розглядається рух частинки вздовж опорної поверхні виконаної з металевого полотна з чешуйчатими рифлями, що розміщені на поверхні в шаховому порядку (рис. 4.15), які утворюють асиметрично рифлену поверхню з вертикальними перфораціями.

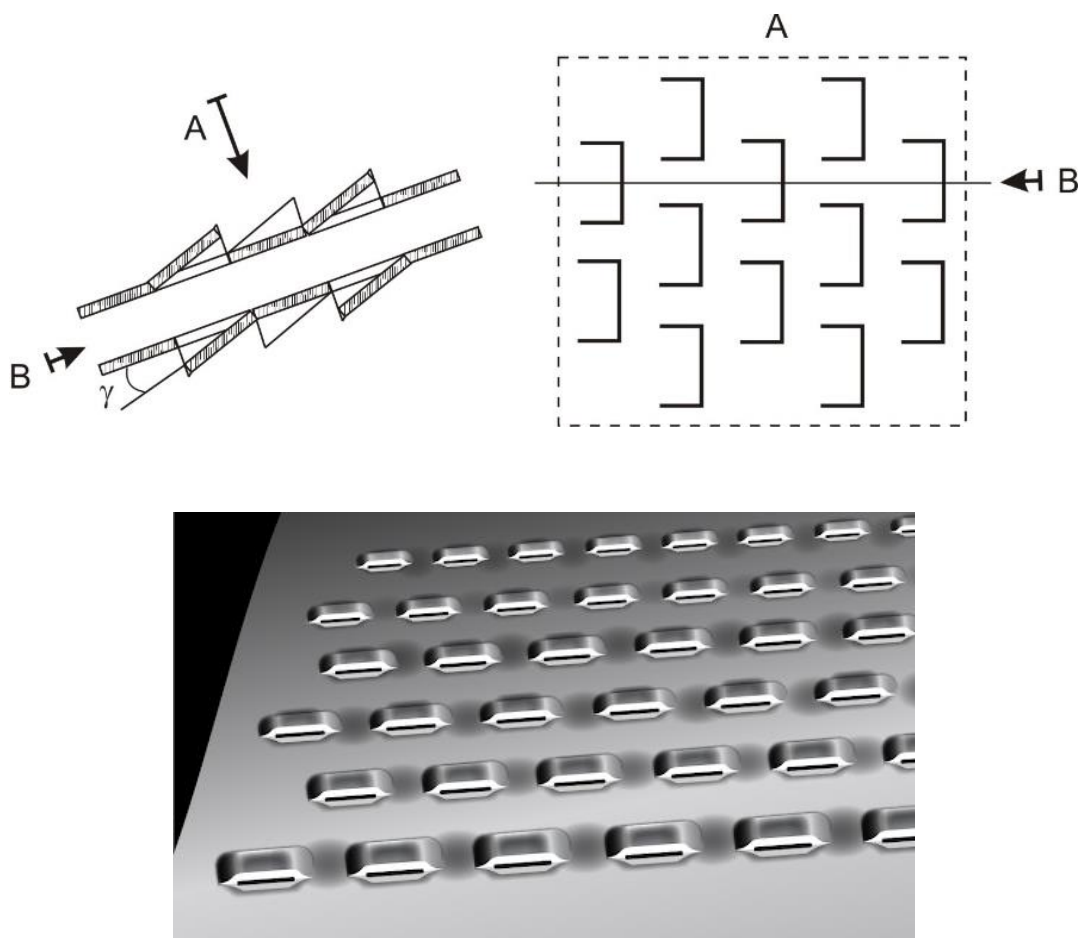
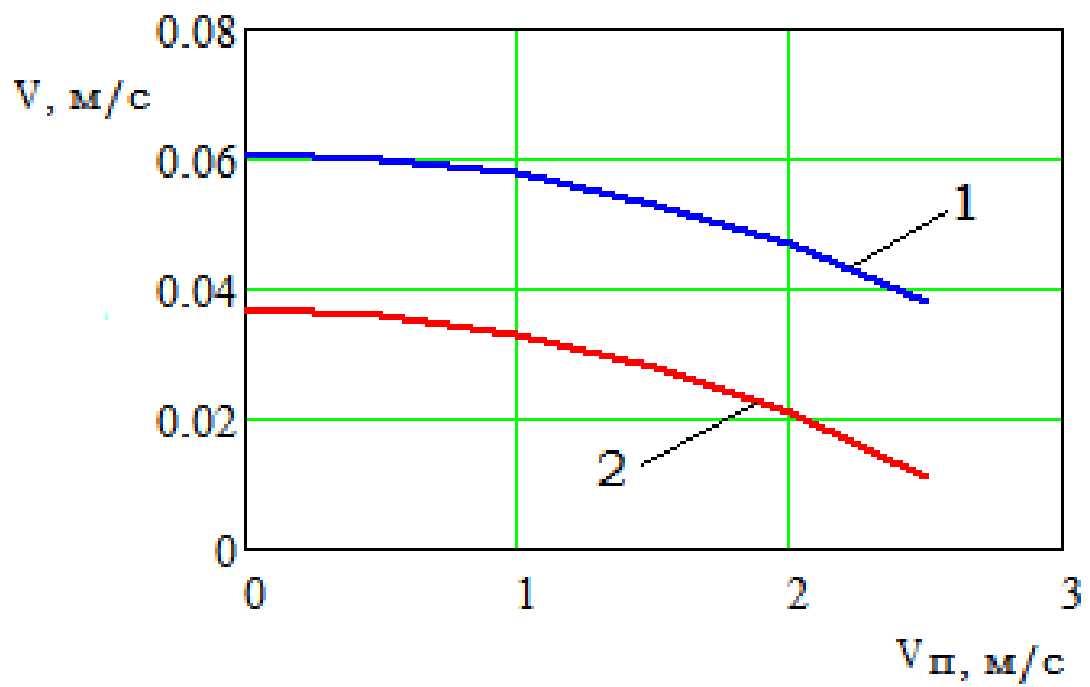
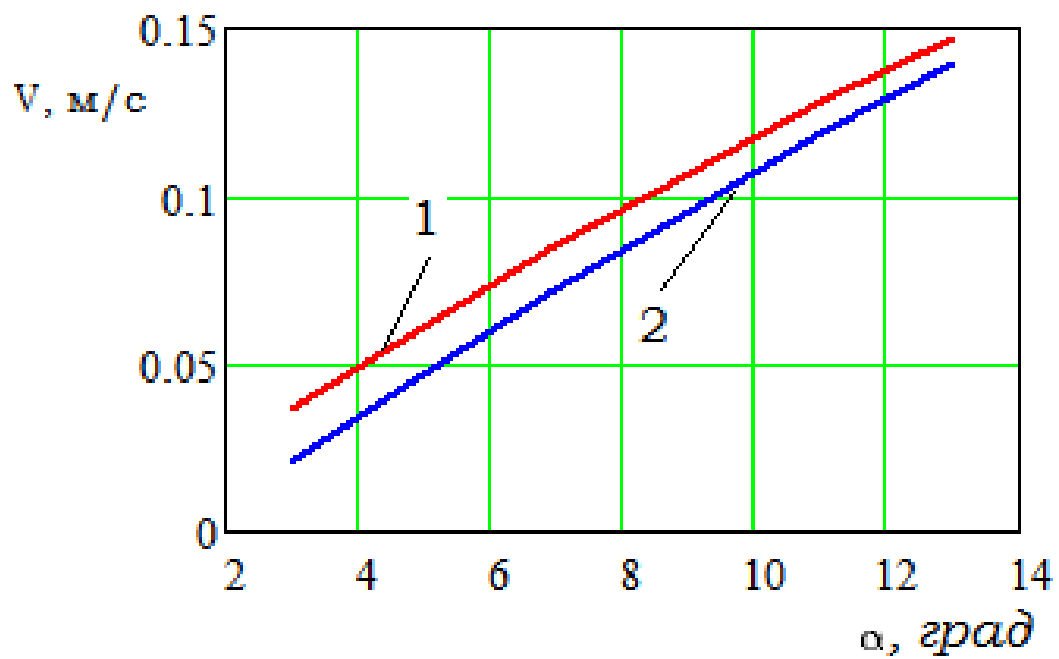


Рис. 4.15 - Схема розміщення жалюзійних рифлів на опорній поверхні і зовнішній вигляд полотна.

Результати розрахунків за формулами (4.41-4.42) представлено у вигляді графічних залежностей швидкості переміщення частинки від швидкості повітря (рис. 4.16а) та кута нахилу опорної поверхні (рис. 4.16б).



а)



б)

а) – 1 – кут нахилу $\alpha=5^\circ$; 2 – кут нахилу $\alpha=3^\circ$;

б) – 1 – без повітряного потоку; 2 – $V_{\text{п}}=2\text{ м/с}$.

Рис. 4.16 - Залежності швидкості переміщення частинки від швидкості повітря

Для виявлення впливу швидкості повітряного потоку і кута його нахилу до поверхні зроблено розрахунки швидкості переміщення частинки по поверхням з круглими отворами діаметром 2мм ($\rho=24^{\circ}20' \dots 28^{\circ}30'$) і листу з чешуйчатими рифлями ($\rho=30 \dots 36^{\circ}$ – рух назад, $\rho=36 \dots 43^{\circ}$ – рух вперед).

При розрахунках швидкості переміщення частинки вздовж асиметрично рифленої поверхні (при безвідривному двосторонньому русі з двома миттєвими зупинками) в розрахункові формули (4.41) і (4.42) внесені корективи: оскільки кут тертя має різні значення в напрямках руху «вперед» $-S_+$ і «назад» $-S_-$ то величини ковзання Z_+ і Z_- та їх співвідношення визначатиметься за формулою:

$$Z_{\pm} = \frac{g}{A\omega^2} \frac{\sin(\alpha \pm \rho_{\pm}) \mp \rho \cdot \sin(\gamma \pm \rho_{\pm})}{\cos(\beta \mp \rho_{\mp})}. \quad (4.45)$$

де, ρ_+ - кут тертя при переміщенні «вперед»;

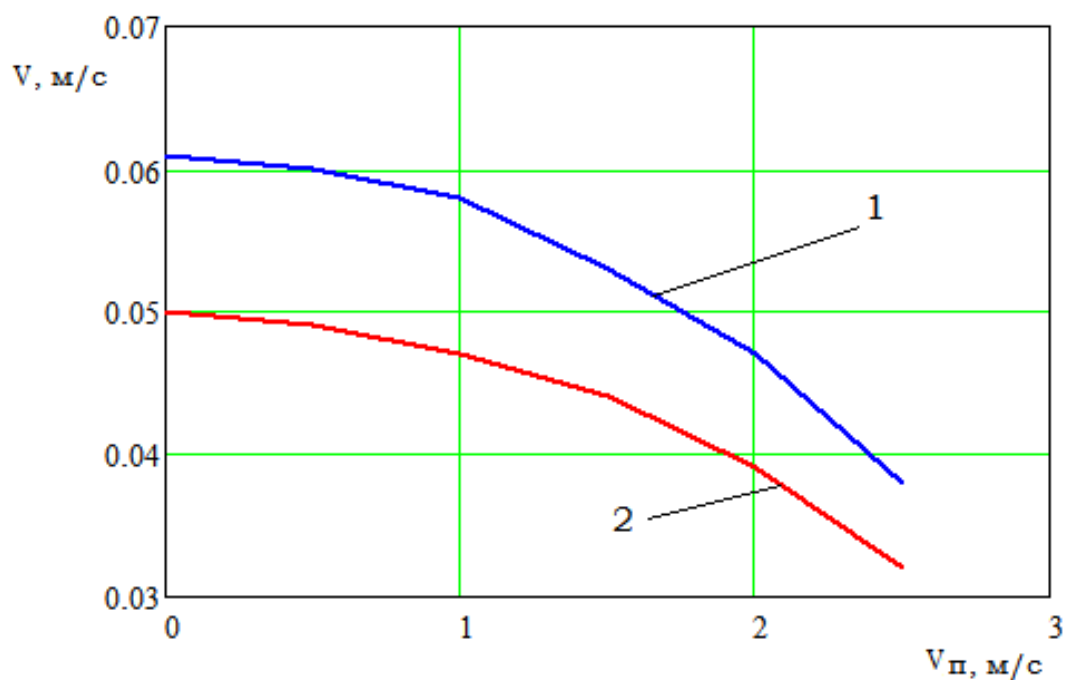
ρ_- - кут тертя при переміщенні «назад»;

$$k = \frac{Z_-}{Z_+} = \frac{\sin(\alpha - \rho_-) \cos(\beta - \rho_-)}{\cos(\beta + \rho_+) \sin(\alpha + \beta)}.$$

Коефіцієнт асиметрії коефіцієнту тертя:

$$k_f = \frac{\rho_-}{\rho_+}. \quad (4.46)$$

Результати розрахунків у вигляді графічних залежностей швидкості переміщення від швидкості подачі повітря і кутів тертя наведені на рис. 3.29 і рис. 3.30.

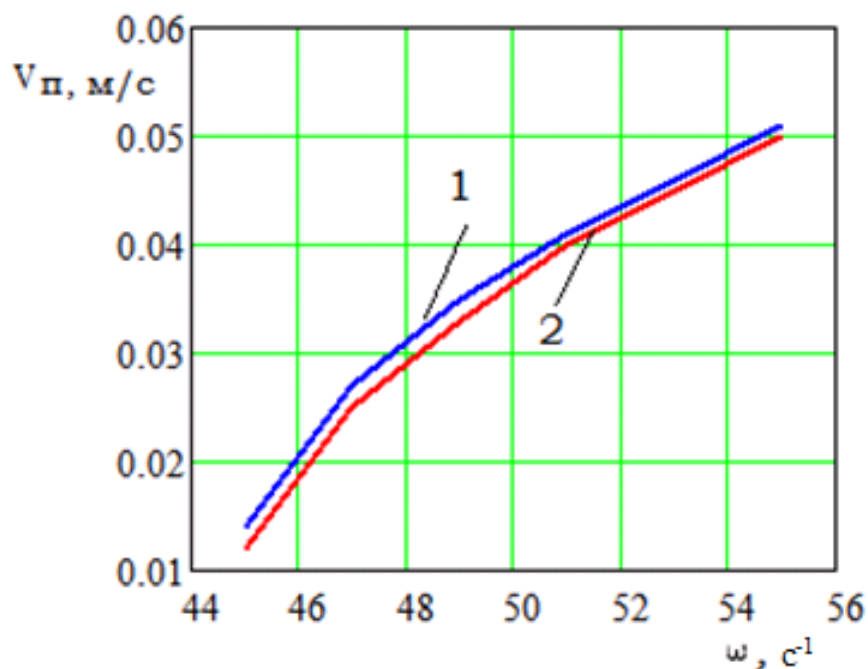


1 – перфорованої поверхні $\rho=27^\circ$;

2 – асиметричної перфорованої поверхні $\rho_+=36^\circ$, $\rho_-=30^\circ$.

Рис. 4.17 - Залежності швидкості переміщення зерна:

$$\gamma=15^\circ, \omega=52 \text{ с}^{-1}, \alpha=5^\circ$$



1– $\gamma=20^\circ$; 2– $\gamma=10^\circ$.

Рис. 4.18 - Залежності швидкості переміщення зерна на асиметричній перфорованої поверхні $\rho_+=36^\circ$, $\rho_-=30^\circ$, $\alpha=5^\circ$, $V_{\text{п}}=1.5 \text{ м/с}$

Для уточнення результатів розрахункових досліджень шляхом їх співставлення з даними експериментів проведено багатофакторний експеримент на установці ІМА АПВ НААН. Змінними факторами прийнято: частота коливань поверхні ω , кут її нахилу α , швидкості повітря V_n та коефіцієнта асиметрії коефіцієнта тертя – k_f .

За результатами експериментів отримано рівняння лінійної регресії (4.47), яке описує залежність швидкості переміщення шару зернового матеріалу вздовж опорної коливної поверхні від кута нахилу поверхні, швидкості повітряного потоку (крізь перфорації), коефіцієнту асиметрії тертя, частоти коливань:

$$V = -0.023 + 0.0037\alpha - 0.004V_n - 0,23k_f + 0.0047\omega; \quad (4.47)$$

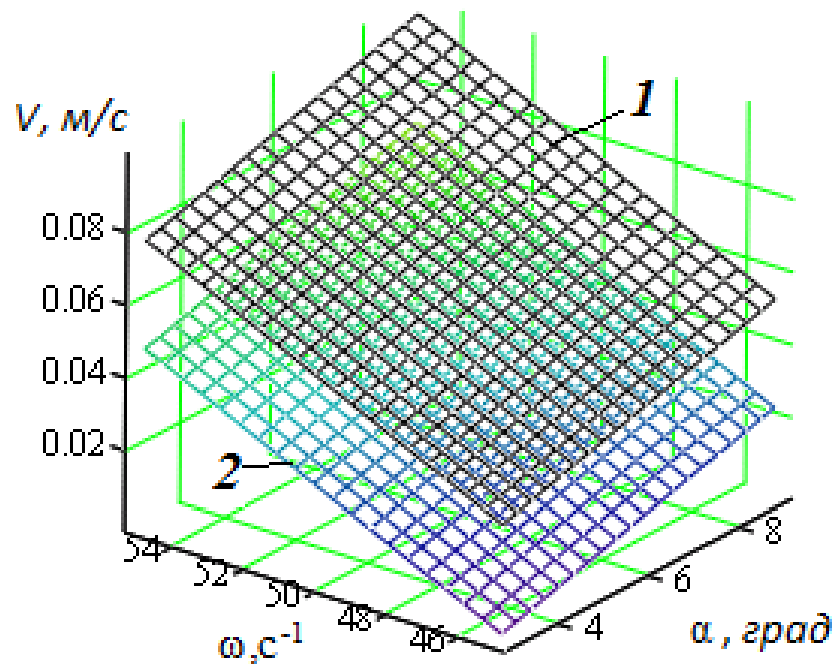
де, α – кут нахилу вібраційної поверхні, $3 \div 9$ град;

V_n – швидкість повітряного потоку, $0.1 \div 2$ м/с;

k_f – коефіцієнт асиметрії коефіцієнта тертя, $0.7 \div 0.85$;

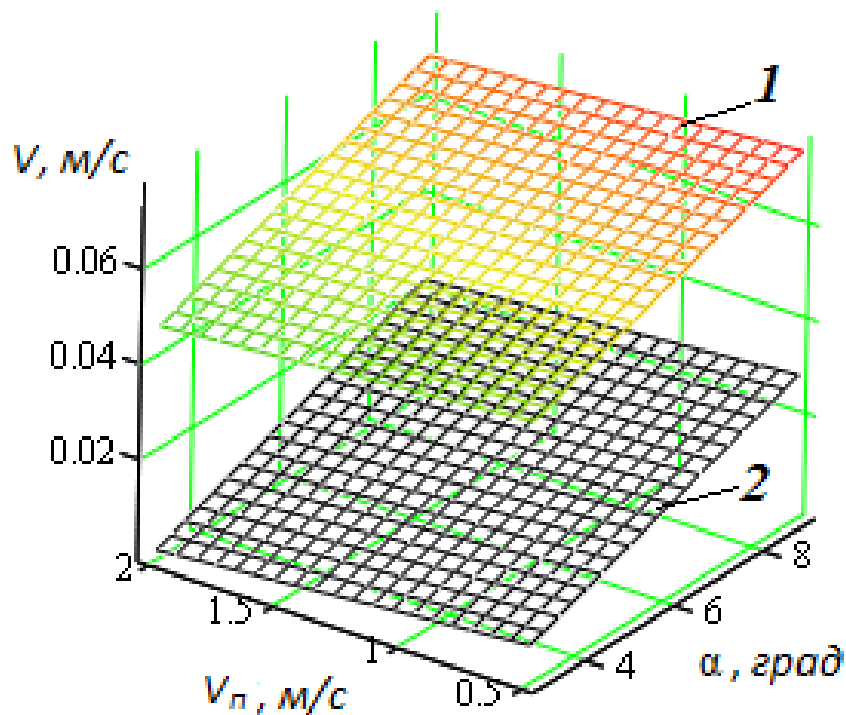
ω – частота коливань, $45 \div 55$ с⁻¹.

Графічна інтерпретація отриманих результатів подана у вигляді поверхонь швидкості переміщення зернового матеріалу від змінних факторів на рис. 4.19, рис. 4.20.



$$1 - k_f = 0.7; 2 - k_f = 0.85$$

Рис. 4.19 - Залежності швидкостей переміщення зерна від кута нахилу опорної поверхні і частоти: $V_n = 2$ м/с.



$$1 - \omega = 55 \text{ c}^{-1}; 2 - \omega = 45 \text{ c}^{-1}.$$

Рис. 4.20 - Залежності швидкостей переміщення зерна від кута нахилу опорної поверхні і швидкості повітряного потоку: $k_f = 0.85$;

Теоретично обґрунтована можливість уповільнення вібропереміщення зерна повітряним потоком, що подається знизу пористої опорної поверхні проти (під кутом) напрямку переміщення зерна, а також використанням асиметрично рифленої опорної поверхню з вертикальними перфораціями.

Експериментально визначена лінійна регресійна залежність зміни швидкості вібропереміщення, яка дає можливість формування необхідного швидкісного режиму вібропереміщення зерна зміною параметрів: нахилу вібруючої площини $5^{\circ} \div 9^{\circ}$, частоти коливань $45 \div 55 \text{ с}^{-1}$, $V_{\text{п}}$ – швидкості повітряного потоку, $0.1 \div 2 \text{ м/с}$; k_f – коефіцієнту асиметрії коефіцієнта тертя, в оптимальних режимах роботи установки для високоінтенсивної термообробки зерна з вібротранспортером.

ВИСНОВКИ

1. Температура зерна в герметично запечатаних поліетиленових мішках розвивається залежно від зміни температури навколишнього середовища, зниження температури спостерігається в кінці літа. Температура зерна у верхній секції мішка знизилась від 39 до 20°C протягом декількох днів після затарювання зерна в рукави. Температура зерна в основі мішка знизилася на 25°C за 30 днів, а в середині - за 50. Різниця температури пов'язана з різними нормами теплообміну, залежно від місця розташування зерна в рукаві.

2. Протягом 150 днів зберігання, ні у вологому, ні у сухому зерні відсоток вологості не змінився. Зовнішнє проникнення вологості або внутрішнє переміщення вологості не були виявлені.

3 . Після 150 днів зберігання була невелика втрата ваги.

4. Енергія проростання і сила проростання не змінилися в сухій пшениці. У вологій пшениці, сила і енергія проростання знизилася в середині і внизу мішка, після 45 днів, а на 80 день, зниження, також було зафіксоване у верхній секції мішка. Це зниження було викликане взаємодією вологи і температури, також було доведено, що вміст клейковини не змінився.

5. Зміни якості зерна 12,5 % вологості не були зафіксовані. Тоді як в зерні 16,4 % вологості, зміни спостерігалися в середині і внизу мішка. 150 днів не дуже довгий термін зберігання зерна 12,5 % вологості, в зерні 16,4 % вологості на 45 день спостерігається зниження деяких параметрів якості. Процес зберігання зерна 16,4 % вологості, із-за комбінації високої температури і високої вологості, впливає на якість пшениці, яка використовується в хлібопекарні.

6. Протягом 100 днів зберігання, під впливом респіраторних процесів зерна 12,5 % вологості, вміст CO₂ збільшився на 13 %, O₂ скоротилося

на 10,4 %, тоді як під час зберігання зерна 16,4 % вологості вміст CO_2 збільшився на 23 %, а вміст O_2 скоротилося на 5,6 %.

7. Живі комахи не були виявлені в мішках під час зберігання вологого (16,4 %) і сухого (12,5 %) зерна. Тому можна передбачити, що співвідношення концентрації CO_2 в мішках і час дії було достатнє ефективно, щоб викликати 100 % смертність комах.

8. Термічна обробка зерна має важливе технологічне значення, але збільшення корисного ефекту видів термообробки супроводжується зростанням питомих витрат теплової і механічної енергії; для різних видів високоінтенсивної термообробки можуть використовуватися як універсальні терморадіаційні установки і обладнання, так і установки різних конструкційних оформлень в залежності від виду термообробки і кінцевого призначення готового продукту.

9. Розроблені математичні моделі на основі експериментально-аналітичної ідентифікації високоінтенсивних процесів термообробки зернових матеріалів забезпечують широкий діапазон прорахунку режимів і параметрів машин для термообробки зернових матеріалів, а також точність і адекватність емпіричних математичних моделей.

10. Теоретично обґрунтована зміна швидкості вібропереміщення зерна в залежності від його вологості і доведена можливість зменшувати швидкість переміщення зерна низхідним повітряним потоком;

11. Експериментально визначена лінійна регресійна залежність зміни швидкості вібропереміщення, яка дає можливість формування необхідного швидкісного режиму вібропереміщення зерна зміною параметрів: нахилу вібруючої площини $50 \div 90$, частоти коливань $45 \div 55$ с⁻¹, $V_{\text{п}}$ – швидкості повітряного потоку, $0.1 \div 2$ м/с; – коефіцієнту асиметрії коефіцієнта тертя, в оптимальних режимах роботи установки для високоінтенсивної термообробки зерна з вібротранспортером.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція перспективи комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України [Електронний ресурс] / В. В. Адамчук, А. С. Заришняк, А. Н. Прилуцький, С. П. Степаненко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2014. – Вип. 99 (1). – С. 40–56.
2. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконт Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О.Серьогіна. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 338 с.
3. Використання плівкових рукавів для зберігання стеблових кормів та зерна / за ред. Присяжнюка М.В. та Петриченка В.Ф. – К.: Аграр. наука, 2013. – 96 с., іл.
4. Котов Б.І. Математичне моделювання динамічних режимів мікронізації зерна при зміні потужності випромінювачів за координатою /Б. І. Котов, Р. А. Калініченко, В.В. Кифяк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – 2014. Вип. 148. – С.388-394.
5. Поперечний А.М. Кінетика процесу сушіння плодових кісточок у віброкиплячому шарі при інфрачервоному нагріванні / А.М.Поперечний, Н.О.Миронова // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства. Х. – 2007. Вип.58. С.122-129
6. Котов Б. І. Математична модель динамічних режимів електротермічної установки для обробки зерноматеріалів імпульсними потоками інфрачервоного випромінювання / Б. І.

- Котов, В. В. Кіфяк, Р. А. Калініченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2014. - Вип. 152. - С. 181-191.
7. Дубровин В. Моделирование динамики тепловых процессов при микронизации и сушении зернопродуктов в терморadiационных установках ИК-излучением / В.Дубровин, Р.Калиниченко, В.Кифяк // Motrol: International journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – 2015. – Vol. 17, т.3 – Р. 150-157.
 8. Калініченко Р.А. Моделювання розвитку температурних полів зернівки в процесах термообробки зерна ІЧ-випромінюванням / Калініченко Р.А. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. – 2015. – Вип. 101.Т.2. –С.221-227.
 9. Калініченко Р.А. Моделювання динаміки нагріву зернівки інфрачервоним випромінюванням в рухомому шарі / Р. А. Калініченко. // Інженерія природокористання. – 2016. – №1(5). – С. 87–93.
 10. V. Dubrovin, M. Melnychuk. Agricultural & environmental engineering for Bioenergy Production / Proceedings of the 33TH CIOSTA & 5TH cigr Conference. – Reggio Calabria. – 2009. – Vol. 2. – Р. 1121-1123.
 11. Калініченко Р. А. Математичне моделювання тепломасообмінних процесів високотемпературної термообробки зернових матеріалів /Р.А.Калініченко, В. Д. Войтюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. –2017. –№275. –С.59–67.
 12. Калініченко Р.А. Ідентифікація математичної моделі процесу мікронізації зерна за даними експериментів / Р.А.Калініченко, Б.І.Котов // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2017. – №5(104) – С.123–131.
 13. Voytyuk V., Pylypaka S., Kalinichenko R.,Mukvich M. Investigation of Movement of Grains in Drum Dryer with Ir-Energy Supply on Sloping,

Ruled Minimum Surface (Дослідження руху зернівки у барабанній сушарці по скатній лінійчатій міні- мальній поверхні). Teka commission of motorization and energetics in agriculture / Polish Academy of Sciences Branch in Lublin University of Engineering and Economics in Rzeszów National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2018. Issue 3 (18). Pp. 5–11.

14. Котов Б. І., Калініченко Р. А., Степаненко С. П., Швидя В. О., Лісецький В. О. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентилявання, охолодження): монографія. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2017. 552 с.
15. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И.Блехман, Г.Ю.Джанелидзе. –М.: Наука, 1964. –410 с.
16. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В.Гортинский, А.Б.Демский, М.А., Борискин. –2-е изд., перераб. и доп. –М.: Колос, 1980. –304с.
17. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах / П. М. Заика. - К. : Изд-во УСХА, 1998. - 625 с.
18. Потураев В.Н. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов / Потураев В.Н. – К.: Наукова думка, 1989.– 248с.
19. Калініченко Р.А. Дослідження впливу низхідного повітряного потоку на поєднані процеси ІЧ-термообробки і переміщення зернових матеріалів на вібротранспортері /Р.А.Калініченко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. –2017. –№262. – С.56–66.

20. Степаненко С.П. Підвищення ефективності вібропневматичних сепараторів зерна: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Степаненко С.П.; УААН, ННЦ "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства". - Глеваха, 2008. - 20 с.
21. Губанов А.А. О результатах экспериментального изучения коэффициента динамического трения семян зерновых культур /А.А.Губанов, В.И.Калинин, В.С.Ромалийский, А.С.Абдрахманов // НТБ ВИМ, 1976, вып.30. –С.48-51.
22. Котов Б.І. Експериментальні дослідження вібропереміщення зерна за високоінтенсивної термообробки/Б.І.Котов, С.П.Степаненко, Р.А.Калініченко //Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. – 2020. - Вип. №12 (111). / [ННЦ“ІМЕСГ”]. – Глеваха, 2020. С.67-77.
23. Калініченко Р.А. Формування швидкісного режиму вібропереміщення зерна в процесах термообробки/ Р.А.Калініченко, С.П.Степаненко, Б.І.Котов/ ЦНТУ-2020.-Вип.50,Кіровоград, 2020.С.88-96.
24. Щербина О. М. Енергія для всіх : техн. довід. з енергоощад. та відновних джерел енергії / Олександр Щербина. – Вид. 4-е, доп. і перероб. –Ужгород: Вид-во Валерія Падяка, 2007. – 336 с.
25. Кюрчев В.М. Альтернативне паливо для енергетики АПК : посібн. / Кюрчев В.М., Дідур В.А, Грачова Л.І. ; за ред. В.А. Дідура. – К. : Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
26. Дубровін В.О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні / В.О. Дубровін // Аграрна наука і освіта.- 2004. –Т.5. –№ 1-2.– С.86-91.
27. Калініченко Р.А., Войтюк В.Д. Енергоефективні режими роботи машин для високоінтенсивної термообробки зернових матеріалів:

Монографія. / Р.А. Калініченко, В.Д. Войтюк . – Ніжин: НДУ імені М. Гоголя. 2017. – 260 с.

28. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України: монографія. Мелітополь: Люкс. 2012. 260 с.
29. Храпач Є.І., Кузьменко В.Ф. Обґрунтування способу завантаження силосо-сінажних сховищ траншейного типу. – Вісник с.-г. науки, 1984, № 5. – с. 74-77.
30. Кирпа Н. Я. Теплові технології і перспективи енергозбереження в зерновому господарстві. Сучасні енергоощадні теплові технології (сушіння і тепловологісна обробка матеріалів) СЕТТ-2008. Праці конференції. Т.1. С. 381-387.
31. Матківська І. Я., Атаманюк В. М., Барна І. Р. Кінетика сушіння зерна пшениці фільтраційним методом. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2014. № 17. С. 130-138
32. *Інструкція* щодо технології зберігання зерна у зерносховищах із застосуванням полімерних зернових рукавів. - К.: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2011. — 8 с.
33. Котов Б.І., Степаненко С.П., Калініченко Р.А. Концептуальні основи створення технічних засобів первинної обробки зерна в умовах господарств АПК Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 47. ч.1 – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 105-114.
34. Калініченко Р.А., Степаненко С.П., Швидя В.О., Котов Б.І. Математична модель процесу сушіння з перехресним рухом зерна і сушильного агента при його секційному вводі. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.

- Петра Василенка”. Випуск 199. – Харків: ХНТУСГ. – 2019. – С. 75-83.
35. Котов Б.І., Калініченко Р.А., Степаненко С.П. Використання вихрових (закручених) потоків для інтенсифікації очищення і термообробки зерна. Національний університет біоресурсів і природокористування України ВП НУБІП України «Ніжинський агротехнічний інститут». Збірник наукових-праць «Перспективи та шляхи розвитку аграрної науки в Україні». Випуск №13. - Ніжин, 2020. – С. 218-229.
36. Калініченко Р.А., Степаненко С.П., Котов Б.І. Формування швидкісного режиму вібропереміщення зерна в процесах термообробки Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 50. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – С. 88-96. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.88-96>
37. B. Kotov, R. Kalinichenko, S. Stepanenko, V. Hryshchenko, Yu. Pantsyr, I. Herasymchuk. Моделювання процесу сушіння зерна в бункерних сушарках з використанням геліоколекторів. Енергетика і автоматика. [S.l.], n. 3, p. 38-49, сер. НУБіП України. 2022. ISSN 2223-0858. с. 38-49. Доступно за адресою: <<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/16178>>
38. Елеваторна промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : наук.-допом. бібліогр. показч. / [упоряд. Т. П. Фесун] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2021. – 180 с.
39. Кюрчев, С. В. Особенности хранения зерновых запасов / С. В. Кюрчев, В. А. Верховланцева // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – Т. 3, вип. 15,– С. 189–194.

40. Кирпа, Н. Хранение без потерь и ухудшения качества / Н. Кирпа // Зерно. – 2011. – № 6. – С. 120–124.
41. Вимоги до зерносховищ і особливості їх використання / М. Гузь и др. // Agroexpert: практ. посіб. аграрія. – 2017. – № 7. – С. 58–61.
42. Верхованцева, В. А. Обоснование параметров зернохранилища [Електронний ресурс] / В. А. Верхованцева // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2012. – Т. 3, вип. 12, – С. 185–189.
43. Кюрчев, С. В. Разработка рекомендации по хранению пшеницы в зернохранилище [Електронний ресурс] / С. В. Кюрчев, В. А. Верхованцева // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. – 2017. – Т. 3, вип. 17. – С. 166–173.
44. Незвичайна, але доволі економічна технологія зберігання зерна в гнучких поліетиленових рукавах // Зерно і хліб. – 2010. – № 1 (57). – С. 32–33.
45. Середняк, Д. П. Типи зерносховищ та шкідники хлібних запасів / Д. П. Середняк, В. П. Федоренко // Карантин і захист рослин : наукововиробничий журнал. – 2015. – № 2. – С. 1–3.
46. Станкевич, Г. Типи зерносховищ / Г. Станкевич // FARMER: партнер сучасного фермера. – 2010. – № 5. – С. 11–15.
47. Степаненко, С. Власне зерносховище / С. Степаненко, А. Прилуцький // The ukrainian Farmer. – 2011. – № 3. – С. 26–27.
48. Чурсінов, Ю. О. Рекомендації до вибору зерносховищ підприємствами різноманітних форм / Ю. О. Чурсінов, В. Л. Каніболоцький // Хранение и переработка зерна. – 2009. – № 9 (123). – С. 29–31.

49. Обладнання складів. Зберігання зерна і зернопродуктів : навч. посібник / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, О. Г. Скляр, С. В. Кюрчев, С. Ф. Буденко, В. О. Верхоланцева, Н. О. Паляничка, Л. М. Кюрчева, В. Г. Циб; Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь : Вид. будинок Мелітоп. міськ. друк., 2018. – 293 с.
50. Занько, М. Підлогова технологія зберігання зерна / М. Занько // Аграрна техніка та обладнання – 2016. – № 3. – С. 60–71.
51. Кравчук, В. Підлогова технологія зберігання зерна: сучасні технічні рішення та особливості її реалізації / В. Кравчук, М. Занько // Техніка і технології АПК . – 2016. – № 1. – С. 6–15.
52. Савенко, І. І. Формування зерновими складами ринку послуг із зберігання зерна / І. І. Савенко // Зернові продукти і комбікорми. – 2009. – № 2 (34). – С. 9–13.
53. Станкевич, Г. Н. Современное состояние рынка зернохранилищ / Г. Н. Станкевич // Зернові продукти і комбікорми. – 2010. – № 3 (39). – С. 34–40.
54. Бахвалов, А. А. Разработка математических моделей технологических схем зерновых элеваторов для исследования их работы : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Бахвалов Алексей Андреевич ; Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова. – Одесса, 1975. – 26 с.
55. Исследование формирования зерновой насыпи из автомобильных партий в металлических силосах большой вместимости / Г. Н. Станкевич, Л. Ф. Будюк, В. Н. Шпак, А. С. Улызько // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій – Одеса : ОНАХТ, 2008. – Т. 1, вип. 34. – С. 107–112.
56. Кирпа, М. Я. Зберігання зерна в металевих сховищах / М. Я. Кирпа // Вісник Дніпропетровського державного аграрного

- університету. Екологія, рослинництво, землеробство: науково-теоретичний, науково-практичний журнал. – 2008. – № 1. – С. 23–26.
57. О важности хранения зерна – Bentall Rowlands Storage Systems Limited // Хранение и переработка зерна. – 2016. – № 12 (208). – С. 9–10.
58. Овсянникова, Л. К. Аналіз конструкції металевих силосів на провідних підприємствах зернозберігаючої галузі [Електронний ресурс] / Л. К. Овсянникова, О. Г. Соколовська, С. С. Орлова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2012. – Вип. 42 (1). – С. 320–325.
59. Острогляд, А. А. Технологічні прийоми зберігання зерна та їхні особливості / А. А. Острогляд, Т. П. Чернишук, В. С. Кошулько // Хранение и переработка зерна. – 2016. – № 12 (208). – С. 42–43.
60. Постельга, К. На шляху створення ефективного обладнання для зберігання зерна / К. Постельга, В. Сліпенька // Техніка і технології АПК : наук.-вироб. журн. – 2018. – № 10-11. – С. 22–27.
61. Станкевич, Г. М. Дослідження формування шарів зернового насипу в металевих силосах великої ємності [Електронний ресурс] / Г. М. Станкевич, Л. Ф. Будюк, В. М. Шпак // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – Вип. 36(1). – С. 101–103.
62. Елеваторна і зернопереробна галузі: Ефективні технології та якість : монографія / за ред. Г. М. Станкевича, Д. О. Жигунова, М. Р. Мардар. – Одеса : Одес. міськ. друк., 2018. – 224 с.
63. Станкевич, Г. М. Післязбиральна обробка та зберігання насіння гірчиці : монографія / Г. М. Станкевич, Л. К. Овсянникова, В. О. Черній. – Одеса : Букаєв В. В., 2015. – 134 с.

64. Валентюк, Н. О. Удосконалення технології післязбиральної обробки та зберігання зерна амаранту : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.02 / Валентюк Наталія Олександрівна ; Одеська національна академія харчових технологій – Одеса, 2019. – 23 с.
65. Гапонюк, І. І. Науково-технічні основи високопродуктивних інноваційних технологій післязбиральної обробки зерна : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.02 / Гапонюк Ігор Іванович ; Національний університет харчових технологій – Київ, 2012. – 37 с.
66. Люлько, Ю. Б. Удосконалення транспортно-технологічних ліній елеваторів та хлібоприймальних підприємств : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.18.01 / Люлько Юрій Борисович ; Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса 2008. – 20 с.
67. Застосування ступінчатих режимів при сушінні насіння пшениці / Ю. Ф. Снежкін, В. М. Пазюк, К. М. Самойленко, О. Д. Пазюк // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2015. – Т. 2, вип. 47. – С. 26–29.

Наукове видання

СТЕПАНЕНКО С.П., КАЛІНІЧЕНКО Р.А., КОТОВ Б.І.

**РЕСУРСО-ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ КОНСЕРВУВАННЯ
ТА ОБРОБКИ ВОЛОГОГО ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

Монографія

Видання друкується за авторським редагуванням

Підписано до друку 20.10.2023 р. Формат 60x84/16 Папір офсетний. Гарнітура Times Ум. друк арк.

7,44 Обл. вид. арк. 5,54

Тираж 300 прим. Зам № 2167

Видавець і виготівник ФОП Лисенко М.М.

16600 м. Ніжин, Черніговської області, вул. Шевченка, 20

Тел. (067) 4412124

E-mail: vidavec.lisenko@gmail.com

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 2776 від 26.02.2007 р.