

**Полевода Ю. А.**

к.т.н., доцент

Ревва В. Ю.

аспірант

Твердохліб І.В.

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Polievoda Y.**Ph.D of Engineering, Associate
Professor**Revva V.**

postgraduate

Tverdokhlib I.Ph.D of Engineering, Associate
Professor**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 636.085.55****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-1-10**

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ МІКРОНІЗАЦІЇ ЗЕРНА

Ефективними засобами зменшення втрат зернової продукції є його переробка та доведення до кондиційної вологості шляхом термічної обробки. Один з цих способів - мікронізація зерна, що дозволяє скоротити непродуктивні витрати енергії, підвищити якість готового продукту та є найбільш перспективним способом термічної обробки зерна в харчовій галузі. Метою даного дослідження є збільшення енергетичної та якісної ефективності процесу мікронізації зерна шляхом вивчення особливостей протікання його в різних технологічних умовах. Проведений аналіз джерел присвячених питанню мікронізації зерна показує, що основним напрямком досліджень є обґрунтування параметрів процесу та розробка нових технологічних прийомів. Для успішного ведення досліджень в цьому напрямку потрібно розуміти всі особливості елементів даної системи (установка і зерно), що виникають під час реалізації процесу мікронізації. Характер взаємодії матеріалу та ІЧ випромінювання значною мірою залежить від оптичних характеристик зерна. Оптичні властивості матеріалів зазвичай характеризуються їх пропускнуою, поглинальною та відбивною спроможністю. Оптичні характеристики матеріалів залежить від цілого ряду факторів, таких як структура, вологість, температура процесу тощо. Особливо відрізняються властивості склоподібного та борошністого зерна. Вплив структури зерен особливо впливає на коефіцієнти відбиття променевої енергії. Так для однакової довжини хвиль 0,9-1,3 мкм і вологості 5-30% для борошністих зерен пшениці він дорівнює 0,68-0,73 тоді, як для скловидних зерен він має величину 0,48-0,54. Не може бути універсального підходу для визначення раціональних параметрів процесу мікронізації зерна. В кожному випадку мають існувати конкретні підходи для визначення раціональних параметрів процесу. Це дозволить значно підвищити енергетичну та якісну ефективність процесу переробки зерна.

Ключові слова: зерно, мікронізація, властивості матеріалу, волога, експозиція опромінення, тепло- і масообмін.

Вступ. Однією з глобальних проблем, навіть можна сказати небезпек людства, є дефіцит продуктів харчування. Адже чисельність народонаселення наразі становить приблизно 8 мільярдів людей. За самими скромними підрахунками більше 11% населення землі постійно не доїдають. Тут навіть не йде мова про раціональний підхід до харчування. Глобальну харчову проблему людства можна вирішити лише за рахунок збільшення кількості та якості рослинних продуктів харчування. Адже не зважаючи на те,

що площа, яку використовують під потреби рослинництва, в 4 рази менша за площу, яка використовується для потреб тваринництва, саме рослинна їжа забезпечує 83% потрібних калорій та 67% білка в харчуванні людства.

Серед основних культур, які забезпечують існування людства, особливе місце займають саме зернові культури. Адже вони мають найбільший обсяг виробництва. Так, за останнє десятиріччя середнє річне виробництво основних культур становило:



пшениця – 445 млн т, рис – 400 млн т, кукурудза – 392 млн т, ячмінь – 162 млн т [1].

Постановка проблеми. Аграрне виробництво має свої особливості, однією з головних є сезонність. Саме це обумовлює обмежені терміни їх переробки, тому що зберігати продукцію свіжою вкрай складно.

Причин втрат зернової продукції дуже багато, серед них можна відмітити агротехнічні, технологічні, технічні тощо. Ефективними засобами зменшення втрат зернової продукції є його переробка та доведення до кондиційної вологості. Практично всі ці заходи пов'язані з термічною дією на зерно.

Авторами вже було розглянуто питання методів термічної обробки зерна [2]. Зокрема, було відмічено, що спосіб мікронізації зерна дозволяє скоротити непродуктивні витрати енергії, підвищити якість готового продукту, його можна вважати найбільш перспективним для термічної обробки зерна в харчовій галузі.

Спосіб обробки зерна мікронізацією є відносно новим в порівнянні з традиційними конвективним та кондуктивним способами та їх модернізаціями. В зв'язку з цим існують ще не вивчені питання мікронізації зерна в конструктивному і технологічному сенсі. Для збільшення ефективності реалізації технології мікронізації зерна потрібно знати особливості протікання цього процесу. Це і є завданням даної роботи.

Мета дослідження. Метою дослідження є збільшення енергетичної та якісної ефективності процесу мікронізації зерна шляхом вивчення особливостей протікання його в різних технологічних умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вибір способів та засобів обробки зерна мікронізацією залежить від декількох факторів. Перш за все, це вид початкового та кінцевого продукту, об'єм виробництва, часові та логістичні вимоги тощо. Ці та деякі інші фактори обумовлюють напрямок наукового дослідження.

Більшість технологічних ліній по виробництву мікронізованої зернової продукції мають певний набір обладнання, типовий приклад такої технологічної схеми представлений на рис. 1 [3].

Реальний склад технологічної лінії по переробці зерна шляхом мікронізації залежить від конкретних умов виробництва. В більшості випадків наукові дослідження в цій галузі стосуються окремих компонентів технологічних ліній.

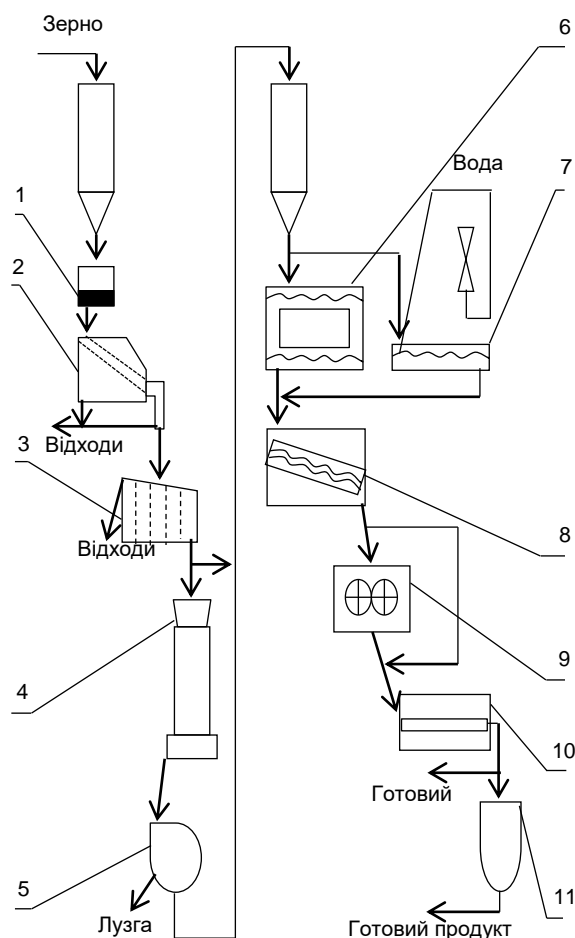
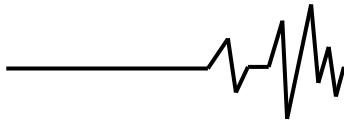


Рис. 1 Типова технологічна схема виробництва зернової мікронізованої продукції: 1 – магнітний захист; 2 – зерноочисний сепаратор; 3 – каменевідбірник; 4 – лушильна машина; 5 – повітряний сепаратор; 6 – пропарювач; 7 – зволожувальна машина; 8 – мікронізатор; 9 – пліюльний верстат; 10 – охолоджувальна колонка горизонтального типу; 11 – дробарка

Так, в [4] розглядається приклад сумісного використання двох способів сушіння – конвекції і радіаційного опромінення. Для підвищення ефективності процесу сушіння застосовується вібраційна дія на шар матеріалу. Дана дія викликає перетворення суцільного шару матеріалу у квазікиплячий шар, що підвищує порозність матеріалу, і відповідно, коефіцієнт теплообміну процесу. Потрібно звернути особливу увагу саме на такий спосіб підвищення ефективності процесу сушіння – органічне суміщення різних технологічних прийомів сушіння.

Також позитивний енергетичний ефект дає суміщення двох або більше технологічних процесів, як, наприклад, в [5]. В даному прикладі реалізовано суміщення в часі та просторі двох



технологічних процесів – сушіння та подрібнення зернового матеріалу. Зазвичай ці технологічні процеси рознесені перш за все в часі. Дане поєднання дозволяє значно поліпшити енергетичні і відповідно, економічні показники всієї технології.

Звичайно, і теоретичним дослідженням в сфері мікронізації зерна відводиться вагоме місце. Наприклад, в роботах [6, 7] представлені теоретичні дослідження процесу мікронізації зерна в різних технологічних умовах. В роботі [6] досліджувався процес мікронізації зі зміною потужності джерел випромінювання з метою вибору раціональних конструктивних та технологічних параметрів. В роботі [7] проведено теоретичне обґрунтування раціональних конструктивних технологічних параметрів установок для мікронізації зерна.

Різні конструктивні варіанти виконання установок для реалізації процесу мікронізації зерна представлені в роботах [8, 9]. Потрібно звернути особливу увагу на роботу [9] в якій описувався процес опромінення зерна, а в якості чинника який інтенсифікує процес була запропонована вібраційна дія на шар матеріалу.

При огляді результатів досліджень по мікронізації зерна потрібно відмітити доволі розповсюджені випадки інтенсифікації основного процесу вібраційним збудженням матеріалу. Це дозволяє збільшити порозність матеріалу, площу окремої зернини доступну для активного опромінення. У випадку поєднання процесу мікронізації з конвективним сушінням ефект від застосування вібраційної дії збільшується.

Проведений аналіз джерел присвячених питанню мікронізації зерна показує, що основним напрямком досліджень є обґрунтування параметрів процесу та розробка нових технологічних прийомів. Для успішного ведення досліджень в цьому напрямку потрібно розуміти всі особливості елементів даної системи (установка і зерно), що виникають під час реалізації процесу мікронізації.

Саме висвітленню цих особливостей процесу мікронізації зерна і присвячена дана робота.

Основні результати досліджень. Викладання основного матеріалу даної роботи доцільно почати з визначення самого поняття мікронізації, і чим воно відрізняється від інфрачервоного (ІЧ) опромінення. Автори вже висвітлювали дані питання в [2], але тут ми коротко пояснимо суть проблеми.

Власне, сама ІЧ обробка зерна проводиться при тривалості процесу до 5 хвилин при помірних параметрах опромінення. Мікронізація — це також нагрів матеріалу ІЧ променями, але при більш «жорстких» параметрах (тривалість 35-60 с, температура може досягати до 190°C). В результаті такого

інтенсивного нагріву зв'язана в зерні вода переходить в квазіпароподібний стан. При цьому стрімко зростає внутрішній тиск в зерні, воно вспучується і пластифікується. Завдяки такій інтенсивній обробці істотно змінюються практично всі характеристики зерна, в тому числі і його харчова цінність [10].

Метою кожного дослідження технологічного процесу, в тому числі процесу мікронізації зерна, є підвищення ефективності процесу. Вирішення цієї проблеми залежить від багатьох факторів, зокрема потрібно мати відомості про фізико-механічні і теплофізичні характеристики зерна від яких залежить особливості його взаємодії з ІЧ променями, закономірності їх поглинання та зміни властивостей зерна у відповідь на опромінення. В такому випадку ця взаємодія має підвищену складність, адже зерно — це живий організм, який має особливу структуру і складні мікроструктури його анатомічних частин.

Особливості процесу мікронізації зерна достатньо характерно проявляються на зерні пшениці — найбільш розповсюдженій зерновій культури. Але ці особливості мікронізації пшениці корелюють і з іншими зерновими культурами. Потрібно також зважати що у пшениці різних сортів склад елементів зерна (вирішальну роль відіграє характер зв'язку гранул крохмалю з білками) безпосередньо впливає на мікроструктуру і властивості матеріалу. Зокрема, розподіл гранул крохмалю за розміром і кількістю істотно впливають на оптичні властивості зерна і, відповідно, на характер його взаємодії з ІЧ променями в процесі мікронізації. Оптичні властивості матеріалів зазвичай характеризуються їх пропускною, поглинальною та відбивною спроможністю.

Розглянемо баланс енергії при взаємодії ІЧ потоку та зерна. При довірливих умовах опромінення поверхні тіла потоком випромінювання згідно закону збереження енергії буде виконуватися співвідношення:

$$F_n = F_a + F_r + F_t \quad (1)$$

де, F_n – потік випромінювання за одиницю часу на одиницю площі поверхні тіла;

F_a – поглинальна енергія;

F_r – відбивна енергія;

F_t – пропускна енергія.

Поділивши обидві частини рівняння (1) на F_n його можна представити у вигляді:

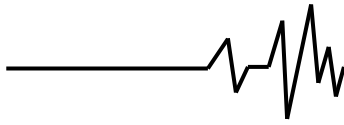
$$a + r + t = 1 \quad (2)$$

$a = \frac{F_a}{F_n}$ – поглинальна здатність тіла;

$r = \frac{F_r}{F_n}$ – відбивна здатність тіла;

$t = \frac{F_t}{F_n}$ – пропускна здатність тіла.

Різні колоїдно-капілярно-пористі тіла, до яких відноситься зерно, мають чітку селективність до



поглинання ІЧ променів в цьому діапазоні спектру [10, 11]. Тому джерела випромінювання повинні відповідати оптичним характеристикам даного матеріалу. Також ці характеристики впливають на конструктивні особливості та енергетичні параметри обладнання для мікронізації.

Поглинання енергії визначається резонансним поглинанням випромінювання молекулами сухої речовини тіла і молекулами зв'язаної води.

В загальному вигляді зв'язок між інтенсивністю випромінювання, що діє на поверхню тіла I_0 та інтенсивністю потоку випромінювання на глибині x матеріалу визначається законом Бугера-Ламберта-Бара [12]:

$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (3)$$

де, I - інтенсивність випромінювання на глибині матеріалу;

I_0 - інтенсивність випромінювання на поверхні;

α - показник (коефіцієнт) поглинання.

Коефіцієнт поглинання об'єктів мікронізації залежить від декількох факторів, а саме: структури матеріалу, наявності крохмалю, вологості тощо. Спектри пропускання або спектри відбивання потоку випромінювання як вологих, так і сухих матеріалів, подібні між собою, і в якісному, і в кількісному відношенні. Спільним для всіх тіл є наявність досить значного поглинання в діапазоні довжини хвиль 0,4-0,6 мкм та 1,2- 2,0 мкм [12]. При цьому великий вплив на ці показники має вологість матеріалу. Але ще більше значення має суха речовина, її хімічні якості та особливості структури матеріалу.

Пропускання ІЧ променів цими матеріалами спостерігається також у діапазоні випромінювання до 2,5 мкм при товщині шару матеріалу близько 1 мм в інтервалі довжини хвилі до 1,75 мкм при товщині шару близько 3 мм. При збільшенні довжини хвилі в діапазоні 2,5-15,0 мкм для всіх продуктів у вологому їх стані пропускання не спостерігається, навіть при зменшенні товщини шару матеріалу до 1 мм.

Основний вплив на оптичні властивості зерна надають властивості його ендосперму, що зумовлено особливостями його мікроструктури. Борошністий ендосперм має сильну розсіваючу дію і практично не поглинає випромінювання. Його оптичні властивості близькі до оптичних властивостей чистого крохмалю, оскільки особливості його мікроструктури визначаються саме гранулометричною характеристикою крохмалистих гранул, білок в цьому відіграє другорядну роль.

Оболонки зерна з точки зору оптичних властивостей ведуть себе аналогічно. Вони також практично не поглинають

випромінювання, а інтенсивно його розсіюють. Це також пов'язано з особливостями їхньої мікроструктури. Оболонки сформовані з декількох шарів пустотілих клітин, що обумовлює ефект розсіювання випромінювання. Склоподібний ендосперм зерна пшениці істотно відрізняється за оптичними властивостями від борошністого ендосперму, тому що володіє щільною структурою, крохмальні гранули в ньому завантажені в білкові матриці, з якими вони становлять єдине ціле.

Існує також різниця в оптичних властивостях тканини зерна різних культур [11]. В діапазоні довжини хвиль 1,8-3,0 мкм оболонки зерна кукурудзи і пшениці пропускають 30-60% променів, в той час як оболонки жита і вівсу — тільки 10-18%. В діапазоні довжини хвиль 1,4-3,0 мкм глибина проникнення ІЧ променів в зерно пшениці становить 1,5-2,0 мкм і при збільшенні товщини шару швидко зменшується.

Таким чином, складна структура зерна пшениці і особливості мікроструктури його ендосперму визначають суттєві відмінності в оптичних властивостях. Борошністий ендосперм значно розсіює і практично не поглинає променевого випромінювання.

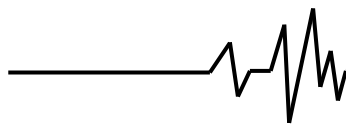
Оболонки зерна пшениці практично не спроможні поглинати випромінювання, але мають значну здатність до розсіювання випромінювання. У них коефіцієнт ефективного послаблення променевого потоку має значення в 7-10 разів менше ніж у ендосперму. Все це обумовлено суттєвою різницею структури частин зерна.

Зерно пшениці, кукурудзи та більшості інших культур за своєю структурою є колоїдні капілярно-пористі тіла. Їх потрібно розглядати як тіло, що складається з кількох компонентів, властивості яких можуть значно відрізнятися між собою та від простих по складу тіл. Окрім того, зерно є живим організмом, тому процеси які протікають в ньому при взаємодії з навколишнім середовищем регулюються біологічною системою зерна.

Всі ці властивості та особливості необхідно враховувати при розробці різних технологічних операцій, раціональних режимів, для забезпечення їх максимальної ефективності. В повній мірі це відноситься і до процесу мікронізації зерна, його обробки спрямованим потоком променевої енергії.

Для опису процесів розповсюдження та ослаблення випромінювання в зерні (як і в інших подібних об'єктах) потрібно знати значення коефіцієнта поглинання K_γ і коефіцієнта розсіювання S_γ . Їх поєднання дає так званий критерій Шустера [13]:

$$\gamma = - \frac{S_\gamma}{K_\gamma + S_\gamma} \quad (4)$$



Ці коефіцієнти характеризують оптичні властивості елементарного шару матеріалу, γ_x в напрямку потоку променевої енергії.

Для таких матеріалів як зерно, борошно, крохмаль, хлібобулочні вироби в робочій зоні інфрачервоного спектра від 0,7 до 2,5 мкм довжини хвилі величина критерія Шустера дорівнює $\gamma_x > 0,9$, а $S_\gamma \gg K_\gamma$. При зміні величини коефіцієнта розсіювання S_γ навіть на 20% відхилення значень критерія Шустера від початкового не перевищують 1%.

Тому при практичному вирішенні задач мікронізації різних зернових продуктів можна знехтувати зміною величини критерія Шустера і використовувати його усереднену величину.

Для врахування різних особливостей конкретного протікання процесу мікронізації використовують також закон Бургера [13]:

$$B_\gamma(I) = B_\gamma(o) \exp(-k\gamma I) \quad (5)$$

де $B_\gamma(o)$ і $B_\gamma(I)$ - інтенсивність потоку випромінювання, відповідно який попав на поверхню шару матеріалу та пройшов через шар матеріалу;

I - товщина шару матеріалу.

Експерименти показують що при опроміненні зерна закон Бургера виконується з достатнім ступенем точності [10, 13]. Тому він використовується при вирішенні інженерних задач по мікронізації зерна.

Пропускна здатність матеріалу T_γ визначається співвідношенням:

$$T_\gamma = \frac{B_\gamma(I)}{B_\gamma(o)} = \exp(-k\gamma I) \quad (6)$$

В існуючих конструкціях мікронізаторів відбувається одностороннє опромінення зерна дифузним променевим потоком.

В цьому випадку оптичні характеристики процесу залежить від товщини шару матеріалу. При збільшенні товщини шару пропускна здатність його зменшується, а відбиваюча збільшується.

Дослідження проведені по визначенню терморадіаційних характеристик зерна свідчать, що в певному діапазоні довжини хвиль (0,9-1,3 мкм) і вологості (5-30%) вони мало змінюються, і для інженерних розрахунків їх можна приймати за постійну величину [13, 14].

Однак, структура зерен значно впливає на їх терморадіаційні характеристики. Так, в тих же зонах довжини хвилі та вологості коефіцієнт відбиття енергії для борошнистих зерен пшениці дорівнює 0,68-0,73, в той час як для скловидних зерен він має величину 0,48-0,54.

При тих же умовах максимальна проникна здатність для борошнистих зерен дорівнює 0,02-0,03, а для скловидних – 0,11-0,12.

Проведений аналіз експериментальних досліджень по мікронізації зерна показує

наскільки різноманітні оптичні властивості вони мають. Ці властивості залежить від виду, сорту, вологості зерна та деяких інших факторів.

Сказане означає, що не може бути універсального підходу для визначення раціональних параметрів процесу мікронізації зерна. В кожному випадку мають існувати конкретні підходи для визначення раціональних параметрів процесу. Це дозволить значно підвищити енергетичну та якісну ефективність процесу переробки зерна.

Висновки:

1. Для розробки ефективного варіанту обробки зерна способом мікронізації потрібно мати відомості про його оптичні властивості, особливості взаємодії з інфрачервоним випромінюванням.

2. Оптичні характеристики матеріалів залежить від цілого ряду факторів, таких як структура, вологість, температура процесу тощо. Особливо відрізняються властивості склоподібного та борошнистого зерна.

3. Вплив структури зерен особливо впливає на коефіцієнти відбиття променевої енергії. Так для однакової довжини хвиль 0,9-1,3 мкм і вологості 5-30% для борошнистих зерен пшениці він дорівнює 0,68-0,73 тоді, як для скловидних зерен він має величину 0,48-0,54.

Список використаних джерел

1. Подпрятков Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: Підручник. К.: Аграрна освіта, 2014. 393 с.
2. Полевода Ю.А., Ревва В.Ю., Попов І.І. Методи термічної обробки зерна. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 2 (105). с.122-129.
3. 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 вентильовання, охолодження). *Монографія*: Ніжин. Видавець ПП Носенко Н.Н. 2017. 552 с.
4. Калініченко Р.А., Солоня О.В., Твердохліб І.В. Дослідження радіаційно-конвективної термообробки зерна у віброкиплячому шарі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 2 (58). С. 95-98.
5. Солоня В.О., Котов Б.І., Спірін А.В., Калініченко Р.А. Обґрунтування параметрів поєднаних процесів мікронізації і подрібнення із застосуванням вібраційних технологій при переробці зерна на корм. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. № 3 (83). С.213-218.
6. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Присяжнюк Д. В., Полевода Ю. А. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки



для післязбиральної обробки зерна. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2016. № 6. Т. 22. С. 151-156.

7. Ємчик В. В., Полевода Ю. А., Рєва В. Ю. Обґрунтування конструктивної схеми установки для обробки зернистого матеріалу інфрачервоним випромінюванням. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С. 43-52.

8. Полевода Ю. А. Патент на корисну модель. Інфрачервона вібросушарка. № 136236. Публікація відомостей 12.08.2019. Бюл. № 15.

9. Bandura V., Kalinichenko R., Kotov B., Spirin A. Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with IR-energy supply. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4. № 8 (94), 50-58.

10. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. № 1. P. 20-24.

11. Kotov B., Spirin A., Tverdokhlib I., Polievoda Y. Theoretical researches on cooling process regularity of the grain material in the layer. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018, Vol. 54. № 1. P. 87-94.

12. Paziuk V., Petrova Z., Tokarchuk O., Polievoda Y. Special aspects of soybean drying with high seedling vigor. *Scientific bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 2021. Vol. 83. Iss. 2. P. 327-336.

13. Hanieh Sajjadi, Seyed Hadi Ebrahimi, Seyed Alireza Vakili, Abbas Rohani, Mahmood Reza Golzarian, Vahideh Heidarian Miri. Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review. *Animal Feed Science and Technology*. Volume 287. May 2022. 115285.

14. Sitong Lai., Zhenjia Chen., Yanqing Zhang., Guang Li., Yuanmeng Wang., Qingliang Cui. Micronization Effects on Structural, Functional, and Antioxidant Properties of Wheat Bran. *MDPI. Foods*. Vol.12. Issue 1 (2023).

References

1. Podpriatov, H. I., Rozhko, V. I., Skaletska, L. F. (2014). Tekhnolohiia zberihannya ta pererobky produktii roslynnytstva. [Technology of storage and processing of crop products]. *Pidruchnyk. Aharna osvita*. P. 393. [in Ukrainian].

2. Polievoda, Y.A., Revva, V.Y., Popov, I.I. (2022). Metody termichnoyi obrobky zerna. [Methods of heat treatment of grain]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. Vol. № 2 (105). P.122-129. [in Ukrainian].

3. Kotov, B.I., Kalinichenko, R.A., Stepanenko, S.P., Shvydya, V.O., Lisets'kyi, V.O. (2017). Modelyuvannya tekhnolohichnykh protsesiv v typovykh ob'ektakh pislyazbyral'noyi obrobky i zberihannya zerna (separatsiya, sushynnya, aktyvne ventilyuvannya, okholodzhennya). [Modeling of technological processes in typical facilities of post-harvest processing and grain storage (separation, drying, active ventilation, cooling)]. *Monohrafiya*. P. 552 [in Ukrainian].

4. Kalinichenko, R.A., Solona, O.V., Tverdokhlib, I.V. (2017). Doslidzhennya radiatsiynokonvektyvnoyi termoobrobky zerna u vibrokyplyachomu shari. [Study of radiative-convective heat treatment of grain in a vibrating fluidized bed]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. Vol. № 2 (58). P. 95-98. [in Ukrainian].

5. Solona, V.O., Kotov, B.I., Spirin, A.V., Kalinichenko, R.A. (2016). Obgruntuvannya parametriv poyednanykh protsesiv mikronizatsiyi i podribnennya iz zastosuvannam vibratsiynykh tekhnolohiy pry pererobtsi zerna na korm. [Justification of the parameters of the combined processes of micronization and grinding with the use of vibration technologies in the processing of grain into fodder]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. Vol. № 3 (83). P. 213-218. [in Ukrainian].

6. Palamarchuk, I. P., Tsurkan, O. V., Prysazhnyuk, D. V., Polievoda, Y.A. (2016). Obgruntuvannya skhemy vibroozonuyuchoyi susharki dlya pislyazbyral'noyi obrobky zerna. [Rationale for the vibro-ozonation dryer scheme for post-harvest grain processing]. *Naukovi pratsi Natsional'noho universytetu kharchovykh tekhnolohiy*. № 6. Т. 22. P. 151–156. [in Ukrainian].

7. Yemchuk, V. V., Polievoda, Y.A., Revva, V. Y. (2022). Obgruntuvannya konstruktyvnoyi skhemy ustanovky dlya obrobky zernystoho materialu infrachervonym vyprominyuvannam. [Rationale of the structural scheme of the installation for processing granular material with infrared radiation]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 3 (118). P. 43–52. [in Ukrainian].

8. Polievoda, Y. A. (2019). Patent na korysnu model'. Infrachervona vibrosusharka. [Infrared vibrating dryer]. № 136236. Publikatsiya vidomostey 12.08. Byul. № 15. [in Ukrainian].

9. Bandura, V., Kalinichenko, R., Kotov, B., Spirin, A. (2018). Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with IR-energy supply. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4, № 8 (94). P. 50-58. [in English].

10. Kotov, B., Spirin, A., Kalinichenko, R., Bandura, V., Polievoda, Y., Tverdokhlib, I. (2019). Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation.



Research in Agricultural Engineering. Vol. 65. № 1. P. 20-24. [in English].

11. Kotov, B., Spirin, A., Tverdokhlib, I., Polievoda, Y. (2018). Theoretical researches on cooling process regularity of the grain material in the layer. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol. 54. № 1. P. 87-94. [in English].

12. Paziuk, V., Petrova, Z., Tokarchuk, O., Polievoda, Y. (2021). Special aspects of soybean drying with high seedling vigor. *Scientific bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. Vol. 83. Iss. 2. P. 327–336. [in English].

13. Hanieh Sajjadi, Seyed Hadi Ebrahimi, Seyed Alireza Vakili, Abbas Rohani, Mahmood Reza Golzarian, Vahideh Heidarian Miri. (2022). Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 287. 115285. [in English].

14. Sitong Lai., Zhenjia Chen., Yanqing Zhang., Guang Li., Yuanmeng Wang., Qingliang Cui. (2023). Micronization Effects on Structural, Functional, and Antioxidant Properties of Wheat Bran. *MDPI. Foods*. Vol.12. Issue 1. [in English].

FEATURES OF THE GRAIN MICRONIZATION PROCESS

Effective means of reducing the loss of grain products are its processing and bringing it to the condition humidity by means of heat treatment. One of these methods - micronization of grain allows to reduce non-productive energy consumption, improve the quality of the finished product, it can be considered the most promising for thermal processing of grain in the food industry. The purpose of this study is to increase the energy and quality efficiency of the grain micronization process

by studying the features of its flow in various technological conditions. The analysis of sources devoted to the issue of grain micronization shows that the main direction of research is the substantiation of process parameters and the development of new technological methods. To successfully conduct research in this direction, it is necessary to understand all the features of the elements of this system (installation and grain) that arise during the implementation of the micronization process. The nature of the interaction between the material and IR radiation largely depends on the optical characteristics of the grain. Optical properties of materials are usually characterized by their transmission, absorption and reflection capacity. The optical characteristics of materials depend on a number of factors, such as structure, humidity, process temperature, etc. The properties of vitreous and floury grains are particularly different. The effect of grain structure especially affects the reflection coefficients of radiant energy. So, for the same wavelength of 0,9-1,3 μm and moisture content of 5-30%, for floury wheat grains it is equal to 0,68-0,73, while for vitreous grains it has a value of 0,48-0,54. There cannot be a universal approach to determine the rational parameters of the grain micronization process. In each case, there must be specific approaches to determine the rational parameters of the process. This will significantly increase the energy and quality efficiency of the grain processing process.

Key words: grain, micronization, material properties, moisture, radiation exposure, heat and mass transfer.

Відомості про авторів

Полевода Юрій Алікович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vinyura36@gmail.com).

Ревва Віктор Юрійович – аспірант Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: Viktorreva1@gmail.com).

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com).

Yurii Polievoda – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna st., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: vinyura36@gmail.com).

Viktor Revva – postgraduate student of the Department Technological processes and the possession of food processing and food production of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna st., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: Viktorreva1@gmail.com).

Ihor Tverdokhlib – PhD of Engeneering Science, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com).