

УДК 664.723

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6818678>

Розподілення волого в середині зернової маси після збирання та під час сушіння

М.П. Кунденко¹, Є.О. Піх*Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна);
email: ¹ n.p.kundenko@ukr.net; ORCID: ¹ 0000-0002-5841-4367*

На разі одна із головних задач сільського господарства в Україні є збільшення об'ємів виробництва зерна. У зв'язку з цим, постає проблема створення необхідних умов для тривалого зберігання врожаю. Зерно з полів може надходити з різною ступеню вологості, а саме: сухе, з середньою вологістю, вологе та сире. Найбільш розповсюджений метод зберігання зернової маси – є зберігання її у сухому стані, це зумовлює необхідність наявності такого важливого технологічного процесу, як сушіння. Волога в зерні знаходиться на поверхні у капілярах та усередині клітини зерна. Ця волога відіграє дуже важливу роль у життєдіяльності зерна, проте надлишок цієї вологи призводить до інтенсифікації життєвих процесів. Волога у зернової масі розподілена нерівномірно, при середній вологості зерна 22% близько 10% мають вологість нижче 17%, а понад 20% вище 25%, також треба відзначити, що у зернині волога також розподіляється нерівномірно: найбільше її є в зародку, менше – в ендоспермі, а ще менше – в оболонках. Технології, які наразі застосовуються в Україні є досить малоефективні, енергоємні та не екологічні. Впровадження новітніх та економічних технологій є загальною метою сільського господарства України. Такими технологіями можуть стати методи непрямого впливу, наприклад, опромінення зернової маси електромагнітним полем у ВЧ та НВЧ діапазонні. Для впровадження непрямих методів потрібне повне розуміння їх вплив на об'єкт сушіння. Ці методи засновані на поглинанні електромагнітної енергії в діелектриках. Суха складова зерна не створює перешкод для проходження електромагнітних хвиль, в наслідок цього електромагнітні хвилі не поглинаються сухим зерном, а поглинаються тільки вологою, яка знаходиться у вологому зерні та в подальшому відбувається нагрів та просушка тільки вологого зерна. Якщо допустити помилки у розрахунку, то під час сушіння зерно може втратити свої біологічні властивості. У даній науковій роботі були проведені теоретичні дослідження розподілу вологи у зерні, для подальшого впровадження інноваційних методів післязбиральної обробки.

Ключові слова: зерно, сушка, волога, післязбиральна обробка, електромагнітне поле, методи, технології.

Постановка проблеми та її актуальність.

На сьогоднішній день одна із головних задач у сільському господарстві України є збільшення об'ємів виробництва зерна. У зв'язку з цим стає проблема створення необхідних умов для тривалого зберігання врожаю. Зерно – це один із найважливіших сільськогосподарських продуктів в Україні, яке в тій або іншій формі входить у раціон кожної людини. Якісне харчування на сьогоднішній день розглядається як фактор національної безпеки, на підставі цього наша країна з кожним роком нарощує виробництво зернової продукції, це нарощування вимагає впровадження ефективних та економічних технологій для зберігання великої кількості даного продукту. Головною метою даної роботи є те, щоб зерно на протязі довгострокового зберігання не втратило свої біологічні та продовольчі властивості. Найбільший вплив на збереження зерна, на сучасному етапі розвитку технологій та методів, відіграє післязбиральна обробка. Найскладнішою та найбільш енерговитратною складовою даного процесу є

видалення надлишкової вологи з зернової маси, тому розуміння та удосконалення даної складової технологічного процесу є нагальною проблемою сільського господарства. У сільському господарстві застосовуються різноманітні сушильні установки. Конструкція установки має забезпечувати рівномірне нагрівання та сушіння продукту при забезпеченні контролю його температури та вологості. Проведений аналіз існуючих способів, технологій сушіння та конструкцій для сушіння зерна показує, що дані способи та конструкції мають ряд недоліків (підвищені витрати на процес теплової обробки, висока металоємність, нерівномірне нагрівання зернового шару, низький ККД). Для впровадження більш ефективних технологій (непрямої дії) необхідне повне розуміння розподілення вологи в окремо взятої насіниці після збирання, та під час сушіння.

Аналіз останніх публікацій по даній проблемі. Сучасні технологія сушіння та вентильовання насіння базуються на загальній теорії сушіння капілярно-пористих тіл і на обліку

специфічних властивостей зерна [15, 25, 17, 2]. Безперервне зростання виробництва зерна, інтенсифікація процесів сушіння, вдосконалення методів його зберігання вимагають все більш глибокого та детального вивчення механізму перенесення тепла та вологи в зерні, ролі та значення вологи у процесах його життєдіяльності. Найбільш характерною особливістю зерна як об'єкта сушіння та вентильовання є його біологічна сутність.

Зерно - живий організм, якому безперервно відбуваються складні процеси обміну речовин. Теорія розподілу вологи під час конвективної сушки знайшла відображення у роботах видатних вчених [23, 16, 18]. Основні положення, що описують кінетику волого-розподілу, були вперше відображені в роботах вітчизняних та закордонних учених [19, 8, 21] стосовно випаровування вологи з ґрунту. Цими вченими було виявлено, що механізм переміщення вологи всередині ґрунту визначається формою зв'язку вологи з вологими дисперсними матеріалами, а процес сушіння має свою періодичність. У створення сучасної теорії волого-розподілу внесок зробили такі роботи [10, 24, 1]. Декілька років тому американські вчені застосували закон класичної теорії дифузії для опису механізму переміщення вологи всередині матеріалу протягом сушіння [7,3]. Але необхідно відзначити що схожі досліді проводилися у 30-ті роки минулого століття, наприклад Шервудом у 1932 році для визначення кінетики сушіння було встановлено температурні криві, на основі яких запропоновано основні закономірності механізму сушіння та, зокрема, досліджено теорію поглиблення зони випаровування.

Особливе місце серед представлених досліджень займають роботи [12,22,5], з термодинаміки зволоженого газу, була запропонована $I - d$ діаграма вологого повітря. Основні положення, закладені у минулому по цей час залишаються незмінними. З іншого боку, у ряді робіт [13, 14, 11, 4] запропоновували термодинамічний принцип для визначення зв'язку вологи та матеріалу. Структура води, що у зерні, знайшла свій відбиток у роботі вітчизняного науковця [20,9, 6].

В останні роки вітчизняними та зарубіжними дослідниками накопичено великий матеріал про особливості фізико-хімічної будови води, змінах її структури та властивостей внаслідок біологічних процесів, що відбуваються в зерні при дозріванні, зберіганні та проростанні. Вплив цих факторів на тепло- та волого-обмін при вентильованні та на інтенсивність тепловиділень при зберіганні зерна винятково велике [26, 27].

З численних способів теплового сушіння, що розрізняються за способом підведення тепла до зерна, найбільш поширений конвективний, проте ведуться дослідження з впровадження різних методів інтенсифікації процесів, які потребують

поглибленого дослідження переміщення вологи в окремо взятої насінини [28].

Мети роботи. Провести теоретичний аналіз, який відображає розподіл вологи в середині окремо взятої зернини, у процесі після-збиральної обробки, для подальшого використання здобутих знань у впровадженні новітніх технологій сушіння зерна. Порівняти вплив та терміни збирання урожаю на подальше розподілення вологи у середині зерна.

Результати дослідження. Зернину ми можемо поділити на три частини: ендосперм, зародок та оточуючі оболонки, які в свою чергу досить суттєво відрізняються між собою за структурою та властивостями. Визначення розвитку процесів зовнішнього тепло та масо-обміну та внутрішнього перенесу вологи, тепла та біологічних речовин зумовлюються наступними факторами, а саме: складною формою насіння, особливістю структури та хімічного складу. Кожен із цих факторів відіграє особливу роль в процесах переносу вологи.

Важливе значення процесів тепло та волого обміну відіграють капіляри (канали по яким здійснюється переміщення вологи в насінині). Дослідження, яке було проведено довело, що макро-капіляри відсутні у складі зернина, тобто радіус капілярів у кожній зернині менше ніж 10^{-5} см. На підставі даного дослідження ми можемо вважати, що ендосперм у складі насінини представляє собою щільне тіло (колоїдне квазі-капілярне просте тіло). Пори та мікро капіляри в суттєвій кількості є тільки в плодкових оболонках зернівки (пусті клітини, які мають велику ємність). Необхідно відзначити, що у складі насінини існують значні проміжки між відокремленими групами клітин трубчастого шару, а також між даними клітинами та насінневою оболонкою, розміри цих проміжків значно більше ніж 1×10^5 см. На підставі даної інформації ми можемо зробити висновок про те, що плодкові оболонки відносяться до капілярно-простих тіл.

Внутрішнє та зовнішнє перенесення вологи – складний, багато-комплексний процес, який є важким для експериментального дослідження. Протікання процесу сушіння зерна складається з двох етапів: переміщення вологи до його поверхні та видалення вологи з його поверхні у навколишнє середовище. При конвективному сушінні агент сушіння пронизує зерновий шар, за рахунок обтікання насінини. При цьому біля поверхні насінин утворюється так званий прикордонний шар, через який здійснюється теплопередача від агенту сушіння до поверхні зернівки та молекули пари з поверхні матеріалу дифундують з навколишнім повітрям.

Прикордонний шар чинить значний опір виділенню вологи із зерна, та його параметри (товщина, температура) надають значне вплив на

весь процес сушіння. В даному шарі градієнти швидкості та температури сушильного агенту спрямовані від поверхні зернівки, а градієнт парціального тиску пари – у зворотний бік

Відповідно, у максимальній близькості до поверхні насінини швидкість сушильного агенту дорівнює нулю, а температура сушильного агенту знаходиться в безпосередній близькості до температури поверхні зернівки θ (температура сушильного агенту завжди вище за температуру зерна). Парціальний тиск водяної пари в прикордонній зоні дорівнює парціальному тиску насиченої пари p_M при температурі поверхні зернівки θ . При віддаленні від поверхні насінини дані параметри протягом часу змінюються і на зовнішньому кордоні прикордонного шару вирівнюються.

Параметри прикордонного шару залежать здебільшого від стану та форми обтічної поверхні, вона прямо пропорційна в'язкості агенту сушіння і обернено пропорційна швидкості його руху, а також залежить від напрямку потоку сушильного агенту. Це положення пояснюється наступним: при зміні напрямку руху сушильного агенту до поверхні без збільшення або зниження його швидкості, товщина прикордонного шару стає менше, внаслідок його інтенсивного перемішування і, отже, збільшується кількість випареної вологи із зерна. Принцип видалення вологи із зерна при конвективному сушінні схематично було відображено на рисунку 1.

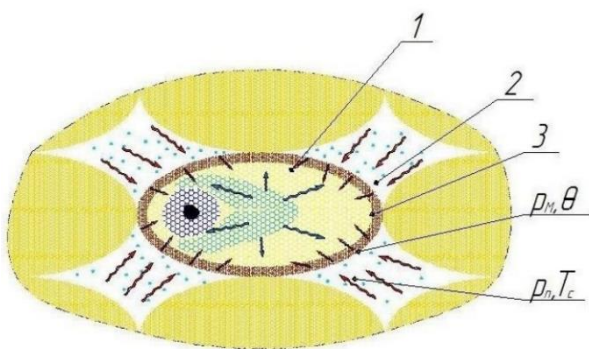


Рис. 1. Схема механізму видалення вологи при НВЧ – сушінні зерна 1 – зернина; 2 – прикордонний шар; 3 – зона випаровування.

По поверхні вологої насінини сушильний агент рухається з встановленими параметрами. Тепло від сушильного агенту передається насінині за допомогою конвекції, поверхня зерна нагрівається та частина вологи, яка знаходиться біля поверхні, випаровується. При протіканні даного процесу по товщині зернівки змінюється вміст вологи, температура та тиск, під дією яких волога інтенсивно виділяється на поверхню, де вона випаровується. Молекули пари дифундують із сушильним агентом і поглинаються даним

агентом. Необхідною умовою цього процесу є наявність різниці між парціальним тиском біля її поверхні p_M та в сушильному агенті p_P .

Випаровування вологи відбувається не з поверхні насінини, а з деякої зони 3, розташованої в периферійній частині зернівки. Крім того, становище даної зони поступово переміщується до центру зернівки. Початкову стадію поглиблення зони випаровування більшість дослідників пов'язують із початком видалення із зерна механічно пов'язаної вологи. При поглибленні зони випаровування поверхня зернини залишається зневодненою, що може призвести до її перегріву та втраті насінневих властивостей.

Розглянемо механізм видалення вологи при НВЧ-обробці. На рисунку 2 представлена схема перенесення вологи та теплоти. Волога, що виділяється при НВЧ-нагріві, видалається разом з повітрям, що її поглинуло. Внаслідок того, що нагрівання починається в центрі, градієнт температури спрямований в один бік градієнтом вологості, посилюючи виділення вологи до периферії, а також відбувається дуже швидке нагрівання, рівномірно та по всій товщині.

НВЧ-нагрів харчових продуктів - складне технічне завдання не тільки з точки зору техніки генерування НВЧ, але і з позиції структури та властивостей продуктів, також НВЧ-нагрів дає можливість концентрувати дуже високі енергії у малих обсягах матеріалу.

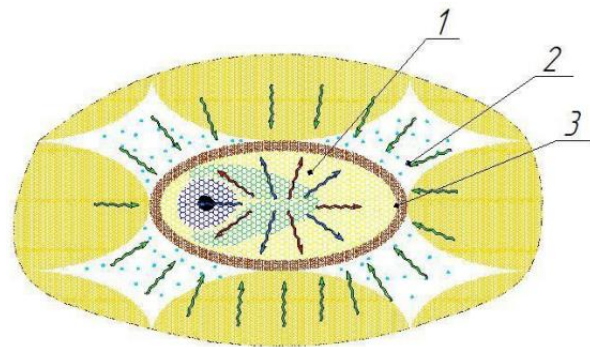


Рис. 2. Схема механізму видалення вологи при НВЧ – сушінні зерна 1 – зернівка; 2 – прикордонний шар; 3 – зона випаровування.

Як ми з'ясували, ендосперм та зовнішній шар насінини мають істотні відмінності у будові, цей факт звісно впливає на процеси зволоження та зневоднення зерна. На підставі проведених дослідів та інформації, яка була приведена раніше ми можемо зробити висновок: під час сушіння одиначне зерно слід розглядати як складне складене тіло типу «шар в шарі».

Зародок гречки та пшениці при вологості повітря, яка складає менше 55% менше гідрофільні ніж ендосперм, хоча при більш високій вологості

його вологовмісткість змінюється набагато швидше, ніж інші анатомічні частини, наприклад при відносній вологості 90% зародок гречки сорбує 40% вологи. В той же час у ядрі лише 32%, у пшениці дані значення рівні 50 та 30% відповідно. Таким чином під час умов з підвищеним рівнем вологості навколишнього середовища зародок досить добре поглинає вологу із повітря. Урахування даного явища є необхідним тому, що аналогічні процеси можуть виникати під час сушіння зернової маси з використання електромагнітного поля в НВЧ діапазоні.

Результати про важливість вологи та її стану у біологічних процесах та впливу на процес сушіння були здобуті під час дослідів особливостей водних режимів на різноманітних етапах дозрівання зернин за допомогою методів відлуння, томографії, люмінесцентних та інших методів. Данні, які були здобуті на підставі аналізу даних наукових робіт вказують на те, що під час дозрівання окремих зернин відбувається не тільки зниження їх вологості, а і зниження обсягу речовинної фази у межах даної зернини. Розподіленість вологи в середині окремої зернини істотно залежить від стадії дозрівання, термінів збору врожаю та погодних умов під час збору зерна з полів. Двовимірне зображення розподілу вологи в насінні зібраних та висушених на різних стадіях дозрівання представлено на рисунку 3.

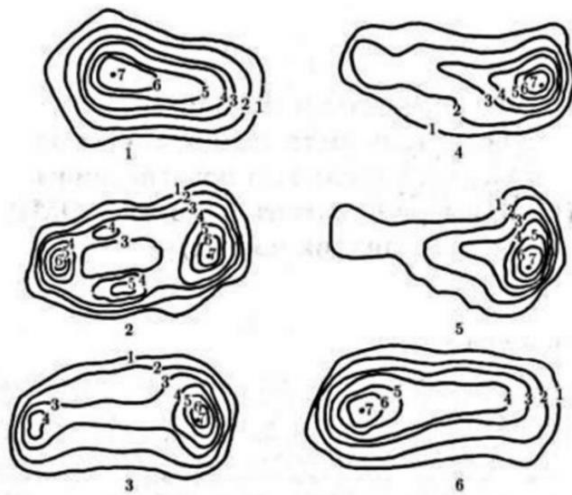


Рис. 3. Двовимірне зображення розподілу вологи в насінні, зібраних на та висушених на різних стадіях дозрівання 1 – через 14 днів після цвітіння; 2 – через 19 днів; 3 – через 27 днів; 4 – через 32 днів; 5 – через 36 днів; 6 – через 36 днів (після дощу)

Виходячи з даного рисунку ми можемо зробити наступні висновки: випадіння дощу суттєво впливає на картину розподілу вологи в зерні після його висушування, навіть для дозрілого зерна; анатомічні особливості будови зерна

зумовлюють нерівномірний розподіл вологи; на підставі істотних різниць капілярів у різних частках окремо взятої зернини, дає нам змогу стверджувати, що даний фактор істотно чинить вплив на розподіл вологи під час сушіння та природному зневодненні зернової маси; на розподіл вологи у серединні насінини істотно впливають терміни та погодні умови під час збору врожаю; зародок має найбільшу вологість, а не поверхня зерна, як під час штучного зволоження, так і під час його природнього висихання, що має істотне значення під час обробки зерна електромагнітним полем в НВЧ діапазоні.

Під час аналізу наукової літератури стає зрозуміло, що на нагрів та волого обмін всередині зернової маси впливають велика кількість факторів, описання та моделювання цих процесів є досить складною задачею, тому для вирішення цієї проблеми ми можемо використовувати теорію подібності. На протязі аналізу даних наукових робіт, ми можемо зробити висновок, що автори проводили досліди за впливом режимів обробки зерна на абсолютне значення масообміну критерія Фур'є $[Fo]_m$. В усіх роботах значення критерія Фур'є $[Fo]_m$ не перевищує 0,1, це дає нам змогу стверджувати, що процес внутрішнього переносу вологи, як при зволоження, так і під час сушіння зерна повністю знаходиться в нестационарній області. В даному випадку спостерігається безперервне змінення вологовмісту та енергія зв'язку вологи в кожній точці окремо взятої насінини, а також відбувається зміна термодинамічних характеристик зернової маси. На підставі вище вказаних фактів точний математичний аналіз та розрахунок процесів волого розподілу в зерні в повній мірі виконатись не може.

Також були відображені результати дослідження критерія числа Льюїса (Le) від вологовмісту під час сушіння. Дослідження показали, що в процесі сушіння зерна число Le швидко зменшується, а потім стає сталим, у значенні $0,5 \times 10^4$ (-4)... $1,0 \times 10^4$ (-4), це дозволило зробити висновок, що термовологопровідність не відіграє істотну складову у внутрішньому волого переносі, тому у випадку сушіння та гідротермічної обробки процеси переносу тепла та вологи ми можемо розглядати окремо.

Нагрів за допомогою поля НВЧ, на відміну від конвективного нагріву, має найбільшу температуру в тій частці насінини, яка має найбільший рівень вологи, за рахунок цього явища, у найвологіших частках насінини збільшується тиск водяного пару, та у зв'язку з цим відбувається переміщення вологи в менш нагріті частки даної насінини. На підставі вище сказаного, ми вважаємо, що при описі НВЧ нагріву необхідно враховувати переміщення вологи всередині зерна.

Висновки. За результатами аналізу наукової літератури були встановлені залежності, які дозволяють розрахувати температуру улюбій точці насінини під час опромінення електромагнітним полем в НВЧ діапазоні. Данні залежності можуть бути успішно використані під час розрахунку процесів, які відбуваються в зерні під час сушіння. У випадку знезараження зерна, під час використання технологій, які потребують зволоження, знезараження одразу після збору та після тривалого зберігання, розподіл волого може мати ключове значення. На підставі даних фактів ми можемо зробити висновок про те, що розрахунок математичних залежностей, які визначають зміну температури в частках насінини, в залежності від вологості, під час впливу поля НВЧ, є актуальною задачею, вирішення якої дозволить удосконалити існуючі методи знезараження за допомогою опромінення електромагнітного поля в НВЧ діапазоні, та впровадити їх у сільське господарство.

Література:

1. Электропривод та електротехнології на об'єктах АПК: зб. науч. тр. / МІСП імені В.П. Гурчакіна.- М., 1989.- С. 12-20.
2. А.с. 1483218 СРСР, МКІ3 F 26 В 25/22. Спосіб сушіння зерна та пристрій для його здійснення / Л.В. Колесов, Н.М. Андріанов, С.К. Манасян, С.Г. Гусєв, Ю.І. Заборо, В.В. Іванов, Е.Ф. Гришин. - Опубл. 30.05.1989, Бюл. № 20. в інших виданнях
3. A.W. Kraszewski, S.O.Nelson // Transactions of the ASAE. - 1994. - Vol.58. - P. 37-44.
4. Вукон, Y.V. Combined microwaves /Y.V. Вукон, K.I. Rybakov, E. Semenov // J. Pys D: Appl. Phys. 2001.- V 34.- P. 55.
5. Grothaus, H.-P. Einsatz thermischer Verfahren zur Abtötung von Phoma betae in Zuckerrubensaatgut unter besonderer Berücksichtigung von Mikrowellenenergie: Diss. Gottingen, 1997. - 139 p.
6. Lihui Zhang. Parameters online detection and model predictive control during the grain drying process / Helei Cui, Hongli Li, Feng Han, Yaqiu Zhang, Wenfu Wu // Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2013.
7. Nelson S.O. RF and microwave dielectric properties of shelled, yellow- dent field corn / S.O.Nelson // Transactions of the ASAE.-1979. - Vol.22. - No.6. - P.1451-1457.
8. Nelson S.O.Effects of natural and added water on prediction of Moisture content and density of corn from microwave dielectric properties / S.Trabelsi, S. O. Nelson // Transactions of the «Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy». - 2010. - Vol.44. - No.2. - P. 72-80.
9. Ogorodnik V. Automated control of the grain drying process / Ogorodnik Vadim, Kleperis Janis, Kristinsh Albert, Gvardyna Irina, Cesnieks Aivars, Vilde Arvids // Engineering for rural development Jelgava, 28-29.05.2009, p. 324-327. 172
10. Shivare U.S. Drying characteristics of corn in a microwave field with a surface - wave applicator: a thesis of doctor of philosophy U.S. Shivare. - Quebec, 1991. - 182 p.
11. Аніскін В.А. Підвищення якості насіння способами післязбиральної і передпосівної обробки / В.І. Аніскін: Сб.науч.тр. // ВІМ.-1 987. - Т.112.- С. 3 - 20.
12. Беляєв О.О. Дослідження розподілу НВЧ поля в просторі робочої камери / А.А. Беляєв, А.Л. Андержанов, С.А. Андрєєв, А. І. Соколов
13. Буянов В.А. Застосування НВЧ енергії для сушіння зерна / Буянов Е.А.// Мех. і електро. с. -х. - 1982. - № 1. - С. 55-56.
14. Васильєв О.М. Використання теорії подібності для опису СВЧ сушки зерна / Васильєв О.М., Будніков Д.А., Смирнов Б.Г. // Електротехнології та електрообладнання в сільськогосподарському виробництві: зб. науч. тр. / АЧГАА. - зерноград, 2007. - С.72-77.
15. Воскресенська О.В Комбіновані способи сушіння зернових продуктів. дис ... канд. тех. наук: 05.18.12. Одеса 2017 – С. 61
16. Єфремов Г.І. Узагальнені залежності для першого і другого періодів сушіння матеріалів в тонкому шарі. Тепломасобмін. МІФ-2000, Мінськ, 2000., - Т .9, - С. 129 - 135
17. Манасян, С.К. Принципи конвективного сушіння зерна / С.К. Манасян // Укр. КрасГАУ. - 2008.-№ 6. - С. 145-150.
18. Пазюк О.Д., Паламарчк І.П. Вібраційні зерносушарки як спосіб інтенсифікації та підвищення економічності процесу сушіння зерна. Вібрація в техніці та технологіях. 2010. №4 – С. 115
19. Пат. 4430806 США, МПК А24В 1/00. Microwave agricultural drying and curing apparatus [Text] / Hopkins H .; - 06/319900; заяв. 10.11.1981; опубл. 14.02.1984.
20. Погожих М.І. та др. Енергоєфективні технології та техніка сушіння харчової сировини. Навчальний посібник. – Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі (ХДУХТ), 2016. – 234 с
21. Рідко В.І. Зерносушіння і зерносушарки / Рідко В.І., Різьбярів В.А., Уколов В.С .. - М .: Колос, 1982. - 239 с.
22. Руденко Н. Б Использование поля СВЧ при рециркуляционной сушке зерна активным вентилированием. дис ... канд. тех. наук: 05.20.02. зерноград 2011 – С. 28 – 53
23. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. К .: Либідь, 1997. -352с.
24. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навчальне видання. Вінниця 2008 – С. 38
25. Цугленок, Н.В. Функціональне опис процесу сушіння зерна / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.Н. Конусів // Укр. КрасГАУ. - 2005. - № 8. - С. 217-221.

26. Гержой, А.П. Зерносушение и зерносушилки / А.П. Гержой, В.Ф. Самочетов. – М.: Колос, 1967. – 245 с.

27. Гинзбург, А.С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы / А.С. Гинзбург, М.А. Громов. – М.: Колос, 1984. – 304 с.

28. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко, М.А. Гришин, Я.М. Гольденберг, В.К. Коссек. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 435 с.

References

1. Electric drive and electrical technology on the objects of the agro-industrial complex: zb. scientific. tr. / МІІСП імені В.П. Горьачкіна. - М., 1989. - p. 12-20.

2. А.с. 1483218 СРСР, МКІЗ F 26 V 25/22. Method of drying grain and pristiy for yogo zdiysnennya / L.V. Kolesov, N.M. Andrianov, S.K. Manasyan, S.G. Gusev, Yu.I. Zaboro, V.V. Ivanov, E.F. Grishin. - Publ. 05/30/1989, Bul. No. 20. in the first versions

3. A.W. Kraszewski, S.O. Nelson // Transactions of the ASAE. - 1994. - Vol.58. - P. 37-44.

4. Bykov, Y.V. Combined microwaves / Y.V. Bykov, K.I. Rybakov, E. Semenov // J. Pys D: Appl. Phys. 2001.- V 34.- P. 55.

5. Grothaus, H.P. Einsatz thermischer Verfahren zur Abtötung von Phoma betae in Zuckerrubensaatzgut unter besonderer Berücksichtigung von Mikrowellenenergie: Diss. Gottingen, 1997. -- 139 p.

6. Lihui Zhang et al. Parameters online detection and model predictive control during the grain drying process Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2013.

7. Nelson S.O. RF and microwave dielectric properties of shelled, yellow-dent field corn / S.O. Nelson // Transactions of the ASAE.-1979. - Vol.22. - No.6. - P.1451-1457.

8. Nelson S.O. Effects of natural and added water on prediction of Moisture content and density of corn from microwave dielectric properties / S. Trabelsi, S. O. Nelson // Transactions of the Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy. - 2010. - Vol.44. - No.2. - P. 72-80.

9. Ogorodnik V. Automated control of the grain drying process / Ogorodnik Vadim, Kleperis Janis, Kristinsh Albert, Gvardyna Irina, Cesnieks Aivars, Vilde Arvids // Engineering for rural development Jelgava, 28-29.05.2009, p. 324-327. 172

10. Shivare U.S. Drying characteristics of corn in a microwave field with a surface - wave applicator: a thesis of doctor of philosophy U.S. Shivare. - Quebec, 1991. -- 182 p.

11. Aniskin V.A. Adjustment of the quality of the preparation by methods of preparation and prior to sowing processing. Collection of scientific articles. // VIM-1 987. - T.112.- P. 3 - 20.

12. Belyaev O.O. Doslidzhennya rozpodilu UHF fields in the space of the working chamber / A.A.

Belyaev, A.L. Anderzhanov, S.A. Andreev, A. I. Sokolov

13. Buyanov V.A. Zasosuvannya NHF energy for drying grain / Buyanov E.A. // Fur. i electric. with. -NS. - 1982. - No. 1. - S. 55-56.

14. Vasil'ev O.M. Viktoristannya theory for the description of microwave drying grain / Vasil'ev O.M., Budnikov D.A., Smirnov B.G. // Electrotechnology and electrical control in silskogospodarskiy virobnistvi: zb. scientific. tr. / AChGAA. - Zernograd, 2007. -- P.72-77.

15. Voskresenska OV Combination methods for drying grain products. dis ... cand. those. Sciences: 05.18.12. Odessa 2017 - p. 61

16. Ofremov G.I. Waste deposits for the first and other periods of drying materials in a thin ball. Teplomassobmin. MIF-2000, Minsk, 2000., - T. 9, - P. 129 - 135

17. Manasyan, S.K. Principles of convective drying of grain / S.K. Manasyan // Ukr. KrasGAU. - 2008.-№ 6. - S. 145-150.

18. Pazyuk O.D., Palamarchk I.P. Vibratsiyni grain dryers as a way of integratng and improving the economy of the process of drying grain. Vibratsiya in technology. 2010. No. 4 - P. 115

19. Pat. 4430806 USA, IPC A24B 1/00. Microwave agricultural drying and curing apparatus [Text] / Hopkins H. ; - 06/319900; application 11/10/1981; publ. 02/14/1984.

20. Pogozhikh M.I. and other Energy efficient technologies and technology of drying kharchovoy syruvin. Navchalnyy pos_bnik. - Kharkiv: Kharkiv State University Kharchuvannya and Trade (KhDUKhT), 2016. -- 234 p.

21. Ridko V.I. Zernosushinnya and grain dryers / Ridko V.I., Rizbyariv V.A., Ukolov V.S. - Moscow: Kolos, 1982. -- 239 p.

22. Rudenko N. B. Use of the microwave field in the recirculation drying of grain by active ventilation. dis ... cand. those. Sciences: 05.20.02. Zernograd 2011 - p. 28 - 53

23. Stankevich G.M., Strakhova T.V., Atanazevich V.I. Drying of grain. K.: Libid, 1997.-352s.

24. Tkachenko S. Y., Spivak O. Yu. Drying processes of the installation. First seen. Vinnytsia 2008 - p. 38

25. Zuglenok, N.V. Functionally describe the process of drying grain / N.V. Zuglenok, S.K. Manasyan, H.H. Konusiv // Ukr. KrasGAU. - 2005. - No. 8. - S. 217-221.

26. Gerzhoi, A.P. and Samochetov, V.F. Grain drying and grain drying. - M.: Kolos, 1967.-- 245 p.

27. Ginzburg, A.S. Thermophysical properties of grain, flour and groats / A.S. Ginzburg, M.A. Gromov. - M.: Kolos, 1984. -- 304 p.

28. Filonenko, G.K. Drying food plant materials / G.K. Filonenko, M.A. Grishin, Ya.M. Goldenberg, V.K. Kossek. - M.: Food industry, 1971.

Аннотація

**Распределение влаги в середине зерновой массы
после уборки и во время сушения**

Н. П. Кунденко, Е.О. Пих

В настоящее время одной из главных задач сельского хозяйства в Украине является увеличение объемов производства зерна. В связи с этим возникает проблема создания необходимых условий для длительного хранения урожая. Зерно с полей может поступать с разной степени влажности, а именно: сухое, со средней влажностью, влажное и сырое. Наиболее распространенный метод хранения зерновой массы – хранение ее в сухом состоянии, это обуславливает необходимость наличия такого важного технологического процесса, как сушка. Влага в зерне находится на поверхности в капиллярах и внутри клетки зерна. Эта влага играет очень важную роль в жизнедеятельности зерна, однако избыток этой влаги приводит к интенсификации жизненных процессов. Влага в зерновой массе распределена неравномерно, при средней влажности зерна 22% около 10% имеют влажность ниже 17%, а более 20% выше 25%, также следует отметить, что в зерне влага также распределяется неравномерно: больше всего ее в зародыше, меньше – в эндосперме, а еще меньше – в оболочках. Технологии, которые сейчас применяются в Украине, достаточно малоэффективны и не экологичны. Внедрение новейших и энергоэффективных технологий – общая цель сельского хозяйства Украины. Такими технологиями могут стать методы косвенного воздействия, например облучение зерновой массы электромагнитным полем в ВЧ и СВЧ диапазоны. Для внедрения косвенных методов требуется полное понимание их влияния на объект сушки. Эти методы основаны на поглощении электромагнитной энергии в диэлектриках. Сухая составляющая зерна не создает помех для прохождения электромагнитных волн, вследствие чего электромагнитные волны не поглощаются сухим зерном, а поглощаются только влагой, которая находится во влажном зерне и в дальнейшем происходит нагрев и просушка только влажного зерна. Если допустить ошибку в расчете, то при сушке зерно может потерять свои биологические свойства. В данной научной работе были проведены теоретические исследования распределения влаги в зерне для дальнейшего внедрения инновационных методов послеуборочной обработки.

Ключевые слова: зерно, сушка, влага, послеуборочная обработка, электромагнитное поле, методы, технологии.

Annotation

**Distribution of moisture in the middle of grain mass
after harvesting and during drying**

M.P. Kundenko, E.O. Pikh

Currently, one of the main tasks of agriculture in Ukraine is to increase the volume of grain production. In this regard, the problem arises of creating the necessary conditions for long-term storage of the crop. Grain from the fields can come with varying degrees of moisture, namely: dry, with medium moisture, wet and damp. The most common method of storing grain mass is storing it in a dry state, this necessitates the presence of such an important technological process as drying. The moisture in the grain is on the surface in the capillaries and inside the grain cell. This moisture plays a very important role in the life of the grain, but the excess of this moisture leads to the intensification of life processes. Moisture in the grain mass is unevenly distributed, with an average grain moisture of 22%, about 10% have a moisture content below 17%, and more than 20% above 25%, it should also be noted that moisture in the grain is also unevenly distributed: most of it is in the embryo, less - in the endosperm, and even less in the membranes. The technologies that are now used in Ukraine are rather ineffective and not environmentally friendly. The introduction of the latest and most energy efficient technologies is the general goal of Ukraine's agriculture. Such technologies can be methods of indirect influence, for example, irradiation of the grain mass with an electromagnetic field in the HF and UHF range. The introduction of indirect methods requires a complete understanding of their effect on the drying object. These methods are based on the absorption of electromagnetic energy in dielectrics. The dry component of the grain does not interfere with the passage of electromagnetic waves, as a result of which electromagnetic waves are not absorbed by the dry grain, but are absorbed only by the moisture that is in the wet grain, and then only the wet grain is heated and dried. If you make a mistake in the calculation, then during drying the grain may lose its biological properties. In this scientific work, theoretical studies of the distribution of moisture in grain were carried out for the further introduction of innovative methods of post-harvest processing.

Keywords: grain, drying, moisture, post-harvest processing, electromagnetic field, methods, technologies.

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Kundenko, M. P., Pikh, E. O. (2022) Distribution of moisture in the middle of grain mass after harvesting and during drying, *Engineering of nature management*, (1(23)), pp. 46 - 52.

Подано до редакції / Received: 20.11.2021