



Присяжнюк Д.В.*
аспірант

Ладижинський коледж
Вінницького НАУ

Prysyazhnyuk D.

Ladyzhyn college of
Vinnytsia NAU

УДК 664.723

ОЗОН ЯК РУШІЙНИЙ ФАКТОР ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ЗВ'ЯЗАНОЇ ВОЛОГИ ІЗ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ

У статті проаналізовано особливості проведення технологічного процесу післязбиральної обробки зернової сировини, а саме її сушіння. На основі проведеного аналізу з метою інтенсифікації даного процесу та зниження енерговитрат розглянуто сушіння зерна з використанням озону у складі сушильного агенту. Представлено теоретичні дослідження взаємодії озону з матеріалом, що висушується, та детально розглянуто механізм вологовидалення.

Ключові слова: зернова сировина, післязбиральна обробка, сушіння, інтенсифікація, енерговитрати, сушильний агент, озонізована суміш, зв'язана волога.

Постановка проблеми. Сушіння є головним етапом при виконанні післязбирального обробітку зернової сировини. Тому даний процес потребує чітких дотримань норм та вимог, які ставляться до виконання даної технології та отриманої кінцевої сировини.

Найважливішим завданням технології обробки насіння і зерна є зниження енергоємності процесу і запобігання втрат. Це завдання можна вирішити шляхом використання озону в процесі обробки с.-г. продукції. Взаємодія озону з рослинними матеріалами в процесі обробки представляє особливий інтерес, оскільки це пов'язано з кількістю залишкового озону, що виходить в навколишнє середовище і впливає на ступінь безпеки обслуговуючого персоналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними видами обробки зернової сировини є післязбиральна та передпосівна обробка, кожна з яких відрізняється своїми технологічними процесами та кінцевим результатом. Наприклад, післязбиральна обробка містить в собі операції сушіння, очищення та знезараження зернової маси, яка надходить з поля, шляхом отримання сировини з заданими властивостями (вологістю, ступенем забрудненості та зараженості). Передпосівна обробка полягає в підготовці зернової сировини (насіння) до посіву з забезпеченням необхідних якісних показників – схожості, відсотку проростання, ступеня зараженості.

Післязбиральна обробка зерна є відповідальним і складним етапом, оскільки під час даного технологічного процесу потрібно забезпечити стандартну вологість зернової маси для належного зберігання. Рослинницька продукція після збирання зазвичай містить різні інфекції, цвіль, а також дрібні комахи. Це призводить до значних втрат при зберіганні і переробці, що особливо небезпечно, та сприяє поширенню інфекційних захворювань (стафілококи, кишкова паличка, сальмонела та ін.) [1].

Вологе зерно, що поступило з поля, не підлягає тривалому зберіганню, оскільки швидко псується. Своєчасно і правильно проведена процедура сушіння не тільки підвищує стійкість зерна при зберіганні, але й сприяє поліпшенню його якості, прискоренню дозрівання, вирівнюванню зернової маси за вмістом вологи (на рівні кондиційного значення) і ступеня зрілості (на рівні повної стиглості), поліпшення кольору і зовнішнього вигляду, припиненню життєдіяльності мікроорганізмів і шкідників [1].

Для зерна найбільшого поширення набуло теплове сушіння. Сорбційне (контактне) сушіння застосовують як допоміжний елемент в деяких сушарках (при сушінні фуражного зерна), а механічне зневоднення (віджимання, центрифугування) зернових відходів – на деяких борошномельних заводах [2].

У даний час серед способів теплового сушіння найбільшого поширення набуло конвективне сушіння зернового матеріалу, при

*Науковий керівник: к.т.н., доцент Цуркан О.В.



якому в якості теплоносія (агента сушіння) використовується нагрітий газ, який подається в сушильну камеру для підведення тепла до зерна і відводиться з неї для видалення поглинутих ним парів вологи, що виділяються з зерна.

Конвективне сушіння представляє собою випаровування вологи з поверхні зерна в середовище сушильної камери. При цьому, очевидно, необхідне перенесення цієї вологи з зерна на його поверхню. Теплова енергія, що підводиться агентом сушіння (тепломасоносієм), витрачається не тільки для випаровування вологи, а й для нагріву зерна та нагріву вологи до температури випаровування [3].

Формування мети досліджень. Так як традиційні способи не мають вагомих конкурентноспроможних переваг, інтенсивними кроками здійснюється розробка перспективних методів сушіння зернового матеріалу.

Метою досліджень є встановлення процесу взаємодії озону у складі озонітної суміші із зерною сировиною при її сушінні, як перспективного методу післязбиральної обробки.

З метою підвищення позитивних якостей озонування зерна пропонується виконувати даний технологічний процес у сушарках вібраційного типу, що в свою чергу підвищить якість кінцевої сировини та знизить енерговитрати і час обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Озон застосовується для обробки сільськогосподарської продукції з метою підвищення термінів її зберігання. Однак використання озону для сушіння зернових матеріалів почалося лише в кінці 70-х на початку 80-х років минулого століття [4].

Використання озону в аграрній галузі вважається перспективним напрямком. Зокрема, озонування зерна позитивно позначається як на зниженні енерговитрат при виконанні технологічного процесу післязбиральної обробки, так і на підвищенні тривалості його зберігання і смакових якостях [5].

Основою інтенсифікації процесу сушіння є зміна фізико-хімічних і теплофізичних властивостей води при взаємодії з озоном: в'язкості, щільності, рН, поверхневого натягу, теплоємності, температуропровідності і т.д. Зміна цих властивостей води в кінцевому рахунку, призводить до підвищення продуктивності машин і агрегатів, зниження енергоємності процесу.

У роботі Троцької Т.П. [7] вказується, що концентрація озону в озонітній суміші при сушінні зерна повинна підтримуватися в межах 2...40 мг/м³ в залежності від початкової

вологості і виду продукції. Науковцем зроблена спроба пояснити фізику інтенсифікації процесу сушіння за рахунок застосування озонітної суміші. У перший період сушіння частина озону вступає в окислювальні реакції на поверхні зерна з органічними і неорганічними речовинами, утворюючи при цьому вибухові леткі речовини, очищаючи поверхню. В результаті цього опір потоку вологи зменшується.

У свою чергу частка поверхневої рідини у вигляді вологи вступає в реакцію з утвореними озонідами.

При проходженні через зернову масу озон розкладається на O₂ і O, виділяючи теплоту, рівну 142 кДж / моль. Атомарний кисень пов'язує вологу навколо себе у вигляді грон, які виносяться потоком повітря [7].

Після зниження відсотку поверхневої вологи озон може чинити дію на проникність мембран клітини, а присутність атомарного кисню забезпечує видалення вологи з клітин на поверхню зернівки.

Наступний етап сушіння – виведення сорбційно-зв'язаної вологи. На цьому етапі велику роль відіграють теплота, що виділяється при розпаді озону, присутність атомарного кисню і іонів різної полярності. Електричні сили можуть сприяти ослабленню дипольних зв'язків молекул води зі стінками поверхні. Все це істотно впливає на швидкість сушіння зерна у цей період [7].

У харчових продуктах волога знаходиться у зв'язаному стані, тобто бере участь в процесах життєдіяльності. Форми її зв'язку різняться, тому для їх руйнування потрібна велика кількість енергії [7].

Існує й інша теорія взаємодії озону в складі озонітної суміші з зерновим матеріалом [8], згідно з якою при контакті озону з поверхнею рослинного матеріалу, виникають вільнорадикальні процеси, які швидко поширюються у внутрішніх тканинах. Тобто, проходить передача енергії, яка утворюється на поверхневих клітинах сировини, до тканин внутрішніх. Це призводить до перепаду сумарного енергетичного потенціалу. В свою чергу частка надлишкової енергії витрачається на фізико-хімічні процеси, в результаті яких структура клітинних мембран змінюється. Також виникаючі процеси впливають на іонну проникність клітини і її окислювально-відновний потенціал. Певний відсоток енергії виділяється у вигляді тепла, яке, в свою чергу, інтенсифікує протікання наступних процесів.

Якщо процес сушіння в озонітній середовищі спостерігати в мікроскоп, то можна чітко побачити, як накопичується міжклітинна вода і зменшуються контури клітин. Але ці пошкодження не стійкі і



через кілька годин вони відновлюються.

Взаємодія озону з рослинним матеріалом викликає в ньому зниження енергетичного рівня зв'язків вологи, а також інтенсифікує тепломасообмін. Встановлено, що масообмінні процеси прискорюються за рахунок того, що підвищується вологовіддача матеріалу на основі біохімічних, фізико-хімічних процесів і збільшується вологовтримуюча здатність сушильного агента [8].

Слід зазначити, що при озоні-повітряному сушінні некротичні зміни в рослинному матеріалі практично відсутні. Після закінчення сушіння вже через 3-18 год. відновлюються і клітинні мембрани, і пошкоджений покривний шар. Продукція, оброблена при концентраціях до 40 мг/м³, не втрачає своєї біологічної цінності. Вживання цієї продукції людиною не викликає в його організмі гістологічних і морфологічних змін [8].

Дія озону на оброблюване насіння сільськогосподарських культур значною мірою залежить від інтенсивності розподілу і поглинання озону по об'єму сировини. Використання озону у традиційних зернових сушарках є малоефективним у зв'язку із слабким його проникненням у товщу зернової сировини, оскільки в багатьох конструкціях зерносушильного обладнання вона знаходиться у нерухомому або малорухомому стані. Дану проблему можна вирішити за рахунок використання озону у вібраційних сушарках, в яких продукція перебуває у псевдозрідженому стані, в результаті чого озон рівномірно проникає в товщу зернового матеріалу. Крім того, постійний рух сировини, який спричинений коливаннями сушильної камери, забезпечує її рівномірний обробіток за рахунок постійного оновлення поверхні кожної насінини, що контактує з сушильним агентом.

Висновки. Сушіння зернового матеріалу є відповідальним процесом його обробки. Складність даної операції полягає в значних енергозатратах, які є результатом застарілості обладнання та методів сушіння зернової сировини.

Останнім часом набуває перспективності впровадження технології озонування при обробці сільськогосподарської продукції. Використання озону при сушінні зернової сировини інтенсифікує даний процес. Озон є рушійним фактором для видалення зв'язаної вологи із матеріалу за рахунок послаблення її енергетичних зв'язків. Озонування зерна під час сушіння зменшує тривалість виконання даного технологічного процесу, знижує в свою чергу енерговитрати та дає можливість отримання зернового матеріалу високої якості.

Але використання озону у традиційних зерносушарках є малоефективним в результаті

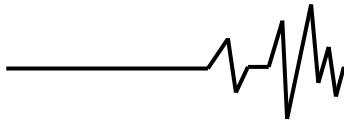
його слабкої проникності у нерухому товщу зернової сировини. Ця проблема вирішується шляхом використання вібраційних сушарок, в яких матеріал, що висушується, перебуває у псевдозрідженому стані, що сприяє його постійному і рівномірному контакту із сушильним агентом.

Список використаних джерел

1. Цуркан О.В. Озонування як перспективний спосіб обробки зернової сировини: збірник наукових праць Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробовування нової техніки і технологій для сільського господарства України / О.В. Цуркан, Д.В. Присяжнюк // Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2017. – №21. – С. 307-313.
2. Жидко В.І. Зерносушение и зерносушилки / В.І. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов // М.: Колос. – 1982. – 239 с.
3. Манасян С.К. Принципы конвективной сушки зерна: Вестник КрасГАУ / С.К. Манасян // Красноярск: КрасГАУ. – 2008. – № 6. – С. 145-150.
4. Ксенз Н.В. Повышение качества зерна на основе использования озонозодушных смесей: сборник научных трудов / Н.В. Ксенз // Зерноград: АЧИИ. – 2009.
5. Ермакова В. А. Озонирование зерна / В. А. Ермакова, П. П. Ермаков // Хранение и переработка зерна. – 2007. – № 10 – С. 19 - 21.
6. Обработка зерна с использованием озонатора // Комбикормовая промышленность, 1997. – С. 28.
7. Троцька Т.П. Сушка зерна с помощью озонозодушной смеси / Т.П. Троцька // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1985. – С. 34.
8. Озоно-воздушная сушка продуктов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.prosushka.ru/1523-ozono-vozduشناya-sushka-produktov.html>.

Список джерел у транслітерації

1. Tsurkan, O.V., & Prysazhnyuk, D.V. (2017). Ozonuvannya yak perspektyvnyi sposib obrobyi zernovoyi syrovyny [Ozonation as a promising method for processing grain raw materials]. *Tehniko-tehnologichni aspekty rozvytku ta vyprovovuvannya novoyi tehnyky i tehnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukrayini – Technological aspects of development and testing of new technology and technologies for agriculture in Ukraine*, 21, 307-313 [in Ukrainian].
2. Zhidko, V.I., Rezchikov, V.A., & Ukolov, V.S. (1982). Zernosushenie i zernosushilki [Grain drying and grain dryer] [in Russian].
3. Manasyan, S.K. (2008). Printsipy konvektivnoy sushki zerna [Principles of convective grain drying]. *Vestnik KrasGAU* –



Messenger of KrasSAU, 6, 145-150 [in Russian].

4. Ksenz, N.V. (2009) Povyisheniya kachestva zerna na osnove ispolzovaniya ozonovozdushnyih smesey [Increasing the quality of grain based on the use of ozone-air mixtures] [in Russian].

5. Ermakova, V.A., & Ermakov, P.P. (2007) Ozonirovanie zerna [Ozonization of grain]. *Hranenie i pererabotka zerna – Grain storage and processing*, 10, 19-21 [in Russian].

6. Obrabotka zerna s ispolzovaniem ozonatora [Grain processing using an ozonizer]. *Kombikormovaya promyshlennost – Feed mill industry* [in Russian].

7. Trotska, T.P. (1985) Sushka zerna s pomoschyu ozonovozdushnoy smesi [Drying the grain with an ozone-air mixture]. *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya sel. hoz-va – Mechanization and electrification in agriculture* [in Russian].

8. Ozono-vozdushnaya sushka produktov [Ozone-air drying products]. *prosushka.ru*. Retrieved from <https://www.prosushka.ru/1523-ozono-vozdushnaya-sushka-produktov.html> [in Russian].

ОЗОН КАК ДВИЖУЩИЙ ФАКТОР ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СВЯЗАННОЙ ВЛАГИ ИЗ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

В статье проанализированы особенности проведения технологического процесса послеуборочной обработки зернового сырья, а именно его сушки. На

основе проведенного анализа с целью интенсификации данного процесса и снижения энергозатрат рассмотрено перспективность способа сушки зерна с использованием озона в составе сушильного агента. Представлены теоретические исследования по взаимодействию озона с высушиваемым материалом и детально рассмотрен механизм влагоудаления.

Ключевые слова: зерновое сырье, послеуборочная обработка, сушка, интенсификация, энергозатраты, сушильный агент, озонозвоздушная смесь, связанная влага.

OZONE AS A MOVING FACTOR FOR REMOVING BOUND MOISTURE FROM GRAIN RAW MATERIALS

The article analyzes the features of the technological process of processing grain raw materials, namely, its drying. On the basis of the analysis carried out to intensify this process and reduce energy costs, the perspectives of the method for grain drying using ozone as part of the drying agent are considered. Theoretical studies on the interaction of ozone with the dried material are presented and the mechanism of moisture removal is considered in detail.

Keywords: grain raw materials, post-harvest processing, drying, intensification, energy consumption, drying agent, ozone-air mixture, bound moisture.

Відомості про автора

Присяжнюк Дмитро Володимирович – аспірант Вінницького національного аграрного університету, викладач Ладижинського коледжу ВНАУ (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладижин, Вінницька область, Україна, 24321, e-mail: dima061999@yahoo.com).

Присяжнюк Дмитрій Владимирович – аспірант Вінницького національного аграрного університету, преподаватель Ладыжинского колледжа ВНАУ (ул. П. Кравчика, 3, г. Ладыжин, Винницкая область, Украина, 24321, e-mail: dima061999@yahoo.com).

Prysyazhnyuk Dmytro – postgraduate of Vinnytsia National Agrarian University, teacher of the Ladyzhyn college of VNAU (P. Kravchyka str., 5, Ladyzhyn, Vinnytsia region, Ukraine, 24321, e-mail: dima061999@yahoo.com).