

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СУШІННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ СУШАРКОЮ МОДЕЛІ STELA AGRODRY MDB-XN 4/15-SU В ЖОРСТКОМУ РЕЖИМІ

Новохацький М., канд. с.-г. наук, доц.,
e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>

Занько М., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>),

Шустік Л., канд. техн. наук, ст. наук. спів роб.,
e-mail: shustik@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>,

Гайдай Т., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета досліджень: визначення зміни вмісту вологи та її випаровування із зерна кукурудзи в процесі сушіння в жорсткому режимі зерносушарки шахтного типу Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU.

Методи і матеріали. Дослідження процесу сушіння, вмісту та випаровування вологи із зерна кукурудзи, проведені за результатами експериментальних досліджень якості функціонування зерносушарки Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU. Сушарка встановлена на відкритому майданчику зернового елеватора. Теплоагент з температурою +110 °С формувався газовим плоским пальником «Roses & Wayler». Процес подачі теплоагента в шахту сушарки був стабільний та однорідний. Сушіння проводилось у безперервному жорсткому режимі, тобто значному зниженні вологи з 35 % до 13,5 % за один прохід через зерносушарку. Її продуктивність за таких умов становила 60 т/год. Час проходження зерна через сушарку від моменту завантаження до вивантаження становив 5 годин. Вологість зерна в потоці по висоті шахти вимірювався датчиками вологості сушарки. Вимірні дані реєструвалися та відображалися як цифрові результати вимірювання.

Оцінку якості зерна виконано візуально – органолептичним методом. Для аналізу вмісту та випаровування вологи в зерні кукурудзи залежно від часу сушіння способом моделювання побудовані графічні залежності.

Результати. За результатами однофакторних експериментальних досліджень отримано статистичні дані вмісту вологи в зерні кукурудзи та під час її випаровування впродовж часу сушіння – 5 годин. Відповідно до них побудовано графіки зміни вмісту та випаровування вологи в процесі сушіння зерна. Результати свідчать, що на початку сушіння та за значної початкової вологості зерна (35 %) сушарка за одну годину знижує вологість до 7 %. На завершальному етапі сушіння, коли вологість зерна близька до кондиційної (наприклад, 15,5 % чи 13,5 %) зменшення вологи за годину сушіння становить всього 1 %. Загалом же за один прохід через сушарку вологість зерна зменшилася на 21,5 %. Такий режим сушіння зерна за один прохід зерна через сушарку характеризується як жорсткий. Органолептична оцінка свідчить, що незважаючи на такий жорсткий режим сушіння зерно зберегло всі вихідні показники, які характеризують його високу якість. Цього досягнуто завдяки здатності сушарки цього конструкційного виконання відбирати із зерна на заключному етапі сушіння незначну кількість вологи – всього 3-2 % за 1 годину сушіння.

Аналіз результатів досліджень показує, що з початком сушіння вміст вологи в зерні зменшується. За тривалості сушіння до 3 годин спостерігається інтенсивний вихід вологи через оболонку зерна: віддача вологи зерном за 1 годину сушіння значна та інтенсивна і становить від 7 % до 4 %. Вміст вологи в зерні за такого режиму сушіння в цей період значно зменшився: від 35 % до 18,5 %. Подальше зменшення вмісту вологи в зерні, в процесі його переміщення по сушильних та охолод

жувальних секціях, щадніше і спостерігається на рівні 2 %. Вологість зерна за таких умов сушіння зменшилась від 18,5 % до регламентованої для зберігання 13,5 %.

Інтенсивніше випаровування води із зерна в процесі сушіння сушарка забезпечує на початку сушіння – 1,5 %, і щадніше – 1 % на завершальній стадії сушіння.

Для порівняння ефективності сушіння шахтних сушарок виробництва різних фірм необхідно розділити їхній об'єм на продуктивність, звідки отримуємо час проходження зерна через сушарку. У випадку сушіння зерна з 35 % до 13,5 % та проходження ним сушарки Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU і для зменшення вологи потрібно $317 \text{ т} : 60 \text{ т/год} = 5 \text{ год}$. У сушарок інших фірм за такої місткості і за такого розрахунку виходить близько 3 годин. Здавалось би, що ці сушарки працюють продуктивніше і в такому ж температурному режимі сушіння зменшує вологу набагато швидше. Втім, це не так, адже такий прискорений режим негативно позначається на якості зерна, яке сушиться, бо зерно за такого інтенсивного позбавлення вологи тріскається. Зерно, висушене в сушарці Stela AgroDry MDB-XN 4/15-SU, показує відсутність тріщин в зерні та свідчить про здатність сушарки до щадного сушіння.

Висновки. Зернова сушарка шахтного типу Stela AgroDry MDB-XN 4/15-SU відповідно до конструкції та прийнятого технологічного режиму роботи забезпечує жорсткий режим сушіння зерна кукурудзи зі стартовою вологістю 35 % – інтенсивне зменшення вмісту і випаровування вологи в початковий період сушіння та подальший щадний режим зняття вологи (на рівні 2 %) до остаточної вологості зерна 13,5 % за одноразовий прохід зерна через сушарку. Якість висушеного зерна – відсутність механічного пошкодження зерна, властивого для такого режиму сушіння сушарками шахтного типу, забезпечується.

Ключові слова. Сушіння зерна, зерносушарка, режим сушіння, вміст вологи в зерні, випаровування води, віддача вологи зерном.

Вступ. Основна вимога до якості функціонування сушарок шахтного типу – забезпечення щадного забору вологи із глибоких внутрішніх шарів зернини на останньому етапі сушіння зерна. Недотримання її призводить до пошкодження зерна – виникають мікротріщини, які руйнують зерно. Таке явище спостерігається внаслідок теплового шоку, якого зазнає зерно. Особливістю кукурудзи, стосовно сушіння порівняно з іншими культурами, є її низька вологовіддача, яка залежить від розміру зернин, геометричної форми, фізичної будови, хімічного складу. Чим вища початкова вологість зерна, тим щаднішим за температурою теплоносія і тривалості за часом повинен бути процес сушіння. Щадність такого процесу може полягати в кількаразовому проході зерна через шахтну сушарку, коли волога зменшується невеликими порціями. Так убезпечується пошкодження оболонки і утворення тріщин в зерні. Однак такий режим сушіння обумовлює збільшення затрат та зниження економічності процесу сушіння.

Фізико-хімічний склад, який харак-

теризує якість зерна, також залежить від типу сушіння. Для управління якістю зерна необхідно контролювати температуру сушіння і повітря в сушарці. Контроль цих параметрів впливає на зменшення фізичного пошкодження зерен під час теплообміну. Моделювання цього процесу, пошук рівноваги між швидкістю сушіння та продуктивністю переміщення зерна в тепловому потоці необхідні для різних типів зерен [Coradi, Maldaner and others, 2020].

Дослідження свідчать, що швидкість висихання насінини обмежується швидкістю дифузії вологи із центра насінини – ядра, яка зменшує продуктивність сушіння. Прискорення дифузії вологи можливе завдяки застосуванню вищої температури під час сушіння. Однак температура за цих умов повинна бути обмежена до 115 °С, щоб зберегти якість зерна [Sopongonarit, Prachayawarakorn, 1994].

Температура сушіння впливає на фізіологічні параметри, пов'язані з проростанням насіння кукурудзи. Посіви, отримані з зерна, висушеного за 50 °С, мають значно меншу масу стебел і коренів та

відсоток схожості ніж посіви, вирощені з зерна, висушеного за 35 °С [Seyedin, Burris and others, 1984].

Ефективність процесу сушіння продовольчого зерна кукурудзи – час висихання та зменшення вологи в зерні в процесі сушіння – досліджено за температури 50 °С, 60 °С і 70 °С. Початкова вологість зерна становила в середньому 26-30 %, висушене зерно мало вологість 12-14 %. Інтенсивність сушіння становила 1,2-1,8 % вологи за 1 годину експлуатаційного часу. Якість висушеного зерна за трьох різних шадних температур, була прийнятною: коли в процесі охолодження повільно витягуються надлишкові кінцеві 1-2 % вологи в зерні це запобігає тепловому удару та стресовим тріщинам [Syariffuddeen, Yahya and others, 2020].

Якість кукурудзи є найвищою під час збору врожаю і тому необхідно негайно сушити щойно зібрану кукурудзу до безпечного рівня вологи: до 15,5 % вологості, коли вона може бути оперативно продана та до 12,0 %, якщо є потреба в його подальшому зберіганні протягом кількох місяців [Електронний ресурс. On-Farm Corn Drying and Storage. https://www.uaex.edu/farm-ranch/crops-commercial-horticulture/Grain_drying_and_storage/corn_drying_and_storage.aspx].

Ключові характеристики, які визначають швидкість сушіння кукурудзи та кінцевий вміст вологи – температура та відносна вологість повітря. Рівномірний розподіл повітря по шахті сушарки забезпечує уникнення гарячих точок, які призводять до псування зерна. Втрата ваги зерна в процесі сушіння в основному пов'язана із втратою води, виходом деяких летких сполук, руйнуванням ядра та диханням самого насіння [Edwards, 2014].

Для ефективного сушіння зерна – насінневого, промислового, фуражного або харчового необхідно знайти баланс між швидкістю теплотоку та температурою, які проводять процес сушіння як можна швидше та без пошкодження зерна. Цей баланс досягається завдяки сушінню за різних, залежно від вологості зерна на

вході й виході, зовнішніх температур і вологості, а також форми зерна [Електронний ресурс. Discover how to quickly dry corn to reduce losses – Mecmar. <https://www.mecmargroup.com/en/lp/calcolatore-costi-essiccazione>].

Питома вага кукурудзи зазвичай збільшується у процесі сушіння, оскільки твердий крохмаль у кукурудзяному зерні щільніший за воду. Повільне сушіння зерна за нижчих температур може збільшити питому вагу більше ніж швидке сушіння за вищої температури, а також знижує теплове навантаження та вірогідність розтріскування [Dyck, 2019].

Для зменшення пошкодження ядра насінини від тепла рекомендується припинити використання природного повітря та низькотемпературних систем. У вересні під час збирання кукурудзи умови сушіння кукурудзи виглядають так, ніби вони є чудовими, але умови можуть швидко змінитися і потрібно бути готовим до цього [Dyck, 2019].

Регулюючи частоту та тривалість випускного відвантаження зерна з сушарки можна керувати швидкістю проходження зерна через колону, а також змінювати температуру гарячого повітря та рівень охолодження, що призводить до бажаної швидкості зниження вологості зерна [Електронний ресурс. https://www.perryofoakley.co.uk/products/continuous-mixed-flow-drier-premium-level?gclid=EAIaIQobChMI5oLQup6o9wIViqmyCh1GXwQKEAMYAiAAEgJUPfD_BwE, 2021].

Серед великої кількості чинників впливу на термін зберігання зерна найбільший вплив мають способи збирання, сушіння й очищення [Гузь, 2017].

Всі сушарки, як правило, мають конструкційну поверхню, виготовлену з металу [Занько, 2020]. Внаслідок втрат тепла корпусом сушарки спостерігається недостатнє нагрівання зерна біля його зовнішньої поверхні. А це призводить до зменшення ефективності і продуктивності сушіння та збільшує його вартість, оскільки за меншої температури нагрівання менше видаляється вологи.

У технології сушіння зерна широкого застосування набув технологічний прийом активного вентилявання [Кирпа, 2016], коли зерно в сушарці не досушується до встановлених 14 % вологості (зернові культури, кукурудза), а тільки до вологості 15-16 %. Наднормові 1-2 % вологості знімаються у вентиляційному бункері, куди надходить зерно із сушарки.

Процес природного висихання зерна кукурудзи в польових природних умовах, залежить, зокрема, від біологічних особливостей гібридів [Кирпа, 2018].

Процес сушіння зерна в сушарках визначається рядом факторів, зокрема – продуктивністю сушіння та незалежністю від умов навколишнього середовища, які визначають «ставлення» сушарки певного типу до швидкості та тривалості сушіння [Кравчук та інші, 2011]. Встановлено, що продуктивність сушіння зерна перебуває в безпосередній залежності від температури атмосферного повітря.

До факторів, які в значній мірі визначають процеси сушіння зерна в сушарці, відносяться погодні умови – тиск, вологість та температура атмосферного повітря [Занько, 2020].

Як наслідок представлених результатів досліджень можна зробити висновки, що в практиці застосовуються всі можливі температурні режими та способи сушіння зерна. Однак в них не розкриті питання нюансів процесу швидкого залишення зерна вологою та його вплив на якість зерна – збереження ним своєї цілості. Також не висвітлені питання технічного забезпечення досліджуваного процесу. Сушіння в жорсткому режимі збільшило б продуктивність та економічність сушарки, на що й спрямовано використання сушарок всіх типів.

Постановка завдань. *Мета досліджень:* визначення вмісту і випаровування вологи із зерна кукурудзи та його якості в процесі сушіння в жорсткому режимі зерносушарки шахтного типу Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU.

Завдання досліджень: провести експериментальні дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи з високою вологістю в

жорсткому температурному режимі – до 115°C з одноразовим проходом через сушарку шахтного типу Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU. Встановити зміну вмісту та інтенсивність випаровування вологи із зерна на початку та на завершальній стадії сушіння. На основі отриманих статистичних даних побудувати залежність вмісту вологи у зерні в процесі та від часу сушіння.

Методи і матеріали. Дослідження процесу сушіння, вмісту та випаровування вологи із зерна кукурудзи проведені за результатами експериментальних досліджень зерносушарки Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU в господарських умовах зони Полісся України в жовтні місяці 2019 року. Сушарка була на відкритому майданчику зернового елеватора. Процес подачі теплоагента в шахту сушарки був стабільний та однорідний завдяки постійній нормі утворення та подачі вентиляторами. Теплоагент з температурою +110 °C формувалася газовим плоским пальником «Roses & Wayler». Сушіння проводилось у безперервному жорсткому режимі – зниження вологи з 35 % до 13,5 % за один прохід через зерносушарку. Її продуктивність за таких умов становила 60 т/год. За місткості шахти 317 тонн зерна час проходження зерна через сушарку становив 5 год. Вологість зерна в потоці по висоті шахти вимірювалась датчиками вологості типу Trime-GW, які є частиною системи автоматичного управління вологістю FRA 450-2 сушарки. Ці датчики вимірюють вологість зерна в режимі онлайн. Виміряні дані реєструються регулятором та відображаються як цифрові результати вимірювання. Точність вимірювання вологості зерна – +/- 0,5 %. Температура зерна у різних місцях усередині сушарки вимірює спеціалізований температурний датчик, який входить в комплект сушарки.

Статистичні показники, які характеризують вміст та випаровування вологи в зерні кукурудзи впродовж часу сушіння отримано за результатами експериментальних досліджень – під час його сушіння в зерносушарці Stela Agro Dry

MDB-XN 4/15-SU. Оцінку якості зерна виконано органолептичним методом. Для аналізу вмісту та випаровування вологи в зерні кукурудзи залежно від часу сушіння побудовані залежності графічним моделюванням.

Результати. За результатами однофакторних експериментальних досліджень отримано статистичні дані вмісту вологи в зерні кукурудзи під час її випаровування впродовж часу сушіння – 5 годин (табл. 1). Також побудовано графіки залежності вмісту вологи у зерні (рис. 1) та випаровування вологи (рис. 2) в процесі сушіння. Результати показують (рис. 1), що за значної початкової вологості зерна (35 %) на початку сушіння сушарка за одну годину знижує до 7 % вологи. На завершальному етапі з вологістю зерна, яка близька до кондиційної (наприклад, 15,5 % чи 13,5 %) зменшення вологи за годину сушіння становить всього 1 %. Загалом же за один прохід через сушарку вологість зерна зменшується на 21,5 %. Такий режим сушіння характеризується як жорсткий. Разом з тим, органолептична оцінка показує, що незважаючи на жорсткий режим сушіння і наслідки, які для нього властиві, зерно зберегло всі вихідні показники, які характеризують його якість. Цього досягнуто, насамперед, завдяки здатності сушарки зменшувати на заключному етапі сушіння незначну кількість вологи – всього 2-3 % за 1 годину сушіння.

Аналіз результатів досліджень показує, що з початком сушіння вміст вологи в зерні зменшується. За тривалості сушіння до 3 годин спостерігається інтенсивний вихід вологи через оболонку зерна. У цей час віддача вологи зерном за 1 годину сушіння значна і становить від 7 % до 4 % (табл. 1) і характеризується як інтенсивна.

Вміст вологи в зерні за такого режиму сушіння в цей період значно зменшився: від 35 % до 18,5 %. Подальше зменшення вмісту вологи в зерні, в процесі його переміщення по сушильних та охолоджувальних секціях більш щадне і спостерігається на рівні 2 %. Вологість зерна за

таких умов зменшилась від 18,5 % до регламентованої та допустимої до зберігання 13,5 % (рис. 1).

Інтенсивніше випаровування води із зерна в процесі сушіння сушарка забезпечує на початку сушіння – 1,5 %, і щадніше – 1 % на завершальній стадії сушіння (рис. 2).

Таблиця 1 – Зміна вмісту та випаровування вологи в зерні кукурудзи під час сушіння

Час сушіння, хв.	Вміст вологи, %	Випаровування води, %
1	2	3
0	35	0
60	28	7
120	22,5	5,5
180	18,5	4
240	15,5	3
300	13,5	2

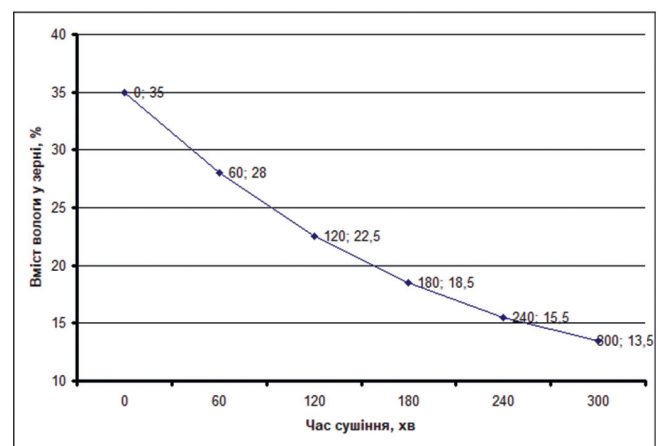


Рисунок 1 – Залежність вмісту вологи у зерні в процесі сушіння

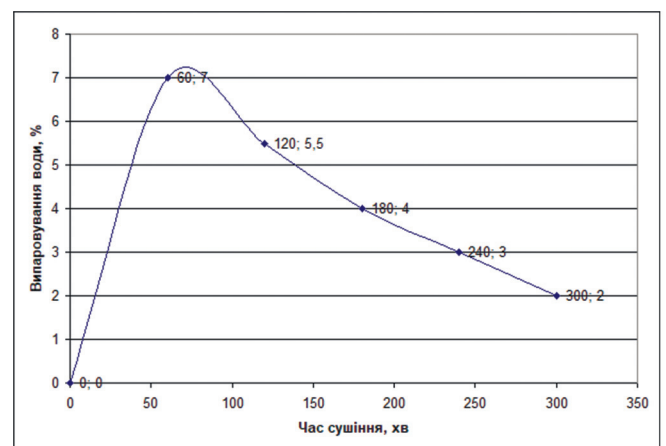


Рисунок 2 – Випаровування води із зерна в процесі сушіння

Для порівняння ефективності сушіння шахтних сушарок різних фірм - виробників необхідно розділити їхній об'єм на продуктивність, звідки отримуємо час проходження зерна через сушарку. У випадку сушінні зерна з 35 % до 13,5 % та проходження ним сушарки Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU і для зменшення вологи потрібно: $317 \text{ т} : 60 \text{ т/год} = 5 \text{ год}$. У сушарок інших фірм за такої місткості і за такого розрахунку виходить близько 3 годин.

Здавалось би, що ці сушарки працюють продуктивніше і в такому ж температурному режимі сушіння зменшують вологу набагато швидше. Втім, це не так, адже такий прискорений режим негативно позначається на якості зерна, яке сушиться, бо зерно за такого інтенсивного позбавлення вологи тріскається. Висушене таким способом зерно – не пошкоджене механічно і не має видимих зовнішніх ознак пошкодження оболонки зернини. Воно також має всі показники збереженої якості: колір, стан зовнішньої оболонки, характерний природний блиск та свідчить про здатність сушарки Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU до щадного сушіння вологого зерна в жорсткому, разом з тим, продуктивному режимі.

Обговорення. Однозначно можна стверджувати, що якість зерна управляється температурою сушіння і повітря та потоком зерна в сушарці. Контроль цих параметрів впливає на зменшення фізичного пошкодження зерен під час теплообміну. Моделювання цього процесу, пошук рівноваги між швидкістю сушіння та продуктивністю переміщення зерна в тепловому потоці, необхідне для різних типів зерен. Вибір найкращих варіантів сушіння та зберігання, відповідно до регіону, мінімізує втрати [Coradi, Maldaner and others, 2020].

Спосіб сушіння є основоположним фактором для збереження вихідної якості зерна [Coradi, Maldaner and others, 2020]. Підвищення температури прискорює зменшення вологості зерна, але призводить до погіршення його стану. Надмір-

не сушіння зерен, зменшення вмісту води нижче регламентованих значень для зберігання, призводить до кількісних та якісних втрат зернової маси.

Прискорення дифузії вологи із ядра зернини можливе через застосування вищої температури під час сушіння. Однак температура за таких умов повинна бути обмежена до 115 °С, щоб зберегти якість зерна. Здатність сушарки до збільшення продуктивності, тобто віддача зерном вологи, зростає зі збільшенням питомих витрат повітря та температури теплоагента [Soponronnarit, Prachayawarakorn, 1994].

Електропровідність фільтрату з кукурудзяної муки є вищою для насіння, висушеного за 50 °С ніж за 35 °С і говорить про пошкодження зовнішньої оболонки зернини. Збільшене вимивання моносахаридів з насіння, висушеного за 50 °С, порівняно з насінням, висушеним за 35 °С, вказує на пошкодження мембранної оболонки. Висока температура на ранніх стадіях процесу сушіння призводить до гідролізу крохмалю в зародковому ембріоні [Seyedin, Burris and others, 1984].

Повільне охолодження кукурудзи покращує якість зерна та питому масу, а також знижує витрати на сушіння. За такого режиму сушіння гарячу кукурудзу (110-130 °F з вологістю 16-17 %) можна помістити прямо із сушарки в бункер для зберігання з великим вентилятором (потужністю 1 к. с. на 5000 бушелів зерна). Увімкнений вентилятор з певним режимом роботи піддає зерно повільному охолодженню протягом одного-двох тижнів, повільно витягує останні 1-2 % вологи, запобігаючи «тепловому удару» та розтріскуванню, які часто виникають за швидшого охолодження кукурудзи [Dyck, 2019].

Виробники кукурудзи воліють, щоб їхній урожай висох природним способом у полі перед збиранням урожаю. Це знижує вартість штучного сушіння врожаю. Підраховано, що незібрана кукурудза може висихати зі швидкістю від 0,3 бала вологості на день у вологу прохолодну погоду і до 1,0 бала на день у спекотну та суху погоду. Американське товариство

сільськогосподарських та біологічних інженерів припускає, що кожен день затримки збирання врожаю може призвести до втрати врожаю на 0,3 %. Навіть після того, як кукурудза висохне в полі, виробникам все одно доведеться вибирати варіанти рішень її остаточного досушування [Edwards, 2014].

Через велику кількість зібраного врожаю та малосприятливий малий період встигання в осінній час природним способом зерно сушиться в невеликих обсягах, оскільки в цей час теплової потужності сонячного випромінювання недостатньо для випаровування зайвої вологи в зерні. Щоб прискорити процес сушіння практикують відкладання збору врожаю до подальшого зниження вологості зерна, збільшуючи ймовірність небажаних процесів та явищ: самобродіння, нападу комах, грибків. Крім того, сушіння кукурудзи в полі також пов'язане зі шкідливим впливом несприятливих погодних умов.

Залежно від потреб та характеристик врожаю, а також від передбачуваного використання кукурудзи мобільні сушарки Mecmar є кращим рішенням для сушіння невеликих (мінімум 3 тонни продуктів) або середніх об'ємів (наприклад, 25 тонн) зерна або для тих, кому необхідно висушити кілька різних партій зерна.

Для великих обсягів зерна кукурудзи компанія Mecmar пропонує баштові сушарки безперервної дії. Це рішення також забезпечує оптимальне сушіння без термічних змін і коли зерно поступово охолоджується після етапу сушіння, так що температура зерна всього на 6-7 °C вище температури навколишнього середовища. Ці сушарки забезпечують рекуперацію тепла зерна на етапі охолодження. Після обробки зерно піддається поступовому охолодженню, щоб потрапити в зону розвантаження охолодженим до кімнатної температури.

Можливе сушіння зерна в початках до 14-15 тонн кукурудзи за добу. Таке сушіння дає змогу сушити зерно в режимі, який забезпечує захист зародка протягом усього процесу сушіння та забезпечує ви-

сокий рівень проростання висушеного зерна. Наявність у конструкції сушарки теплообмінника робить сушарку ідеальною для бережливого та щадного сушіння зерна з використанням тільки гарячого та чистого повітря без продуктів спалювання біопалива [Електронний ресурс. Discover how to quickly dry corn to reduce losses – Mecmar. <https://www.mecmargroup.com/en/lp/calcolatore-costi-essiccazione>].

Для ефективного сушіння кукурудзи, особливо в сезон збирання з холодною та вологою погодою, пропонується [Електронний ресурс. Ways To Dry Corn More Efficiently. United States <https://www.farmprogress.com/node/281088>] не використовувати природне повітряне або низькотемпературне сушіння зерна кукурудзи з вологістю більше 21 %. Також необхідно обмежити рівень зерна кукурудзи у бункерах, щоб отримати належну швидкість повітряного потоку для сушіння. Під час тривалих періодів дощу, снігу або туману, щоб мінімізувати кількість вологи, яку вентилятори зтягують у контейнер, потрібно вимикати вентилятори вентиляційних бункерів. У разі високотемпературного сушіння доцільно використовувати максимальну температуру сушіння, яка не пошкодить кукурудзу. Випарне охолодження відбувається за вищого вмісту вологи і ядро зернини внаслідок цього не піддається впливу тепла, тому це зменшує вірогідність появи тріщин та розрив ядра. Щоб зменшити пошкодження від тепла необхідно використовувати комбіноване сушіння. Сушити кукурудзу з вологістю від 28 % до 20 % необхідно високотемпературною сушаркою і в такому стані можна зберігати її зимою. А потім потрібно висушити її до вологості для зберігання навесні, використовуючи природне повітряне сушіння або навіть високотемпературну сушарку. Охолодження висушеного зерна рекомендується робити відразу після переміщення кукурудзи із сушарки у вентиляційний бункер для зберігання.

Висновки. Зернова сушарка шахтного типу Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU відповідно до конструкції та прийнятого

технологічного режиму роботи забезпечує жорсткий режим сушіння зерна кукурудзи зі стартовою вологістю 35 % – інтенсивне зменшення вмісту і випаровування вологи в початковий період сушіння та подальший щадний режим зняття вологи (на рівні 2 %) до остаточної вологості зерна 13,5 % за одноразовий прохід зерна через сушарку.

Якість висушеного зерна – відсутність механічного пошкодження зерна, властивого для такого режиму сушіння сушарками шахтного типу, забезпечується.

Перелік літератури

Гузь М., Сиволапов В., Мартіна Н., Марченко В. (2017), Чинники, що визначають тривалість зберігання зерна. Журнал Агроексперт, №8.

Занько М. (2020) Якість висушеного збіжжя: залежність вологості зерна від технічних факторів та погодних умов. Журнал Пропозиція. №296. С. 146-149.

Кирпа М. (2016). Семь способов сушки зерна. Активное вентилирование – способ сушки зерна без термической обработки. Журнал «Зерно», №11.

Машины, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки і зберігання зернових культур (2011): Посібник (колектив авторів за ред. В.І. Кравчука). Дослідницьке. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 224 с.

Електронний ресурс. On-Farm Corn Drying and Storage. https://www.uaex.edu/farm-ranch/crops-commercial-horticulture/Grain_drying_and_storage/corn_drying_and_storage.aspx

Електронний ресурс. Discover how to quickly dry corn to reduce losses – Mecmar. <https://www.mecmargroup.com/en/lp/calcolatore-costi-essiccazione>

Електронний ресурс. Ways To Dry Corn More Efficiently. United States <https://www.farmprogress.com/node/281088>

Електронний ресурс. PREMIUM LEVEL GRAIN DRIER (SAVANNAH SERIES). (2021). <https://www.perryfoakley.co.uk/products/continuous-mixed-flow-drier-premium-level?gclid=EAIaIQobChMI>

5oLQup6o9wIViqmyCh1GXwQKEAMYAiAAEgJUPfD_BwE

Amir Syariffuddeen M. A. 1*, Yahya S. 1., Ruwaida A. W. 1., Zainun M. S. 1., Shahrir A., Azman H., Shafie A., Zaimi Z. A. M., Hafiz M. A. T. M., Amir Redzuan S., Aliq J., Shukri J., Faewati A. K., Mohsin, Y. (2020). Evaluation on Drying Temperature of Grain Corn and Its Quality using Flat-bed Dryer. https://www.researchgate.net/publication/341932363_Evaluation_on_Drying_Temperature_of_Grain_Corn_and_Its_Quality_using_Flat-bed_Dryer

James Dyck (2019). Corn: Drying, Storing Grain with Low Test Weight. OMAFRA. <http://fieldcropnews.com/2019/10/drying-and-storing-corn-with-low-test-weight/>

N. Seyedin, J. S. Burris, T. E. Flynn. (1984). Physiological studies on the effects of drying temperatures on corn seed quality. Canadian Journal of Plant.

Paulo Carteri Coradi, Vanessa Maldaner, Iverson Lutz, Paulo Vinncius da Silva Дан, Paulo Eduardo Teodoro. (2020). Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78914-x>.

S. Soponronnarit, S. Prachayawarakorn. (1994). Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. Drying Technology. Taylor & Francis

William Edwards (2014). Corn Drying and Shrink Comparison. Iowa State University AG DECISION MAKER. Extension and Outreach. Ag decision maker. <https://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/html/a2-32.html>

References

Amir Syariffuddeen M. A. 1*, Yahya S. 1., Ruwaida A. W. 1., Zainun M. S. 1., Shahrir A., Azman H., Shafie A., Zaimi Z. A. M., Hafiz M. A. T. M., Amir Redzuan S., Aliq J., Shukri J., Faewati A. K., Mohsin, Y. (2020). Evaluation on Drying Temperature of Grain Corn and Its Quality using Flat-bed Dryer. https://www.researchgate.net/publication/341932363_Evaluation_on_Dry-

ing_Temperature_of_Grain_Corn_and_Its_Quality_using_Flat-bed_Dryer

Electronic resource. On-Farm Corn Drying and Storage. https://www.uaex.edu/farm-ranch/crops-commercial-horticulture/Grain_drying_and_storage/corn_drying_and_storage.aspx

Electronic resource. Discover how to quickly dry corn to reduce losses - Mecmar. <https://www.mecmargroup.com/en/lp/calcolatore-costi-essiccazione> Electronic resource. Ways To Dry Corn More Efficiently. United States <https://www.farmprogress.com/node/281088>

Electronic resource. PREMIUM LEVEL GRAIN DRIER (SAVANNAH SERIES). (2021). https://www.perryfoakley.co.uk/products/continuous-mixed-flow-drier-premium-level?gclid=EAIaIQob-ChMI5oLQup6o9wIViqmyCh1GX-wQKEAMYAiAAEgJUPfD_BwE

Guz M., Sivolapov V., Martina N., Marchenko V. (2017), Factors determining the duration of grain storage. *Agroexpert Magazine*, №8.

James Dyck (2019). Corn: Drying, Storing Grain with Low Test Weight. OMAFRA. <http://fieldcropnews.com/2019/10/drying-and-storing-corn-with-low-test-weight/>

Kirpa M. (2016). Seven ways to dry grain. Active ventilation is a method of drying grain

without heat treatment. *Zerno Magazine*, №11.

Machines, units and complexes for post-harvest processing and storage of grain crops (2011): Manual (team of authors edited by V. I. Kravchuk). *Doslidnytske. L. Pogori-lyy UkrNDIPVT*. 224 s.

N. Seyedin J. S. Burris T. E. Flynn. (1984). Physiological studies on the effects of drying temperatures on corn seed quality. *Canadian Journal of Plant*.

Paulo Carteri Coradi, Vanessa Maldaner, Iverson Lutz, Paulo Vinicius da Silva Dan, Paulo Eduardo Teodoro. (2020). Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78914-x>.

S. Soponronnarit, S. Prachayawarakorn. (1994). Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. *Drying Technology*. Taylor & Francis

William Edwards (2014). Corn Drying and Shrink Comparison. Iowa State University AG DECISION MAKER. Extension and Outreach. *Ag decision maker*. <https://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/html/a2-32.html>

Zanko M. (2020) Quality of dried grain: dependence of grain moisture on technical factors and weather conditions. *Magazine Offer*. №296. Pp. 146-149.

UDC 631.365:001.8

RESEARCH QUALITY DRYING OF CORN GRAIN DRYER MODEL STELA AGRODRY MDB-XN 4/15-SU IN HARD MODE

Novokhatsky M., PhD in Agronomy, associate professor
e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>
Zanko M., Ph. D. Tech. Scs, Art. Science. collaborator,
<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,
Shustik L., Ph. D. Tech. Scs, Art. singing work,
e-mail: shustik@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>,
Gaidai T., Ph. D. Tech. Scs, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>,
L. Pohorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of research: to determine the change in the content and evaporation of moisture in the grain of corn in the process of drying in the hard mode of the grain dryer of the mine type Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU.

Methods and materials. *Studies of the process of drying, content and evaporation of moisture from corn grain were carried out based on the results of experimental studies of the quality of functioning of the grain dryer Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU. The dryer was located on the open area of the grain elevator. The formation of the heating agent with a temperature of +110 °C was carried out with the participation of a gas flat burner "Roses & Wayler". The process of supplying the coolant to the dryer shaft was stable and homogeneous. Drying was carried out in a continuous rigid mode: a significant reduction in moisture - from 35 % to 13.5 % in one pass through the grain dryer. Its productivity under such conditions was 60 t / h. The time of passage of grain through the dryer - from loading to unloading was 5 hours. Measurement of grain moisture in the stream, along the height of the mine, was carried out using the humidity sensors of the dryer. The measured data were recorded and displayed as digital measurement results.*

Assessment of grain quality was performed visually - organoleptic method. To analyze the content and evaporation of moisture in the corn grain, depending on the drying time, graphical dependences are built by modeling.

Results. *According to the results of one-factor experimental studies, statistical data were obtained on the moisture content of corn grain and during its evaporation during the drying time - 5 hours. In accordance with them, graphs of changes in the content and evaporation of moisture during the drying of grain. The results show that at the beginning of drying and at a significant initial grain moisture (35 %), the dryer reduces the humidity to 7 % in one hour. At the final stage of drying, when the grain moisture is close to the condition (for example, 15.5 % or 13.5 %), the decrease in moisture per hour of drying is only 1 %. In general, grain moisture decreased by 21.5 % in one pass through the dryer. This mode of drying grain in one pass of the grain through the dryer is characterized as rigid. Organoleptic evaluation shows that despite this - a strict regime of drying the grain has retained all the initial indicators that characterize its high quality. This is achieved due to the ability of the dryer to reduce a small amount of moisture at the final stage of drying - only 3-2 % for 1 hour of drying.*

Analysis of the research results shows that with the beginning of drying the moisture content in the grain decreases. For the duration of drying up to 3 hours there is an intensive release of moisture through the shell of the grain: the return of moisture by the grain for 1 hour of drying is significant and intense and ranges from 7 % to 4 %. The moisture content in the grain under this mode of drying during this period

decreased significantly: from 35 % to 18.5 %. Further reduction of the moisture content in the grain, in the process of its movement through the drying and cooling sections, is more gentle and is observed at the level of 2 %. Grain moisture under such drying conditions decreased from 18.5 % to 13.5 % regulated for storage. More intensive evaporation of water from the grain in the drying process, the dryer provides at the beginning of drying - 1.5 %, and more gentle - 1 % at the final stage of drying.

To compare the drying efficiency of mine dryers produced by different companies, it is necessary to divide their volume by productivity, where we get the time of passage of grain through the dryer. In the case of drying grain from 35 % to 13.5 % and passing it Stela Agro Dry MDB-XN 4/15-SU and to reduce moisture requires: $317 \text{ t} : 60 \text{ t/h} = 5 \text{ hours}$. The dryers of other companies with such a capacity and such a calculation takes about 3 hours. It would seem that these dryers work more productively and in the same drying temperature reduce moisture much faster. However, this is not the case, because such an accelerated regime has a negative effect on the quality of the grain being dried, because the grain cracks with such an intensive deprivation of moisture. The grain dried in the Stela AgroDry MDB-XN 4/15-SU dryer shows the absence of cracks in the grain and testifies to the dryer's ability to dry gently.

Conclusions. Grain dryer of the Stela AgroDry MDB-XN 4/15-SU mine type according to a design and the accepted technological mode of work provides a rigid mode of drying of corn grain with starting humidity of 35% - intensive reduction of content and evaporation of moisture in the initial period of drying and the subsequent gentle mode of removal of moisture. (at the level of 2%) to the final grain moisture of 13,5 % for a single passage of grain through the dryer. The quality of dried grain - the absence of mechanical damage to the grain, inherent in this mode of drying dryers mine type, is provided.

Key words. Grain drying, grain dryer, drying mode, grain moisture content, water evaporation, grain moisture recovery.