

© С.М. Ткаченко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

КЕРУВАННЯ ВОЛОГОЗЙОМОМ СУШАРКИ ЗЕРНА У ГРАВІТАЦІЙНОМУ РУХОМОМУ ШАРІ

© S. Tkachenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE MOIST REMOVING CONTROL OF THE GRAIN DRYER WITH A GRAVITATIONAL MOVING LAYER

Мета роботи. Розробити метод керування вологозйомом за даними вологості зерна із ідентифікацією коефіцієнта залежності вологозйому від швидкості вивантаження для застосування у автоматизованих системах керування сушарками зерна з гравітаційним рухомим шаром.

Методи дослідження. На основі відомих залежностей зміни вологості зерна у сушарці від тривалості сушки, швидкості сушки від вологості продукту, температури зерна від вологості, особливостей режиму роботи сушарок у гравітаційному рухомому шарі, існуючої інструкції з сушки зерна, а також існуючих систем керування процесом сушки запропонувати метод ідентифікації коефіцієнта лінійної залежності вологозйому від тривалості сушки для конкретних умов та алгоритм обчислення показника керуючого впливу на засоби вивантаження зерна з сушильної камери.

Результати. Розроблено алгоритм і методи обчислення для керування процесом вологозйому зерна у сушарках з гравітаційним рухомим шаром, які використовують вимірювання ковзаючої середньої вологості на вході та виході сушильної шахти з метою подальшої безперервної ідентифікації залежності вологозйому від початкового керуючого впливу на випускні механізми сушарки у поточному технологічному регламенті сушки. Це дозволяє зменшити відхилення вологості зерна на виході від цільової під збурюючим впливом, що являє собою флуктуації вологості вхідного зерна різних порцій чи партій. Показано задовільність алгоритму та методів для шахтних і секційних сушарок шляхом апробації на реальних об'єктах.

Визначено напрям подальших досліджень в бік розробки рекомендацій до підготовки збіжки для сушки та додаткової корекції керування випускними механізмами сушарок.

Наукова новизна полягає в розробці загального алгоритму керування вологозйомом для сушарок з гравітаційним рухомим шаром за показниками вологості на вході і виході сушильної камери такого, що може використовуватись в контурах управління процесом сушки зерна автоматизованих систем на базі промислових контролерів.

Практичне значення. Підвищення якості керування процесом вологозйому за рахунок зменшення людського фактору у процесі стабілізації вологості на виході сушильної камери за цільовою.

Ключові слова: вологозйом, сушка зерна, керування вологозйомом, ковзаюча середня вологість, контролер.

Вступ. Сушка зерна є однією з необхідних технологічних операцій підготовки та підтримки споживчої якості зерна під час зберігання. Ця операція забезпечує вологість зерна, необхідну для тривалого зберігання та додатково дозволяє

звільнити зерно від шкідників. Всі зернозберігаючі підприємства України, включаючи і малі елеватори фермерських господарств серед технологічного обладнання мають одну чи кілька сушарок зерна або, принаймні, користуються послугами сторонніх підприємств. В основному використовуються сушарки з принципом сушки у гравітаційному рухомому шарі: шахтні, секційні, іноді баштової конструкції з використанням електричних, пневматичних вивантажувальних механізмів періодичної або ротаційних безперервної дії.

Постановка проблеми. Не зважаючи на велику кількість робіт[1-5], написаних на тему сушки, керування процесом вологозйому на сьогодні відбувається в основному в частково автоматизованому (за температурними показниками), а в більшості випадків – у ручному режимі за інструкцією сушки зерна[1] та з можливістю ручного коригування випуску з сушки зерна за показниками вологоміру зерна у потоці, показниками експрес-аналізаторів чи тривалих вимірювань вологості за допомогою сушильної шафи. Пояснюється це тим, що відомі теоретичні залежності вологозйому від тривалості сушки та температури, швидкості сушки від цільового вологозйому не дозволяють отримати сталі кількісні показники, необхідні для автоматизації. Технологічні та споживі характеристики зерна відрізняються не лише для різних культур, але і для сортів однієї культури (а нові сорти і гібриди з'являються постійно), і навіть у межах сорту. Дійсно, один і той же сорт може бути засіяний на різних полях зі своїм станом ґрунтів, зібраним у різні періоди часу при різній погоді, по різному транспортуватись. Крім того, кліматичні умови кожного року для одного й того ж поля відрізняються. Все це призводить до того, що якість сушки і збереження споживчої якості залежить у значній мірі від досвіду і сумлінності сушильного майстра – людини, яка не лише має дотримуватись інструкції сушки, але і знає особливості керування сушаркою, на якій працює, особливо її поведінку під час запуску, зупинки, зміни температурних режимів, вхідної та цільової вологості.

Автоматизація вологозйому за даними вологості зерна, як прямим показником якості сушки, можлива шляхом регулювання швидкості переміщення гравітаційного рухомого шару, якщо у рамках визначеної культури проводити ідентифікацію залежності вологозйому від швидкості вивантаження.

Таким чином, виникає актуальна задача розробки методу керування вологозйомом за даними вологості зерна для реалізації відповідного контуру автоматичного управління на сушарках шахтного, секційного та баштового типів.

Мета досліджень. Розробити метод керування вологозйомом за даними вологості зерна із ідентифікацією коефіцієнта залежності вологозйому від швидкості вивантаження для застосування у автоматизованих системах керування сушарками зерна з гравітаційним рухомим шаром.

Викладання основного матеріалу. Розглянемо процес сушки зерна на прикладі роботи шахтної сушарки:

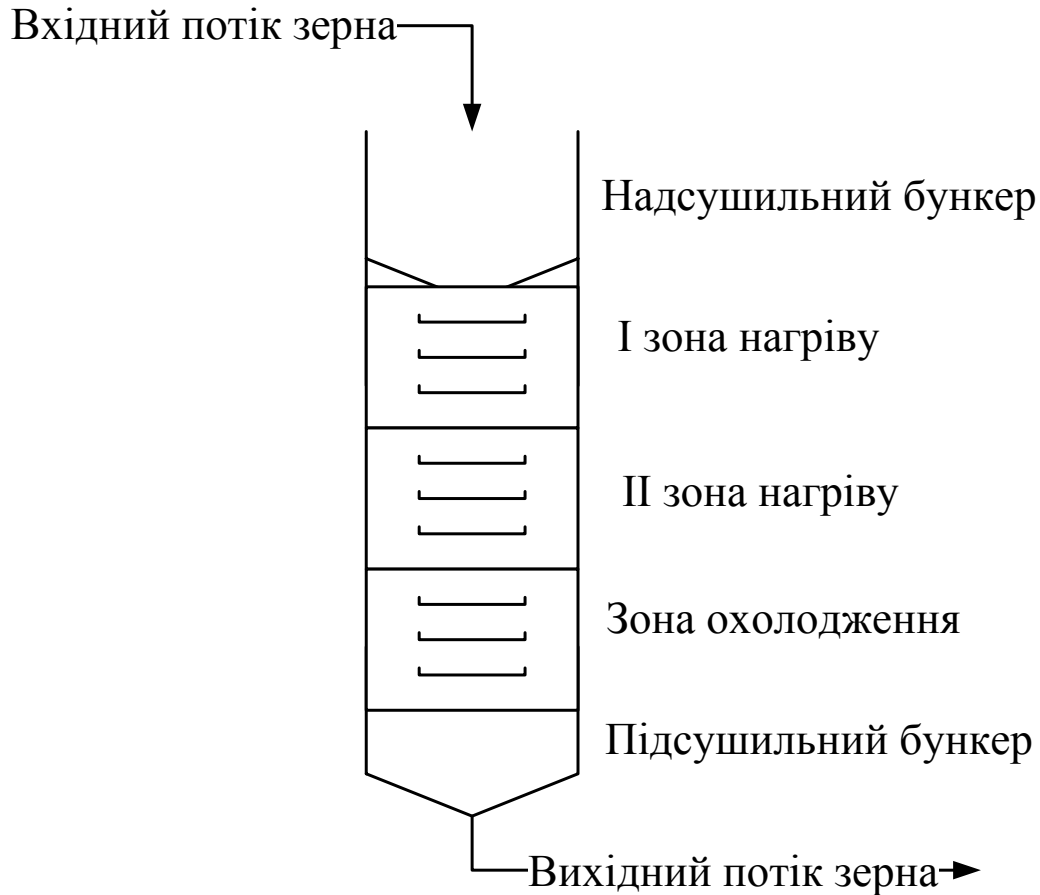


Рис. 1. Шахта сушарки з технологічними зонами

Зерно надходить у надсушительний бункер, звідки подається у зони нагріву. Надсушительний бункер крім того, утримує шар зерна, що перешкоджає виходу агента сушіння через нього.

У першій зоні нагріву зерно прогривається до технологічної температури сушіння. Та, деякий час, йде випаровування вологи з постійною швидкістю. Сушарки з гравітаційним рухомим шаром у другій зоні працюють у режимі зі спадаючою швидкістю випаровування вологи, тобто за так званою першою критичною точкою вологості[1]. При цьому температура наближається до температури агента сушіння, але її збільшення обмежене інструкцією з сушки зерна, де вказано, якою температурою необхідно сушити культуру для досягнення цільової вологості. Варто зазначити, що сушарки з гравітаційним рухомим шаром за один цикл сушки можуть зняти 6-8% об'ємної вологості, тому для сушки вологого зерна, наприклад, кукурудзи, використовують сушарки з двома шахтами, наприклад, ДСП-32[1], рециркуляцію або застосовують два-три цикли сушки.

У зоні охолодження зерно відлежується, віддаючи залишки вологи, як правило це 1-2% і досягає температури, за якої його можна відвантажувати. Якщо не передбачається продовження циклу сушки у наступній шахті, ре-

циркуляції чи використання окремого бункера охолодження, то ця температура не повинна перевищувати більше ніж на 10°C температуру оточуючого повітря.

Між підсушильним бункером і зоною охолодження сушарки розташовано пневматичний чи електромеханічний вивантажувальний механізм періодичної чи постійної дії. Він забезпечує вертикальне переміщення зерна під час сушки і визначає тривалість процесу. Сам підсушильний бункер подає струмень зерна на вивантажувальний транспортер під сушаркою

Спостереження за вологозйомом здійснюється сушильним майстром у ручному режимі за температурою зерна в кінці II зони нагріву, яка повинна відповідати тій, що вказана в інструкції з сушки зерна [1]. Якщо температура вища чи нижча, то він повинен змінити період між спрацюваннями вивантажувального механізму періодичної дії або частоту обертання валків механізму постійної дії. При цьому температура агенту сушіння може регулюватися автоматичним контуром по завданню від сушильного майстра згідно тієї ж інструкції або вручну, що складніше і менш якісно. Найгірший випадок, і для керування вологозйомом також, це використання для сушарки твердопаливного теплогенератора без засобів регулювання температури агента, наприклад на дровах. У такому разі, щоб перевищення рекомендованої температури агенту сушіння не зіпсувало зерно, тривалість його сушіння скорочується, і зерно буде недосушеним з, можливо, розтрісканою від короткочасного впливу високої температури оболонкою.

Таким чином, маємо дві точки вимірювання – точка вимірювання температури зерна у кінці другої зони нагріву і точка вимірювання температури агенту сушки. Зерно прогрівається не завжди рівномірно, тому зазвичай на одну шахту використовують два датчика температури зерна з боку виходу відпрацьованого агента сушіння і за справжню приймають нижчу температуру. Також можливе використання окремих теплопроводів для зон нагріву. Тоді також використовують два датчики, причому граничні температури агенту сушіння наведені в інструкції з сушки[1]. Можливе також використання ще двох точок вимірювання – температури зерна в кінці зони охолодження (на виході з сушарки) та температури повітря. Однак їх роль консультативна – якщо різниця між температурами зерна і повітря вище припустимої то або зерно потрібно охолоджувати на окремому обладнанні, або не сушити за такої погоди взагалі. Варіант знизити температуру агента сушки порівняно з інструкцією є нештатним. Розглянемо варіанти автоматизованого керування вологозйомом.

Досить поширена на підприємствах України французька сушарка Law Denis для керування вологозйомом використовує власну статистичну залежність вологозйому від температури зерна для цього, окрім вимірювання температури агенту сушіння застосовується 10-12 датчиків температури зерна, розміщених у різних точках сушарки, включаючи і зону охолодження. Сама залежність – комерційна таємниця, у відкритих джерелах інформації не опублікована і, оскільки вона статистична, підходить перш за все для сушарок Law Denis. Розробка аналогічних температурних методів вимірювання вологості не

представляється можливою через необхідність тісної співпраці з заводами-виробниками сушарок та значних вкладень у дослідження, що на сьогодні вітчизняним виробникам не цікаво.

Шахтні сушарки BONFANTI (Італія) використовують автоматизований режим сушки, куди входить керування вивантаженням, пальниками, вентиляторами і вологістю[6]. При цьому методи контролю не вказані, минулі, приблизно 2014р, впровадження використовували датчики температури зерна, але на сьогодні поряд з температурними встановлюються і датчики вологості. Їх чотири: на вході сушарки, на виході, два у зоні нагріву.

Сушарки Карлівського машинобудівного заводу використовують вологоміри зерна на виході і, як окрему опцію – вологомір зерна на вході, виробництва асоціації «Ельдорадо»[5]. Зокрема, система керування впроваджена 2014р. за участі автора до карлівської сушарки Brice-Baker 300 [7] (смт. Вороновиця, Вінницька область), мала у своєму складі два найпоширеніших в Україні вологоміри ПКТП СЗ[8] на вході і виході і надавала сушильному майстру інформацію про стан процесів. Таким чином, використання прямого вимірювання вологості для керування вологозйомом виглядає перспективно.

Якщо відкинути первісну обробку даних з вологості від вологоміра та питання узгодження чисельного вираження керуючого впливу зі способом керування обладнанням, сам метод керування вологозйомом має виглядати наступним чином. За показниками вологості зерна на вході та заданим цільовим вологозйомом має бути сформований керуючий вплив на пристрій вивантаження такий, щоб тривалість знаходження зерна у зоні нагріву дозволила б досягти цільового значення вологості. Дані з вологоміра на виході для формування керуючого впливу не підходять, оскільки це зерно досить довго знаходилося у зоні охолодження і з ним вже нічого не зробиш, тільки пересушувати чи відправляти на рециркуляцію. У зонах нагріву знаходиться інше зерно, можливо, з іншої партії і з іншою вхідною вологістю.

Вологомір зерна на виході початково призначений для оцінки вологості зерна на виході як результат проведеної сушки, що спрощує роботу лабораторії якості. За умови автоматичного керування вологозйомом ці дані можуть бути додатково використані для ідентифікації коефіцієнту пропорційної залежності вологозйому від показника керуючого впливу в умовах поточної культури, сорту зерна та температурного режиму сушіння.

Варто також врахувати показники датчиків температури зерна і у випадку його перегріву прискорювати вивантаження, оскільки недосушене зерно – кращий варіант ніж зіпсоване.

Таким чином алгоритм керування вологозйомом за показниками вологості буде виглядати наступним чином:

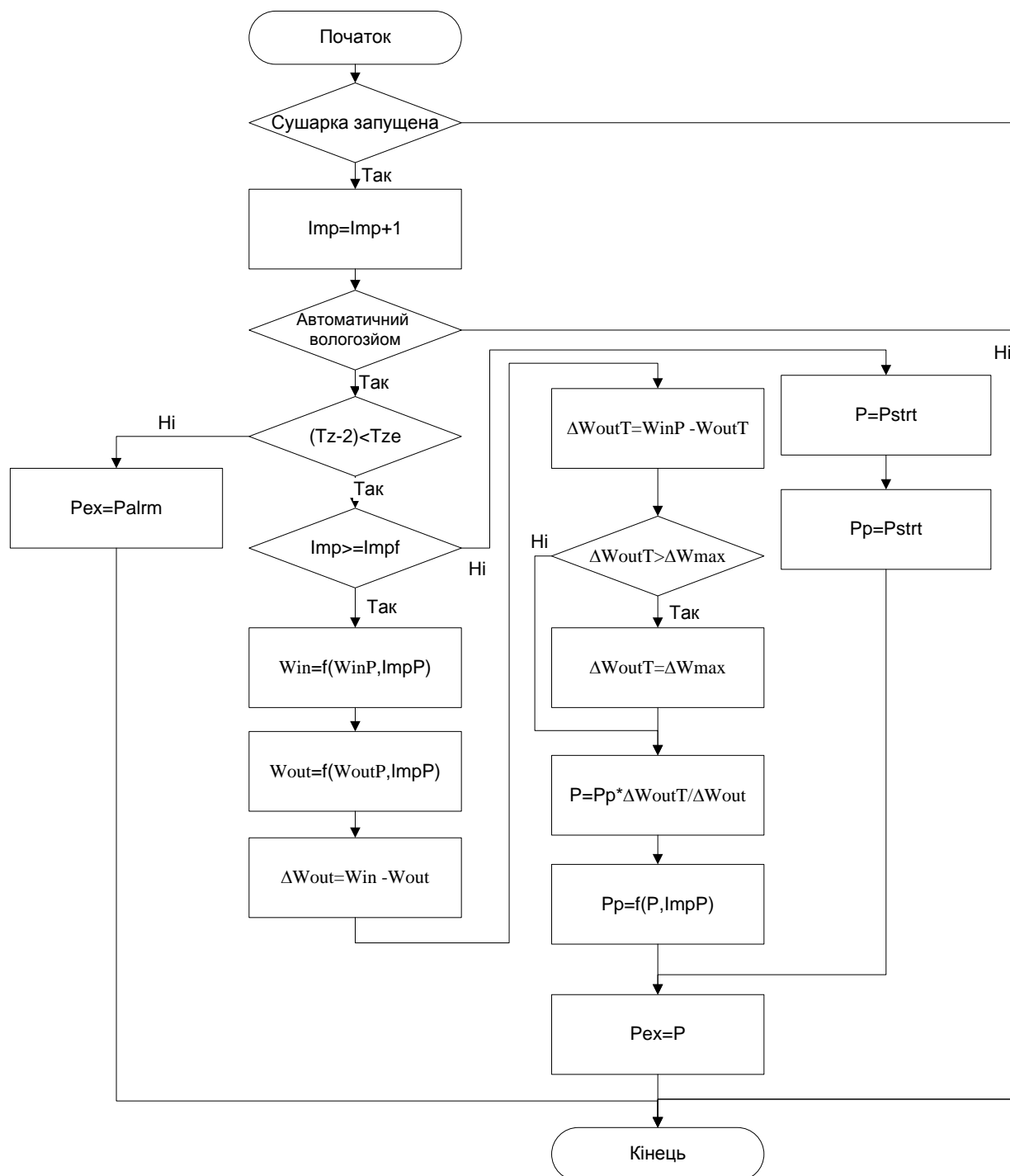


Рис. 2. Алгоритм керування вологозйомом за показниками вологості

Алгоритм, показаний на рисунку 2, викликається кожен раз, коли спрацює датчик вивантаження чергової порції зерна чи завершення одного оберту вивантажувального механізму. Imp – лічильник цих спрацювань чи обертів. Як показано, автоматичне керування почнеться лише після деякої кількості спрацювань $Impf$, тобто після того, як деякий об’єм зерна був завантажений, пройшов через всі зони нагріву і охолодження, а потім був вивантажений за межі сушарки. Розмір цього об’єму відповідає кількості порцій вивантаження або кількості обертів вивантажувального механізму $ImpP$, яка необхідна для однієї повної заміни

об'єму зерна у зонах нагріву шахти сушарки. Тобто процес керування протікає не протягом часу сушіння, який змінюється в залежності від діючого показника керуючого впливу P_{ex} , який має бути перетворений у швидкість обертання чи періодичність спрацювання керуючого механізму, а зі збільшенням лічильника Imp . Ця затримка у керуванні потрібна системі для ідентифікації коефіцієнта пропорційності залежності вологості від показника керуючого впливу, який на схемі алгоритму виражено співвідношенням:

$$P_p / \Delta W_{out}, \quad (1)$$

де P_p – ковзаючий середній показник керуючого впливу за Imp спрацювань чи обертів вивантажувального механізму для об'єму зерна, щойно вивантаженого, с; ΔW_{out} – ковзаючий середній вологості для цього об'єму, 2...8%. Вираз у схемі алгоритма

$$P_p = f(P, Imp), \quad (2)$$

як раз означає застосування класичної формули обчислення ковзаючої середньої для Imp вибірок порцій, які щойно вийшли з сушильної шахти. ΔW_{out} при цьому обчислюється інакше:

$$\Delta W_{out} = W_{in} - W_{out}, \quad (3)$$

де W_{in} – ковзаюча середня вхідна вологість для об'єму зерна, щойно вивантаженого з шахти сушарки, за останні Imp спрацювань чи обертів вивантажувального механізму %; W_{out} – ковзаюча середня вихідна вологість для цього ж об'єму %. Обидві вологості обчислюються тим же способом, що і P_p у формулі (2).

Обчислений ковзаючий показник керуючого впливу P на вивантажувальний механізм у пропонованому методі становитиме:

$$P = P_p * \Delta W_{outT} / \Delta W_{out}, \quad (4)$$

де ΔW_{outT} – цільовий вологості для останньої завантаженої у зону нагріву порції зерна, %. Не може перевищувати $\Delta W_{max} = 6...8\%$ і визначається як

$$\Delta W_{outT} = W_{inP} - W_{outT}, \quad (5)$$

де W_{inP} – вологість останньої завантаженої у зону нагріву порції зерна, %; W_{outP} – цільова вологість для одного циклу сушки на одній шахті, задається сушильним майстром, виходячи з попередніх лабораторних даних по вологості вхідної партії зерна та технологічних можливостей сушарки у 6..8% вологості за цикл.

Показник P не обов'язково буде прийнятий як діючий P_{ex} . Так, коли йде перевищення температури зерна T_z деякого зумовленого інструкцією з сушки граничного температурного еталону T_{ze} для культури більше ніж на 2°C (допустима похибка вимірювання температури зерна), в якості P_{ex} приймається показник P_{alrm} , який відповідає режиму прискореного нештатного вивантаження і визначається можливостями обладнання конкретної моделі сушарки. Крім того, коли відбувається запуск сушарки і ідентифікації коефіцієнта пропорційності ще не відбулося, в якості показника P і ковзаючої середньої P_p приймається як заданий сушильним майстром або системою керування P_{strt} , що його було визначено для цієї культури на основі досвіду сушіння попередньої близької за показниками якості партії зерна цієї ж культури. Це допустимо, оскільки стартує сушарка, як правило завантажена сухим зерном, яке складно пересушити чи зіпсувати. Далі, під час ідентифікації нове зерно буде висушене неякісно, але це всього лише буде один об'єм сушарки, отриманий приблизно за 40...80 хвилин, у той час як сушарка під час заготівлі працює від кількох діб до 1..2 місяців безперервно.

Висновки. У процесі досліджень було розроблено алгоритм і методи обчислення для керування процесом вологозйому зерна у сушарках з гравітаційним рухомим шаром. Результати було апробовано на шахтній сушарці ДСП-32-ОТ-2 на елеваторі ТОВ «Вектор» (м.Тетіїв, Київської обл.) та секційній сушарці ЗСМ-6 приватного фермерського господарства (с.Улашківці Чортківського району Тернопільської області.) В обох випадках для керування залучались промислові контролери Siemens серії S7-1200. Система керування дозволила досягати цільової вологості з відхиленням не більше 1,0% вологості за умови дотримання рекомендованого вологозйому не більше 6% за один прохід зерна через сушарку. Проте експлуатація показала, що через 3..4 доби безперервної експлуатації системи процент знятої вологи змінюється близько 0,7...1,2% в бік недосушування, що викликано конструктивними особливостями та забрудненням сушильних камер сушарок. В цілому, це припустимо, але подальші дослідження мають бути направлені в бік розробки рекомендацій до підготовки збіжжя для сушки та додаткової корекції керування випускними механізмами сушарок за умови збереження рекомендованого температурного режиму.

Перелік посилань

1. Баум, А.Е. & Резчиков, В.А. (1986). *Сушка зерна*. Москва: Колос
2. Атаназевич, В.И., Воронцов, Г.О., & Ивентьева, О.В. (1986). *Сушка семян кукурузы*. Москва: Агропромиздат
3. Хобин, В.А., & Гапонюк, И.О. (2009). Измерение влажности зерна в потоке: актуальность, технические средства, проблемы, точности, пути решения. *Хранение и переработка зерна*. Дніпропетровськ, (1). 20-23.
4. Просяник, А.В., Ткаченко, С.М., & Просяник, М.А. (2013). Сушіння зерна. Коротко про головне. *Хранение и переработка зерна*. Дніпропетровськ. (5). 32-36.
5. Просяник, М.А., Просяник, А.В., Ткаченко, С.М., & Горбунов, М.Ю. (2016). Реалізація автоматичного режиму сушки зерна. *Хранение и переработка зерна*. Дніпро (5). 32-38

6. ЗЕРНОСУШИЛКИ ПОТОЧНЫЕ «BONFANTI» (Италия) С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА
Зерносушилки BONFANTI (БОНФАНТИ) Технологические и технические особенности. (n.d.). Retrieved from <http://sampo.kiev.ua/ru/bonfanti/index.html>
7. Tkachenko, S., Beshta, D., & Prosiyanik, M. (2017). Automation of mine-type dryer at the enterprises engaged in grain storage and processing. *Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control: 2016 Annual Proceedings*. The Netherlands: CRC Press. Balkema. 241–247.
8. Просяник, А.В. Автоматизація сушарки – установка вологоміра зерна (поточний вологомір зерна). Публікація з сайту асоціації науково-виробничих підприємств «Ельдорадо». Ред. Просяник А.В. (n.d.). Retrieved from <http://www.dnvpeldorado.com/index.php/ua/dryer-auto>.

АННОТАЦІЯ

Цель работы. Разработать метод управления влагосъемом по данным влажности зерна с идентификацией коэффициента зависимости влагосъема от скорости выгрузки для применения в автоматизированных системах управления сушилками зерна с гравитационным подвижным слоем.

Методы исследования. На основе известных зависимостей изменения влажности зерна в сушилке от продолжительности сушки, скорости сушки от влажности продукта, температуры зерна от влажности, особенностей режима работы сушилок в гравитационном подвижном слое, существующей инструкции по сушке зерна, а также существующих систем управления процессом сушки предложить метод идентификации коэффициента линейной зависимости влагосъема от продолжительности сушки для конкретных условий и алгоритм вычисления показателя управляющего воздействия на средства выгрузки зерна из сушильной камеры.

Результаты. Разработан алгоритм и методы вычисления для управления процессом влагосъема зерна в сушилках с гравитационным подвижным слоем, которые используют измерения скользящей средней влажности на входе и выходе сушильной шахты с целью дальнейшей непрерывной идентификации зависимости влагосъема от начального управляющего воздействия на выпускные механизмы сушилки в текущем технологическом регламенте сушки. Это позволяет уменьшить отклонения влажности зерна на выходе от целевой под возмущающим воздействием, представляющим собой флуктуации влажности входящего зерна различных порций или партий. Показана удовлетворительность алгоритма и методов для шахтных и секционных сушилок путем апробации на реальных объектах.

Определено направление дальнейших исследований в сторону разработки рекомендаций к подготовке зерна для сушки и дополнительной коррекции управления выпускными механизмами сушилок.

Научная новизна заключается в разработке общего алгоритма управления влагосъемом для сушилок с гравитационным подвижным слоем по показателям влажности на входе и выходе сушильной камеры такого, что может использоваться в контурах управления процессом сушки зерна автоматизированных систем на базе промышленных контроллеров.

Практическое значение. Повышение качества управления процессом влагосъема за счет уменьшения человеческого фактора в процессе стабилизации влажности на выходе сушильной камеры с целевой.

Ключевые слова: влагосъем, сушка зерна, управление влагосъемом, скользящая средняя влажность, контроллер.

ABSTRACT

The purpose of the work. To develop a method of control of moist removing according to the data of moisture content of grain with identification of the coefficient of moist removing from the rate of unloading for application in automated systems for controlling grain dryers with a gravitational moving layer.

Research methods. On the basis of the known dependencies of changing the moisture content of the grain in the dryer from the drying time, the drying speed of the product moisture, the temperature of the grain from the moisture, the characteristics of the operating conditions of the dryers in the gravitational moving layer, the existing instruction on drying the grain, and the existing drying control systems, to propose a method for identifying the coefficient the linear dependence of moisture on the drying time for specific conditions, and the algorithm for calculating the controlling influence on the means of unloading the grain from the drying chamber.

The results. The algorithm and calculation methods for control the process of grain moisture removal in dryers with a gravitational moving layer have been developed, which use moving average moist measurements at the input and output of the drying mine with the aim of further continuous identification of the dependence of moisture removal on the initial control action on the output mechanisms of the dryer in the current technological drying mode. This allows you to reduce the deviation of the moisture content of the grain from the target under a disturbing effect, which is a fluctuation in the incoming grain moisture of various portions or parts. The satisfactory of the algorithm and methods for mine and sectional dryers by testing on real objects is shown.

The direction of further research in the direction of developing recommendations for the preparation of drying corn and the additional correction of control of the output mechanisms of dryers is determined.

Scientific novelty is to develop a general moisture control algorithm for drying removing with a gravitational moving layer by measuring the moisture at the input and output of a drying chamber that can be used in the control loops of the grain drying process of automated systems based on comptrollers.

The practical significance. Improvement of the quality control of the moisture removing process by reducing the human factor in the process of stabilizing moisture at the drying chamber output for the target.

Keywords: *moisture removing, grain drying, moisture removing management, slippery middle moisture, comptroller.*