

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ АГЕНТА СУШКИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СУШИЛКЕ

Волхонов Михаил Станиславович¹, Коваленко Родион Михайлович²✉,
Зимин Игорь Борисович³

^{1,2}ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, Караваево, Россия

³ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, Великие Луки, Россия

²kovalenko.rodion@mail.ru

Аннотация. Создание простых, надежных, энергоэффективных систем управления состоянием агента сушки является одной из ключевых задач при проектировании новых зерносушилок. Целью исследования является снижение энергозатрат на сушку зерна в аэродинамическом устройстве для сушки сыпучих материалов путем рециркуляции агента сушки в автоматическом режиме. Разработана система рециркуляции агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов и система автоматического управления ее работы. В основу ее работы заложен принцип пропорционального управления, поддержания требуемого значения относительной влажности агента сушки на выходе из зернового слоя путем регулирования положения поворотной заслонки четырехходового клапана-смесителя. Блок автоматического управления заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки аэродинамического устройства состоит из программируемого реле с дисплеем ПР200, персонального компьютера с программным обеспечением SimpLight, электропривода без возвратной пружины Belimo GM 24, промышленного датчика-преобразователя влажности и температуры воздуха ПВТ110. Применение разработанной системы рециркуляции теплоты агента сушки с блоком автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя позволило сократить интегральный расход энергии на 35 %, до 5,07 МДж/кг исп. вл. Разработанная система может быть применена при проектировании различных зерновых сушилок, обеспечивает снижение энерго-, трудозатрат и запыленности рабочей зоны.

Ключевые слова: аэродинамическое устройство, автоматическое управление, система рециркуляции, рециркуляция, повторное использование, агент сушки.

Для цитирования: Волхонов М. С., Коваленко Р. М., Зимин И. Б. Система управления рециркуляцией агента сушки в аэродинамической сушилке // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (82). С. 153-160. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_153-160.

Актуальность. В настоящее время агропромышленный комплекс в связи с переходом к рыночной экономике переживает ряд изменений, и особое значение придается решению вопросов, связанных с повышением качества зерна и снижением затрат на его послеуборочную обработку [9]. Несмотря на постепенное внедрение и использование современных энергосберегающих технологий, потери всех непроеизводительных затрат теплоты в зерносушилках все еще достигают 30–40 % [8].

Сравнительные исследования путей экономии энергии при различных способах сушки [4, 7] показывают, что: при комбинированной сушке достигается до 25 % экономии энергии; отказ от теплообменников дает до 20 % экономии; частичная рециркуляция отработавшего

агента сушки и охлаждающего воздуха обеспечивает экономию энергии в размере 5...10 %; автоматизация процесса сушки обеспечивает дополнительное снижение энергоемкости процесса на 3...5 %; теплоизоляция и герметизация сушилки обеспечивает 2...3 % экономии теплоты.

Наиболее перспективным способом снижения энергозатрат на сушку зерна является повторное использование теплоты отработавшего агента сушки [3]. Он может включать в себя: возврат слабонасыщенного влагой отработавшего агента сушки и воздуха в зоны сушки более влажного зерна; смешивание части отработавшего агента сушки с топочными газами или нагретым в теплогенераторе воздухом; утилизацией – рекуперацией теплоты агента сушки.

При помощи соответствующих датчиков в автоматическом режиме осуществляется контроль и регулирование параметров сушки, таких как температура, давление, расход агента сушки, что позволяет оптимизировать процесс рекуперации теплоты, добиваясь максимальной энергоэффективности [10, 12]. Автоматизированные системы исключают необходимость постоянного контроля со стороны оператора, тем самым снижается нагрузка на персонал и уменьшается вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором [11].

Для автоматического управления процессом сушки перспективно использование системы на базе PLC-программируемых логических контроллеров или SCADA-систем, представляющих собой комплексное программно-техническое решение для контроля, управления и мониторинга технологическими процессами [1]. С развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения можно ожидать появления еще более интеллектуальных систем, способных прогнозировать и оптимизировать процессы сушки в реальном времени.

Для каждого типа сушилок в зависимости от вида и назначения сушеного зерна разработчиками определена оптимальная температура агента сушки на входе в сушильную камеру, которая должна быть постоянной. С целью обеспечения высокой скорости сушки расход агента сушки устанавливается максимально возможным, но исключающий вынос зерна из сушильной камеры. Для оптимального расходования энерго- и трудозатрат во время сушки зерна с рециркуляцией теплоты агента сушки необходима автоматизация процесса, обеспечивающая поддержание относительной влажности агента сушки на выходе из зернового слоя на уровне 70 %.

Создание простых, а значит, и надежных систем управления состоянием агента сушки является одной из ключевых задач при проектировании новых зерносушилок. Сегодня в условиях импортозамещения аэродинамические устройства находят широкое применение при послеуборочной обработке зерна, бобовых, масличных культур и сыпучих семян трав для приема и временного их хранения. Эти установки простые в устройстве, обслуживании, универсальные, однако их использование в качестве сушилок сдерживается по причине достаточно высоких удельных затрат на сушку – свыше 7 МДж/кг исп. вл. [5].

Целью исследования является снижение энергозатрат на сушку зерна в аэродинамическом

устройстве для сушки сыпучих материалов путем рециркуляции агента сушки в автоматическом режиме.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- разработать систему рециркуляции агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов и систему автоматического управления ее работой;
- определить энергоэффективность работы аэродинамического устройства с разработанной системой рециркуляции агента сушки, работающей в автоматическом режиме.

Материал и методы исследования. Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов [6] (рис. 1, 2) состоит из камеры сушки 5, содержащей аэрожелоб 16, разделенный грузонесущей перфорированной перегородкой 17 на воздухоподводящую и транспортирующую части.

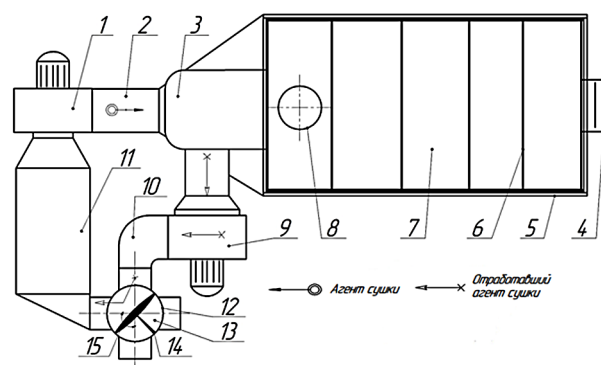


Рисунок 1 – Схема аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов: 1 – подающий вентилятор; 2, 10 – воздуховод; 3 – пылеуловитель; 4 – выгрузное окно; 5 – камера сушки; 6 – стойка каркаса зонта; 7 – сдвижной зонт; 8 – загрузочное отверстие; 9 – вентилятор-аспиратор; 11 – теплогенератор; 12 – выпускной патрубок клапана-смесителя; 13 – клапан-смеситель; 14 – неподвижная заслонка клапана-смесителя; 15 – поворотная заслонка клапана-смесителя

Камера сушки представляет собой металлический каркас 18, обтянутый тканью, внешние стенки изготовлены из воздухонепроницаемой и водоотталкивающей ткани 19, а внутренние боковые стенки – из ткани для сит 20. Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов оснащено системой рециркуляции агента сушки, включающей сдвижной зонт 7 с загрузочным отверстием 8, пылеулавливающее устройство 3, клапан-смеситель 13, вентилятор-аспиратор 9.

Передвижное аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов работает

следующим образом (рис. 1, 2): при отсутствии загрузочной нории сдвижной зонт 7 сдвигается в сторону пылеулавливающего устройства 3, зерно погрузчиком загружается сверху в камеру сушки 5 на грузонесущую перфорированную перегородку 18, затем зонт сдвигается в исходное положение, фиксируется герметично. В случае наличия загрузочной нории зерно загружается через отверстие 8 в камеру сушки 5. Включается вентилятор 1, при этом агент сушки, проходящий через зерно, подогревая и отбирая поверхностную влагу, попадает в надсушильное пространство 21, созданное сдвижным зонтом 7, откуда проходя через пылеулавливающее устройство 3 высасывается вентилятором-аспиратором 9 и направляется в клапан смеситель 13, в котором происходит распределение отработавшего агента сушки.

Управление режимами работы аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов, оснащенного системой рециркуляции агента сушки, осуществляется за счет пово-

ротной заслонки клапана смесителя 15 (рис. 1), в зависимости от температуры и влагосодержания отработавшего агента сушки.

Режим «полной рециркуляции» – поворотная заслонки клапана-смесителя закрыта (рис. 3, а), отработавший агент сушки полностью направляется на повторное использование. Режим «частичной рециркуляции» – поворотная заслонка клапана-смесителя открывает часть площади патрубка рециркуляции (рис. 3, б). В этом режиме часть отработавшего агента сушки направляется на рециркуляцию и смешивается со свежим воздухом, и далее идет на подогрев в теплогенератор, остальная часть выбрасывается в атмосферу. В режиме «смены агента сушки» поворотная заслонки клапана-смесителя полностью открыта (рис. 3, в). Отработавший агент сушки полностью направляется в атмосферу, на его смену в теплогенератор поступает свежий атмосферный воздух.

Нами разработан блок автоматического управления поворотной заслонкой клапана-

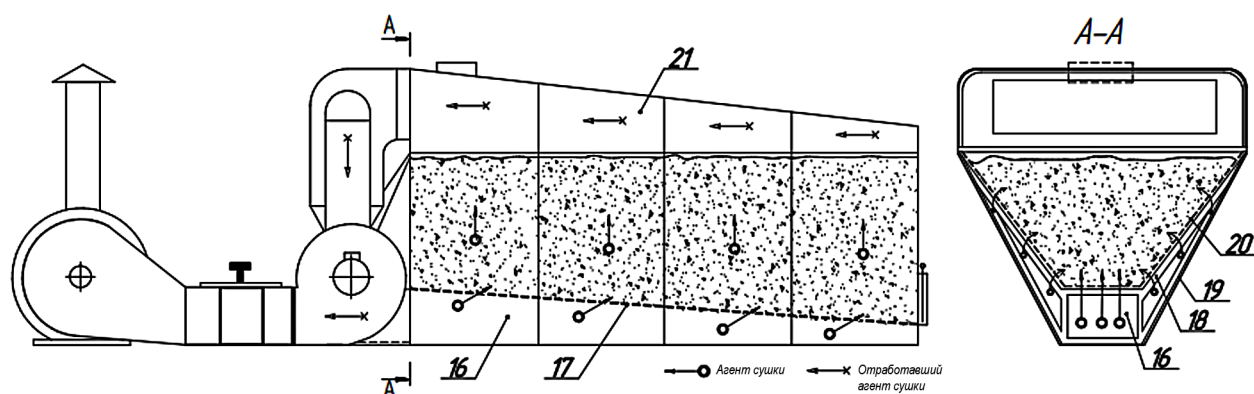


Рисунок 2 – Дополнительный вид передвижного аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов: 16 – аэрожелоб; 17 – грузонесущая перфорированная перегородка аэрожелоба; 18 – металлический каркас камеры сушки; 19 – внешняя стенка камеры сушки из воздухонепроницаемой и водоотталкивающей ткани; 20 – внутренняя боковая стенка из ткани для сит; 21 – надсушильное пространство, созданное сдвижным зонтом

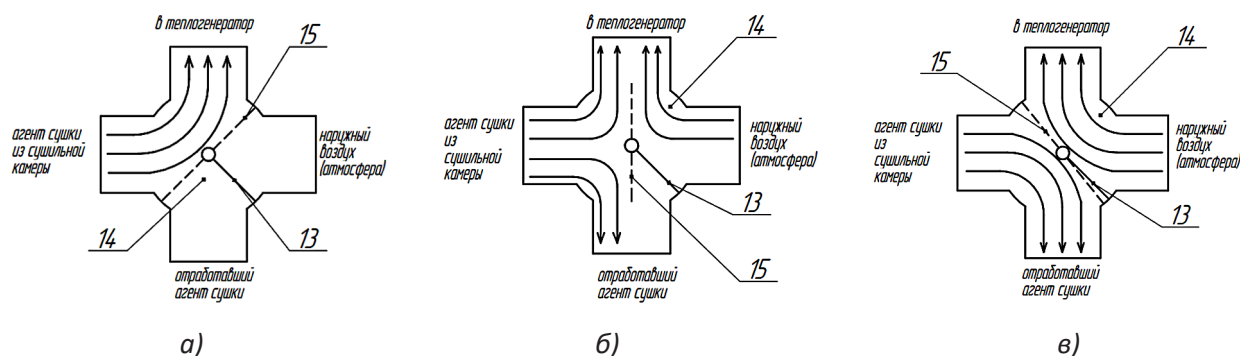


Рисунок 3 – Положение повторной заслонки клапана-смесителя в зависимости от режима работы системы рециркуляции: а – полная рециркуляция, закрыта; б – частичная рециркуляция, открытие части площади патрубка рециркуляции; в – смена агента сушки, полностью открыта; 13 – неподвижная заслонка клапана-смесителя, 14 – камера смешивания клапана-смесителя, 15 – поворотная заслонка клапана-смесителя

смесителя для поддержания оптимальных параметров сушки и обеспечения минимальных трудозатрат оператора при управлении поворотной заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки.

Для работы блока автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя изучена и обоснована возможность измерения относительной влажности агента сушки косвенным методом, заключающемся в математическом расчете относительной влажности с учетом ее текущих значений и температуры агента сушки на входе и выходе из теплогенератора по *H-d*-диаграмме состояния влажного воздуха.

Проведенные теоретические исследования при помощи *H-d*-диаграммы состояния влажного воздуха показали, что максимальная энергоэффективность без увлажнения зерна достигается при двух-трехкратном повторном использовании агента сушки, нагретого до 70 °С. Установлено, что удержание тепловентиляционной системы в рациональном режиме возможно при контроле и управлении температурой агента сушки на выходе из сушильной камеры, которая должна находиться в пределах 39...43 °С.

При определении возможной конденсации влаги на исследуемом режиме в камере сушки, ввиду многократного повторного использования агента сушки, насыщенного влагой, установлено, что температура точки росы ниже температуры нагрева зерна на 6...10 °С.

Поддержание требуемого значения относительной влажности агента сушки осуществляется путем установки поворотной заслонки клапана-смесителя в положение, определяемое блоком управления, исходя из режимов работы аэродинамического устройства, описанных ранее. Кроме установки заслонки в требуемое положение, необходимо также ее удержание на месте, данным условиям отвечают электри-

ческие сервоприводы, в основе которых заложен принцип пропорционального управления. За основу была взята автоматизированная система управления технологическим процессом (далее – АСУ ТП) для контроля и немедленной сигнализации при выходе системы за пределы установленных значений.

Схема блока автоматического управления заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов представлена на рисунке 4. Система состоит из программируемого реле с дисплеем ПР200, персонального компьютера с программным обеспечением SimpLight, электропривода без возвратной пружины Belimo GM 24, промышленного датчика-преобразователя влажности и температуры воздуха ПБТ110.

Все АСУ ТП являются многоуровневыми системами. Верхний уровень представляет собой SCADA-систему, которая является комплексным программно-техническим решением для контроля, управления и мониторинга технологическими процессами. Серверы баз данных, автоматизированные рабочие места оперативного персонала (далее – АРМ) представляют собой непосредственно сам сервер со SCADA. На серверах хранится вся собираемая информация с привязкой к дате и времени, АРМы отображают мнемосхему контролируемого объекта и текущие оперативные параметры, а сервер SCADA занимается сбором данных с подключенных контроллеров объекта. В блоке автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя компьютер с лицензионным ПО включает в себя сервер баз данных, АРМ и сервер SCADA.

На среднем уровне АСУ ТП расположены контроллеры управления, основная задача которых – управлять по заданной программе исполнительными механизмами, собирать данные с различных контрольных датчиков



Рисунок 4 – Схема работы блока автоматического управления заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов

и передавать их на верхний уровень. В блоке автоматического управления поворотной заслонки клапаном-смесителем роль контроллера выполняет программируемое реле ПР200, оно передает в SCADA значение температуры и влажности, а также текущее задаваемое значение угла открытия заслонки. Из SCADA программируемое реле получает заданное значение влажности, которое необходимо поддерживать. Обмен данными с верхним уровнем, а также получение значений температуры и влажности с соответствующего датчика осуществляется по интерфейсу RS485 в протоколе Modbus RTU.

Результаты и обсуждение. При испытаниях аэродинамического устройства (рис. 5) для сушки сыпучих материалов (пшеница), проводимых в условиях опытного поля ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, был испытан блок автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки (рис. 6) при следующих контролируемых параметрах: температура нагрева агента сушки 70 °С, относительная влажность отработавшего агента сушки на выходе из камеры сушки 70 %.

Блок автоматики, представленный на рисунке 6, работает следующим образом: на мони-



Рисунок 5 – Производственный образец аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов: 1 – теплогенератор; 2 – вентилятор для подачи агента сушки; 3 – оболочка сдвижного зонта; 4 – пылеуловитель; 5 – вентилятор аспиратор; 6 – воздухопроводы; 7 – клапан-смеситель с блоком автоматического управления поворотной заслонкой; 8 – боковой воздухоподводящий короб

На нижнем или полевом уровне АСУ ТП также находятся различные измерительные датчики и исполнительные механизмы. В блоке автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя находятся промышленный датчик-преобразователь влажности и температуры воздуха ПВТ110 и электропривод без возвратной пружины Belimo GM24, управление которым осуществляется аналоговым сигналом 2...10 В. В целях поддержания заданного значения и обмена данными с датчиками и исполнительными механизмами для программируемого реле была написана программа в среде программирования OWEN Logic на языке FBD. Основой программы является ПИД-регулятор.

торе программы SimpLight после выставления оптимальных значений относительной влажности отработавшего агента сушки на выходе из камеры сушки поворотная заслонка клапана-смесителя автоматически переводилась в закрытое положение, пока относительная влажность отработавшего агента сушки не достигнет значения выше 70 %. Далее заслонка постепенно открывалась, подмешивая свежий воздух для поддержания заданных начальных значений. Температура отработавшего агента сушки при наименее энергозатратном режиме составляла в среднем 43 °С, что входит в теоретически определенный диапазон температур при трехкратном использовании теплоты отработавшего агента сушки. На основании полу-

ченных данных в соответствии с ГОСТ Р 55262-2012 [11] был проведен расчет энергоэффективности.

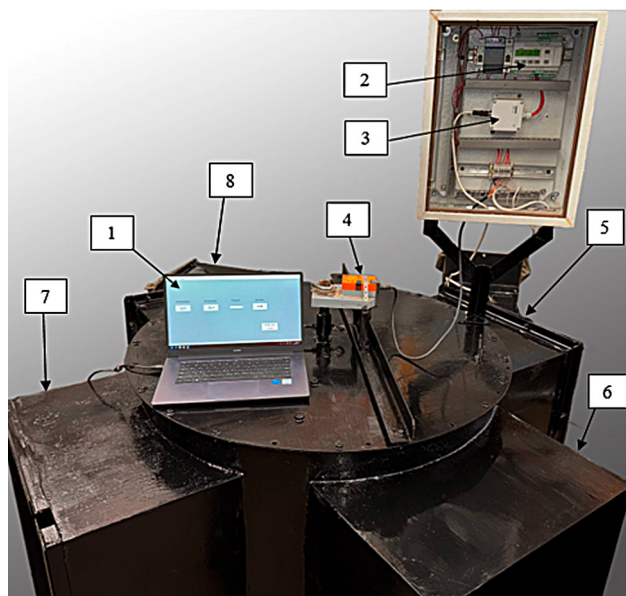


Рисунок 6 – Блок автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции: 1 – монитор лицензионной программы SimpLight на ПК; 2 – программируемое реле с дисплеем ПР200; 3 – электронный блок промышленного датчика-преобразователя влажности и температуры воздуха ПВТ110; 4 – электропривод без возвратной пружины Belimo GM24, установленный на ось повторной заслонки; 5 – патрубок рециркуляции агента сушки; 6 – патрубок впуска наружного воздуха; 7 – патрубок выброса отработавшего агента сушки в атмосферу; 8 – патрубок выхода агента сушки из зерносушилки

Испытания устройства для приема и сушки высоковлажных семян сои [5], послужившего прототипом разработки, показали, что интегральный расход энергии из-за отсутствия повторного использования отработавшего агента сушки составил 7,8 МДж/кг исп. вл. Применение системы рециркуляции агента сушки с блоком автоматического управления положением поворотной заслонки клапана-смесителя позволило снизить удельные энергозатраты на сушку зерна на 35 %.

Модернизация блока автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя возможна за счет расширения функциональности программируемого реле ОВЕН ПР200, работающего в сети RS-485 по протоколам Modbus RTU/Modbus ASCII в режиме Master или Slave, путем установки интерфейсной платы ПР-ИП485. Данная плата позволяет реле взаимодействовать с другими устройства-

ми и системами, использующими этот стандарт связи, что позволит использовать блок автоматического управления без компьютера.

Принцип автоматического управления процессом рециркуляции отработавшего агента сушки и сама система могут быть применены в различных зерновых сушилках, обеспечивая снижение энерго- и трудозатрат, а также снизить запыленность рабочей зоны.

Выводы:

1. Разработана система рециркуляции отработавшего агента сушки аэродинамического устройства для сушки сыпучих материалов. Контроль и поддержание требуемого значения относительной влажности агента сушки осуществляется блоком автоматического управления положением поворотной заслонки клапана-смесителя, определяемым исходя из режимов работы аэродинамического устройства

2. Применение системы рециркуляции теплоты агента сушки с блоком автоматического управления поворотной заслонкой клапана-смесителя системы рециркуляции агента сушки в аэродинамическом устройстве для сушки сыпучих материалов при поддержании оптимальных контрольных параметров позволяет сократить интегральный расход энергии при сушке пшеницы на 35 % – до 5,07 МДж/кг исп.вл.

Список источников

1. Автоматическое управление технологическим процессом посредством SCADA-систем / Д. А. Бобриков [и др.] // Перспективы науки. 2022. № 4(151). С. 38-42. EDN XEWKED.
2. ГОСТ Р 55262-2012. Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2015. 128 с.
3. Лакомов И. В., Помогаев Ю. М. Принципы энергосберегающей технологии сушки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 1(48). С. 70-74. DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.1.70. EDN VWVESN.
4. Никуличев Д. А. Современные методы и средства сушки зерна и пути снижения энергозатрат // Наука и образование сегодня. 2020. № 6-1(53). С. 9-10.
5. Пат. 2671464 RU, МПК А 01 F 25/08. Устройство для вентилирования и транспортирования зернового вороха / Волхонов М. С., Смирнов И. А., Сочкова Е. С., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, заявл. 05.12.2017, опубл. 31.10.2018.
6. Пат. 2777996 RU, МПК F26B Волхонов М. С., Смирнов И. А., Коваленко Р. М. Аэродинамическое устройство для сушки сыпучих материалов / заяви-

тель и патентообладатель ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, заявл. 11.06.2021, опубли. 12.02.2022.

7. Подгородецкий О. А. К вопросу снижения энергозатрат в технологии двухстадийной сушки зерна // Хранение и переработка зерна. 2013. № 6(171). С. 43-45. EDN ZBCJTX.

8. Сорочинский В. Ф. Эффективность сушки зерна на зерносушилках различных типов // Хлебопродукты. 2009. № 3. С. 42-43. EDN MSUZOP.

9. Филимонова Н. Г., Озерова М. Г. Влияние международных санкций на внешнеэкономическую деятельность сельскохозяйственных предприятий // Приоритетные направления развития регионального экспорта продукции АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 16–17 ноября 2023 г. Красноярск: Красноярск. гос. аграр. ун-т, 2024. С. 173-179. EDN HITUDF.

10. Fábio B. Freire, Gustavo N. A. Vieira, José T. Freire & Arun S. Mujumdar. Trends in Modeling and Sensing Approaches for Drying Control, Drying Technology: An International Journal. (2014; 32(13): 1524-1532, DOI: 10.1080/07373937.2014.925471.

11. Nikeshin, V. G. Role of modeling and SCADA systems in the development of automated process control systems // Dialogue of cultures: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. на англ. языке, Санкт-Петербург, 19 мая 2022. Санкт-Петербург: Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2022. Vol. Часть II. Р. 94-98. EDN TXRGQB.

12. Tylman M. & Jaskulski, Maciej & Wawrzyniak, Pawel & Czapnik, Marzena. Concept of heat recovery in drying with chemical heat pump. 2018. DOI: 10.4995/IDS2018.2018.7271.

References

1. Automaticкое управление технологическим процессом посредством SCADA-систем / Д. А. Бобриков [и др.] // Перспективы науки. 2022. № 4(151). С. 38-42. EDN XEWKED.

2. GOST R 55262-2012. Sushil'ny'e mashiny i ustanovki sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya. Metody ispy'tanij. Moskva: Standartinform, 2015. 128 s.

3. Lakomov I. V., Pomogaev Yu. M. Principy ènergoberegayushhej tehnologii sushki // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 1(48).

S. 70-74. DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.1.70. EDN VWVESN.

4. Nikulichev D. A. Sovremennyye metody i sredstva sushki zerna i puti snizheniya ènergizatrat // Nauka i obrazovanie segodnya. 2020. № 6-1(53). С. 9-10.

5. Pat. 2671464 RU, MPK A 01 F 25/08. Ustrojstvo dlya ventilirovaniya i transportirovaniya zernovogo voroxa / Volxonov M. S., Smirnov I. A., Sochkova E. S., zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Kostromskaya GSXA, zayavl. 05.12.2017, opubl. 31.10.2018.

6. Pat. 2777996 RU, MPK F26B Volxonov M. S., Smirnov I. A., Kovalenko R. M. Aerodinamicheskoe ustrojstvo dlya sushki sy'puchix materialov / zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Kostromskaya GSXA, zayavl. 11.06.2021, opubl. 12.02.2022.

7. Podgorodeczkij O. A. K voprosu snizheniya ènergizatrat v tehnologii dvuxstadijnoj sushki zerna // Xranenie i pererabotka zerna. 2013. № 6(171). С. 43-45. EDN ZBCJTX.

8. Sorochinskij V. F. E'ffektivnost' sushki zerna na zernosushilках razlichny'x tipov // Xleboprodukty. 2009. № 3. С. 42-43. EDN MSUZOP.

9. Filimonova N. G., Ozerova M. G. Vliyanie mezhdunarodny'x sankcij na vneshnee'konomicheskuyu deyatel'nost' sel'skoxozyajstvenny'x predpriyatij // Prioritetnye napravleniya razvitiya regional'nogo èksporta produkci APK: materialy' Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Krasnoyarsk, 16–17 noyabrya 2023 g. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t, 2024. С. 173-179. EDN HITUDF.

10. Fábio B. Freire, Gustavo N. A. Vieira, José T. Freire & Arun S. Mujumdar. Trends in Modeling and Sensing Approaches for Drying Control, Drying Technology: An International Journal. (2014; 32(13): 1524-1532, DOI: 10.1080/07373937.2014.925471.

11. Nikeshin, V. G. Role of modeling and SCADA systems in the development of automated process control systems // Dialogue of cultures: materialy' XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. na angl. yazy'ke, Sankt-Peterburg, 19 maya 2022. Sankt-Peterburg: Vy'sshaya shkola tehnologii i ènergetiki SPbGUPTD, 2022. Vol. Chast' II. Р. 94-98. EDN TXRGQB.

12. Tylman M. & Jaskulski, Maciej & Wawrzyniak, Pawel & Czapnik, Marzena. Concept of heat recovery in drying with chemical heat pump. 2018. DOI: 10.4995/IDS2018.2018.7271.

Сведения об авторах:

М. С. Волхонов¹, доктор технических наук, профессор;

Р. М. Коваленко²✉, аспирант;

И. Б. Зимин³, кандидат технических наук, доцент

^{1,2}ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, ул. Учебный Городок, 34, пос. Караваяево, Костромская область, Россия, 156530

³ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, пр. Ленина, д. 2, Великие Луки, Россия, 182112

²kovalenko.rodion@mail.ru

Original article

CONTROL SYSTEM FOR RECIRCULATION OF DRYING AGENT IN AN AERODYNAMIC DRYER

Mikhail S. Volkhonov¹, Rodion M. Kovalenko^{2✉}, Igor B. Zimin³^{1,2}Kostroma SAA, Karavaevo, Russia³Velikiye Luki SAA, Velikiye Luki, Russia²kovalenko.rodion@mail.ru

Abstract. *The creation of simple, reliable, energy-efficient control systems for the drying agent is one of the key tasks in the design of new grain dryers. The aim of the study is to reduce the energy consumption for drying grain in an aerodynamic device for drying bulk materials by recirculation the drying agent in automatic mode. A recirculation system for the drying agent of an aerodynamic device for drying bulk materials and an automatic control system for its operation have been developed. Its operation is based on the principle of proportional control, maintaining the required relative humidity of the drying agent at the outlet of the grain layer by adjusting the position of the rotary flap of the four-way mixing valve. The automatic control unit for the flap of the mixing valve of the recirculation system of the drying agent of the aerodynamic device consists of a programmable relay with PR200 display, a personal computer with SimpLight software, an electric drive without a return spring Belimo GM 24, an industrial sensor – converter of humidity and air temperature HT110. The use of the developed heat recirculation system for the drying agent with an automatic control unit for the rotary flap of the mixing valve made it possible to reduce the integrated energy consumption by 35 %, to 5.07 MJ/kg. The developed system can be used in the design of various grain dryers, it reduces energy and labor costs and dustiness of the working area.*

Key words: aerodynamic device, automatic control, recirculation system, recirculation, reuse, drying agent.

For citation: Volkhonov M. S., Kovalenko R. M., Zimin I. B. Control system for recirculation of drying agent in an aerodynamic dryer. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 2 (82): 153-160. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_2_153-160.

Authors:

M. S. Volkhonov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;**R. M. Kovalenko^{2✉}**, Postgraduate student;**I. B. Zimin³**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor^{1,2} Kostroma SAA, 34 Uchebny Gorodok St., Karavaevo village, Kostroma region, Russia, 156530³Velikiye Luki SAA, 2 Prospekt Lenina, Velikiye Luki, Russia, 182112²kovalenko.rodion@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 22.04.2025; одобрена после рецензирования 28.04.2025;

принята к публикации 29.05.2025.

The article was submitted 22.04.2025; approved after reviewing 28.04.2025; accepted for publication 29.05.2025.