Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 631.365.22

Методы совершенствования технологий активного вентилирования зерна как основа для разработки способа сушки с использованием СВЧ-рециркуляции

Таранов М.А., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н., Егорова И.В., Казакова А.С.

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ

Аннотация

В статье рассмотрены методы совершенствования технологий активного вентилирования зерна. Процесс сушки зерна позволяет сохранять на протяжении относительно долгого периода времени потребительские качества зерна. Снизить энергозатраты на сушку можно за счет интенсификации внешнего и внутреннего процессов тепломассообмена, определяемого режимами и способами сушки, в том числе за счет рециркуляции зерна и воздействия магнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ).

Использование воздействия СВЧ полем на смесь зерна при сушке зерна активным вентилированием приводит к снижению неравномерности нагрева слоя зерна с 30℃ до 5℃ и интенсифицирует процесс влагопереноса между «влажным» и «сухим» зерном. При этом производительность установки активного вентилирования увеличивается на 30% и снижает энергоёмкость процесса сушки зерна на 14%.

Ключевые слова: АКТИВНОЕ ВЕНТИЛИРОВАНИЕ ЗЕРНА, СВЧ-РЕЦИРКУЛЯЦИЯ, СУШКА ЗЕРНА, КАЧЕСТВО ЗЕРНА, ВЛАЖНОСТЬ, ЗЕРНОПУНКТЫ, НАГРЕВ ЗЕРНА

Продовольственная безопасность нашей страны в первую очередь зависит от объема и качества заготовленного продовольственного и фуражного зерна. Однако для того, чтобы зерно хорошо хранилось, его влажность не должна превышать 14-15%, для чего необходимо осуществлять его дополнительную сушку. Процесс сушки зерна позволяет сохранять на протяжении относительно долгого периода времени потребительские качества зерна.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Необходимость совершенствования технологии сушки зерна обусловлена значительным объемом этой операции, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества зерна. Эффективность применяемой технологии сушки оценивается сокращением времени и энергозатрат на сушку. В этой связи разработка новых ресурсосберегаемых технологий и оборудования, направленных на снижение затрат топлива и электроэнергии, обеспечивающих сохранение качества зерна, имеет определяющее значение для снижения стоимости сушки.

Снизить энергозатраты на сушку можно за счет интенсификации внешнего и внутреннего процессов тепломассообмена, определяемого режимами и способами сушки, в том числе за счет рециркуляции зерна и воздействия магнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ).

Чтобы сохранить качество поступающего зерна, наряду с очисткой и сушкой широко используется интенсивная обработка его атмосферным воздухом или активное вентилирование.

Активным вентилированием называют принудительное продувание зерна воздухом без его перемещения. Это возможно за счет скважистости зерновой массы. Воздух, нагнетаемый вентиляторами, вводится в зерновую массу через систему каналов или труб и пронизывает ее в различных направлениях. Применяя активное вентилирование, обеспечивают предпосевной обогрев семян. Используя установки для активного вентилирования, легко и быстро проводят дегазацию зерновых масс после обработки фумигантами. Активное вентилирование исключает травмирование зерна, что всегда в той или иной степени происходит во время пропуска зерновых масс через зерносушилки, зерноочистительные машины и при перемещении транспортными механизмами. Это особенно важно для семенного материала.

Применение этого способа в процессе приема и хранения зерновых насыпей позволяет предупреждать и ликвидировать самосогревание зерна, а также охлаждать его до температуры, обеспечивающей длительное хранение. Сушка в бункерах производится атмосферным или подогретым на 2-7°С воздухом, тогда как в зерносушилках – горячим, поэтому скорость сушки значительно ниже и составляет от 1 до 3% в сутки.

Для семенного зерна, которое нельзя подвергать интенсивной сушке при повышенных температурах, активное вентилирование теплым атмосферным воздухом низкой

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

относительной влажности особенно целесообразно, так как оно позволяет не только сохранить, но и улучшить всхожесть и энергию прорастания семян [1, 2].

Установки активного вентилирования многофункциональны. Их использование, как для хранения зерна, так и для его подсушки делает их привлекательными [3]. Установки для активного вентилирования зерна атмосферным воздухом делятся на стационарные, напольно-передвижные и переносные.

У стационарных вентиляционных установок вентиляционные каналы и распределительные отводы расположены в полу или стенах хранилища. Отличием напольно-передвижных установок является то, что вентиляционные каналы и распределительные отводы расположены на полу и возможна их переноска или перевозка. У передвижных установок монтаж составных элементов осуществляют после формирования насыпи.

Среди установок активного вентилирования, нашедших наибольшее распространение на зернопунктах, следует отметить силосные бункера с вертикальным и радиальным воздухораспределением [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Бункер с вертикальным воздухораспределением, изображенный на рисунке 1 представляет собой цельнометаллическую цилиндрическую конструкцию с перфорированным полом и тепловентиляционным блоком. На вертикальной стене предусматривается двойная секционная дверь для выгрузки зерна вручную или с помощью переносного шнека. Для равномерной загрузки нередко используются зерновые дефлекторы, выравнивающие зерновой слой по всей площади бункера.

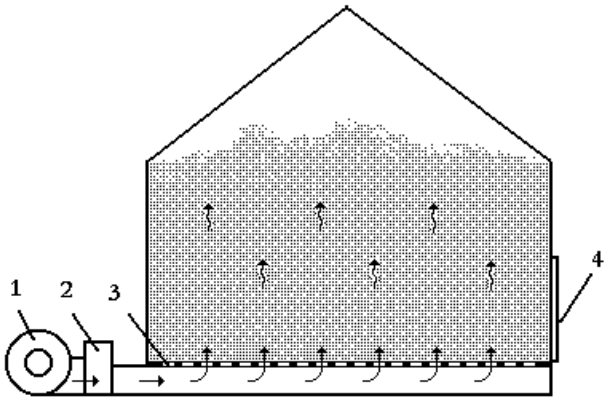


Рис. 1. Бункер активного вентилирования с вертикальным воздухораспределением
1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – перфорированная часть бункера; 4 – выгрузной люк.

Бункер с радиальным воздухораспределением, изображенный на рисунке 2,

представляет собой вертикально установленный цилиндр из перфорированного металла, внутри которого располагается также перфорированная центральная воздухораспределительная труба. Внутри трубы перемещается поршень-заглушка, который устанавливают в таком положении, чтобы воздух пронизывал равномерно все слои зерна. Труба рассчитана на давление всей зерновой массы. Бункер снабжен электрическим тепловентиляционным блоком. Вентилятор забирает атмосферный воздух, просасывает его через калорифер и нагнетает в центральную воздухораспределительную трубу. Теплый воздух проходит через слой зерна и удаляет из него избыточную влагу.

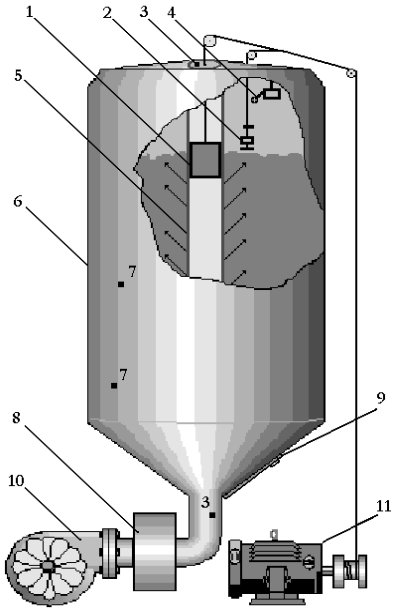


Рис. 2. Бункер активного вентилирования с радиальным воздухораспределением
1 – поршень-заглушка; 2 – датчик положения; 3 – места установки датчиков влажности воздуха; 4 – конечный выключатель; 5–центральная воздухораспреде-лительная труба; 6 – перфорированная стенка бункера; 7 – места установки датчиков температуры зерна;
8 – калорифер; 9 – выгрузной люк; 10 – вентилятор; 11 – система установки поршня в рабочее положение (лебедка с реверсивным электроприводом).

Бункер с радиальным воздухораспределением легко разгружается и отличается более равномерным воздухораспределением по слоям зерна. Это выгодно отличает его от бункера с вертикальным воздухораспределением.

Уборка урожая в ЮФО проводится, как правило, при благоприятных условиях. При этом влажность зерна находится на уровне средней сухости. Производственники значительно экономят на сушке зерна, но не меньшие потери несут за счёт того, что сухое зерно

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

интенсивно высыпается из колоса. Поэтому особую актуальность приобретают технологии ранних сроков уборки, при которых колосовые убирают при влажности 18…22%. В этом случае установки активного вентилирования приобретают ещё большую значимость.

Однако, низкая скорость сушки в бункерах активного вентилирования и неравномерность удаления влаги по толщине слоя не позволяют эффективно использовать бункера, когда необходимо снижать влажность больших партий зерна. В этой связи интенсификация процесса сушки зерна в бункерах активного вентилирования расширит их функциональные возможности и будет способствовать сохранности убранного зерна.

Более наглядное представление о возможных путях интенсификации сушильных процессов можно установить из анализа уравнений тепло-массообмена [10]:

$$Q = K_T \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau, \quad (1)$$

$$G = K_m \cdot \Delta c \cdot \tau, \quad (2)$$

где Q, G – количество тепла и массы вещества, Дж и кг;

K_T, K_m – коэффициенты теплопередачи и массопередачи, кВт/(м^2 · К);

F – поверхность контакта фаз, м^2;

$\Delta c, \Delta t$ – разность концентрации и температур (движущие силы процесса);

τ – время, с.

Из уравнений 1, 2 вытекают следующие методы интенсификации:

1. Увеличение поверхности контакта фаз.

Увеличения поверхности контакта фаз можно достигнуть измельчением, диспергированием, распыливанием, перемешиванием, предотвращением слипания частиц высушиваемого продукта, созданием взвешенного [11] или кипящего слоя в процессе сушки. Поверхность контакта фаз при сушке можно еще активировать вибрацией, ударными и акустическими воздействиями или другими способами обновления или активации поверхности контакта фаз.

Метод увеличения поверхности контакта фаз реализуется в барабанных сушилках, распылительных сушилках и сушилках с кипящим (псевдоожиженным) слоем.

В барабанных сушилках для увеличения поверхности контакта фаз используют-насадку, которая захватывает материал при вращении барабана и распределяет его по всему сечению. Вид насадки определяется размером, формой и свойствами материала. Для очень мелкого материала, например, зерна, применяют закрытую ячейковую систему внутренних

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

устройств, в которой материал только переваливается при вращении барабана при небольшой высоте падения.

В распылительных сушилках достигается высокая интенсивность испарения влаги за счёт тонкого распыления высушиваемого материала в сушильной камере, через которую движется сушильный агент (нагретый воздух или топочные газы). При сушке в распылённом состоянии удельная поверхность испарения становится большой, что позволяет процесс высушивания завершаться быстро (примерно за 15–30 секунд). Распыление осуществляется механическими и пневматическими форсунками, а также с помощью центробежных дисков.

В сушилках с кипящим слоем процесс позволяет значительно увеличить поверхность контакта между частицами материала и сушильным агентом, интенсифицировать испарение влаги из материала и сократить продолжительность сушки (до нескольких минут). Это происходит, когда под действием восходящего потока газа (сушильного агента) частицы слоя переходят во взвешенное состояние.

В бункерах активного вентилирования увеличение контакта поверхности фаз обеспечивается применением перемешивания плотного зернового слоя (рис. 3).

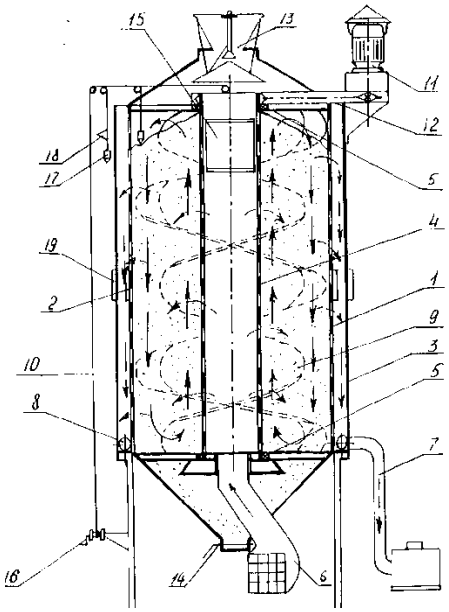


Рис. 3. Вентилируемый бункер

1 – корпус бункера; 2, 19 – пробоотборники; 3 – кожух; 4 – воздухораспределительная труба; 5 – привод; 6 – воздухоподающее устройство; 7 – вентилятор; 8 – кольцевая труба; 9, 10 – прямой и обратный шнек; 11 – электродвигатель с редуктором; 12 – передаточный механизм; 13 – конусный распре-делитель; 14 – заслонка; 15 – цилиндрический клапан;

16 – привод клапана; 17 – груз; 18 – упор.

Для выравнивания влажности по всему объему и исключения возможности слёживания зерна периодически включается в работу электродвигатель с редуктором 11 и приводится во вращение воздухораспределительная труба 4 с навитыми на ней прямым 9 и обратным 10 шнеками. Слои зерна расположенные ближе к воздухораспределительной трубе 4 поднимаются прямым шнеком 9 вверх, а дальние обратным шнеком 10 опускаются вниз. В результате осуществляется активное перемешивание находящегося в бункере зерна.

В бункерах активного вентилирования реализуются и другие подходы в реализации метода увеличения поверхности контакта фаз (рис. 4).

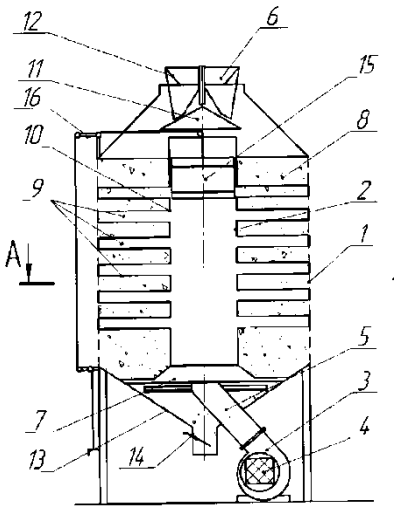


Рис. 4. Вентилируемый бункер для зерна
1 – внешний цилиндр; 2 – внутренний цилиндр; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – воздухоподводящее устройство; 6 – узел подачи зерна; 7 – узел вывода зерна; 8 – кольцевое пространство; 9 – пятигранные короба; 10 – плечики; 11 – конус; 12 – распределитель зерна; 13 – обратный конус; 14 – шибер; 15 – клапан; 16 – тросо-балочная система.

Вентиляционный бункер для зерна работает следующим образом. При закрытом шибере 14 зерно норией (нория не указана) подается узлом подачи в кольцевое пространство 8, уровень зерновой насыпи в зависимости от назначения, вида культуры и влажности устанавливается в строго определенных пределах.

После заполнения бункера клапан 15 с помощью трособалочной системы 16 устанавливают ниже поверхности зерновой насыпи и включают вентилятор 3. Воздушный поток, нагнетаемый вентилятором, проходит через отверстия внутреннего цилиндра 2 в

пятигранные короба, из которых веерообразно направляется в слой зерна, пронизывает его и выводится наружу через перфорацию внешнего цилиндра.

Поскольку сопротивление, оказываемое воздушному потоку при его выходе в слой зерновой насыпи со стороны отверстий внутреннего цилиндра значительно меньше перфорированной поверхности внешнего цилиндра, то это оказывает положительное влияние на интенсивность протекания массообменных процессов. В процессе прохождения воздушного потока через электрокалорифер 4 воздух дополнительно подогревается и таким образом относительная влажность его снижается.

Увеличение поверхности контакта фаз реализовано в бункере [12], который работает следующим образом (рис. 5). Зерно в бункер загружается сверху. После полной загрузки включается шнек 11 и воздухозаборник 15. Зерно проходит через рабочую камеру, образованную воздухораспределительной обечайкой 2 и корпусом 1, гравитационно движущимся слоем и с нижней части из цилиндрической камеры 5 шнеком 11 передвигается в верхнюю часть трубы 10. Циркуляция зерна осуществляется до заданного снижения уровня влажности. Теплый воздух, нагнетаемый вентилятором, поступает в воздухораспределительную обечайку 2, проходит через щели в ней, слой зерна и щели корпуса 1. Отработанный воздух выбрасывается в атмосферу. Теплый воздух подают в воздухораспределительную обечайку 2 после заполнения бункера зерном по всей его высоте.

При установке куполообразного воздухозаборника 15 разбрасываемое шнеком 11 зерно продувается аспирационным потоком, примеси всасываются из разбрасываемого зерна, а также одновременно с этим захватываются примеси, которые выдувает основной воздушный поток из верхнего слоя осевшего зерна. Кроме того, для того чтобы создать дополнительное разряжение, способствующее повышению эффективности вентилирования зерна. Выполнение воздухозаборника 15 куполообразным необходимо для того, чтобы разбрасываемый шнеком 11 поток зерна равномерно продувался потоком воздуха.

Принцип увеличения количества подводящих воздушных каналов применён и Бодртдиновым А.З. [13]. Схема установки приведена на рисунке 6.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

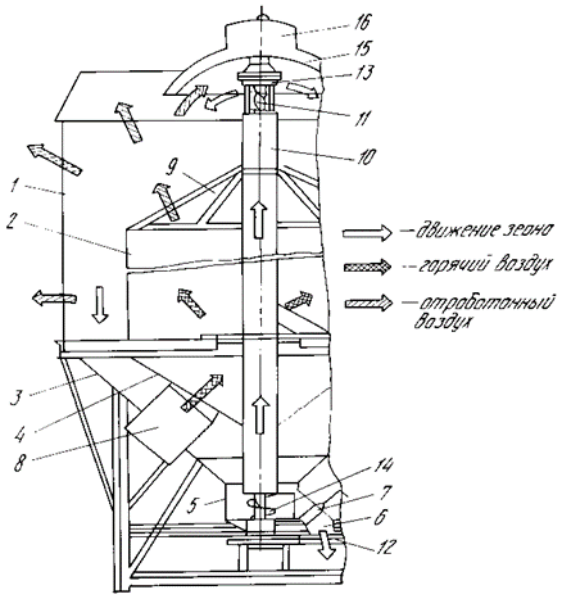


Рис. 5. Вентилируемый бункер

1 – перфорированный корпус; 2- воздухорас-пределительная обечайка; 3, 4 – конические днища обечайки; 5 – цилиндрическая камера; 6 – выгрузная течь; 7 – заслонка; 8 – воздухо-вод; 9 – конусообразная перфорированная крышка; 10 – труба; 11 – шнек; 12 – ремённая передача; 13 – верхний конец шнека; 14 – низший конец шнека; 15 – куполообраз-ный воз-духозаборник; 16 – воздуховод.

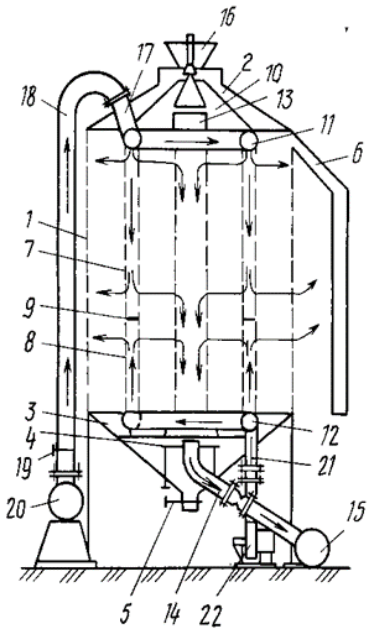


Рис. 6. Вентилируемый бункер

1 – цилиндрический перфорированный корпус; 2 – конусообразная крышка; 3 – днище; 4 – регулировочное кольцо; разгрузочное устройство; 6 – труба; 7, 8 – напорные камеры; 9 – перегородка; 10 – конусообразный делитель; 11 – воздухораспредели-тель; 13 – воздухо-отводящая труба; 14 – патрубок; 15 – вентилятор; 16 – распределитель зерна; 17 – патрубок; 18 – воздухоподающая труба; 19 – задвижка; 20 – вентилятор

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Устройство предполагает поточную сушку зерна. После заполнения бункера, определяемого по обратному истечению зерна по трубе 6, открывают заслонку разгрузочного устройства 5, устанавливают регулировочное кольцо 4 в такое положение, при котором зерно из внутреннего и наружного кольцевых пространств истекало бы равномерно, уменьшают подачу зерна в распределитель 16 и увеличивают подачу агента сушки в камеру 7. Сушка будет производиться непрерывно до кондиционного состояния зерна за один прием, независимо от его исходной влажности, погодных условий и времени суток.

2. Увеличение кинетических коэффициентов (коэффициентов переноса).

Его можно достигнуть уменьшением толщины, либо разрушением пограничного слоя, изменением свойств и структуры высушиваемого продукта. Изменение свойств или структуры объекта сушки связано с изменением взаимодействий на атомно-молекулярном уровне. К этим способам интенсификации относятся взаимодействия магнитных и электрических полей и акустических колебаний. Разрушения или уменьшения пограничного слоя обычно достигают увеличением турбулизации путем увеличения скорости агента сушки относительно поверхности высушиваемого материала, введением дополнительных порций высушиваемого продукта в камеру, изменением скорости движения теплового потока, увеличением шероховатости поверхности материала и пр.

Такого рода взаимодействия, очевидно, способствуют не только уменьшению толщины или разрушению пограничных слоев, но и увеличению поверхности контакта фаз, т.е. эти воздействия, носят комбинированный характер.

Разработан следующий способ [14] уменьшения толщины слоя высушиваемого материала в шахтных зерносушилках (рис. 7).

Предварительный нагрев зерна позволяет проводить процесс сушки в более мягком режиме за счет уменьшения разницы между температурой сушильного агента и зерна, подаваемого на сушку, что положительно сказывается на потребительских свойствах зерна.

После заполнения бункера подачу исходного зерна уменьшают и включают привод вентилятора 23. Холодный воздух, засасываемый вентилятором 23, очищается в фильтре 21 от пыли и через патрубок 13 и питающую часть коллектора 12 проходит в подводящие короба, пронизывает слой материала и поступает в отводящие короба, из которых через сборную часть коллектора 12 и патрубок 14 направляется в калорифер 22. Из калорифера часть нагретого воздуха (далее сушильный агент) подается вентилятором 3 к активному соплу 32

эжектора 31, а другая через патрубок 15 – во II ступень сушки. Сушильный агент проходит через слой зерна, выводится через патрубок 16 и поступает через патрубок 17 в I ступень сушки, из которой через патрубок 18 забирается и выбрасывается вентилятором 23 наружу.

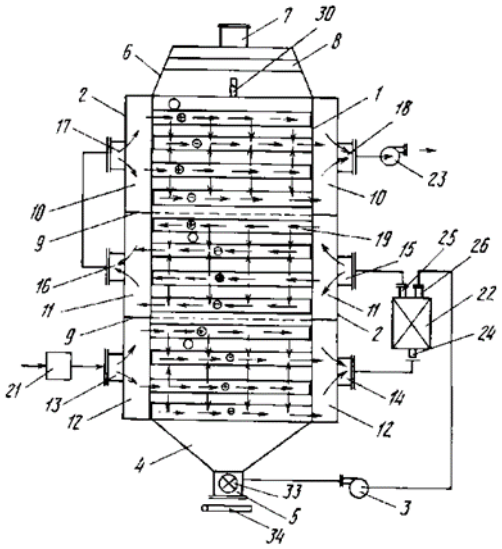


Рис. 7. Вентилируемый бункер для зерна
1 – корпус; 2 – наружный герметичный кожух; 3 – вентилятор высокого давления; 4 – коническое днище; 5 – выгрузной патрубок; 6 – коническая крышка; 7 – технологический патрубок; 8 – отража-тель; 9 – горизонтальные перегородки; 10, 11, 12 – коллекторы; 13, 14, 15, 16, 17, 18 – тех-нологические патрубки; 19 – распределительные короба; 20 – полукороба; 21 – фильтр очистки наружного воздуха; 22 – электрический калорифер; 23 – центробежный вентилятор; 24, 25, 26 – патрубки; 27 – передвижной ленточный транспортер; 28 – дозатор; 29 – лопастной затвор; 30 – подъемная труба; 31 – эжектор; 32 – сопло.

Зерно движется в бункере в виде сплошных тонких слоев, проходя последовательно I, II ступени сушки и охладительную ступень III.

Увеличению кинетических коэффициентов влагопереноса посвящены способы сушки использующие электротехнологию [15, 16].

2. Увеличение разности потенциалов (движущей силы).

Движущей силой в процессах являются градиент переносимой субстанции: при передаче тепла – градиент температур, при переносе массы – градиент концентрации и т.д. В процессе сушки движущей силой является и градиент парциального давления сушильного агента, т.е. разность парциальных давлений на поверхности материала и в сушильной среде. Движущую силу можно увеличить увеличением численного значения субстанции (концентрация, температура, давление) в начальной фазе и уменьшением ее в принимающей

(конечной) фазе. При внутреннем переносе это разность температур, концентраций влаги и давлений внутри материала и на его поверхности, а при внешнем переносе – парциальных давлений водяного пара на поверхности материала и в среде агента сушки.

Например, в комбинированных технологиях сушки зерна используется способ воздействия на зерно СВЧ-полями. При попадании зерна в электромагнитное поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) молекулы воды совершают колебательные движения, в результате которых происходит трение о соседние молекулы воды и каркаса сухого вещества. Это вызывает нагрев воды в зерне и самого зернового материала. При этом происходит нагрев и испарение воды внутри зерна, возникает градиент давления водяных паров, который выталкивает влагу на поверхность зерна. В результате чего существенно интенсифицируется процесс сушки [15, 17, 18, 19, 20].

Сушка зерна токами сверхвысокой и высокой частоты использует явление диэлектрического нагрева материала в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). При попадании зерна (семян) в ЭМП СВЧ молекулы воды совершают колебательные движения, в результате которых происходит трение о соседние молекулы воды и каркаса сухого вещества. Это становится причиной нагрева воды в зерне и самого зернового материала. При этом происходит нагрев и испарение воды внутри зерна, возникает градиент давления водяных паров ∇p, который выталкивает влагу на поверхность зерна. В результате чего существенно интенсифицируется процесс сушки. В отличие от традиционных способов сушки, при СВЧ-нагреве градиенты влагосодержания ∇U и температуры ∇T нагрева зерновки совпадают, что интенсифицирует внутренний тепловлагоперенос и существенно ускоряет сушку. Комбинированная сушка семян с применением ЭМП СВЧ включает диэлектрический нагрев и выполняется циклически в сочетании с высокотемпературным конвективным нагревом зерна до 50℃, а потом только кратковременная его СВЧ-обработка с повышением температуры материала до 60℃. При СВЧ-обработке внутри нагретой зерновки создается избыточное давление влаги при температуре ниже температуры кипения воды. Вследствие этого ускоряется фильтрационный перенос влаги из зерновки на её поверхность в капельно-жидкостном состоянии. С поверхности зерна влага удаляется подогретым воздушным теплоносителем. Удельный расход энергии на сушку зерна, по сравнению с традиционной конвективной, сокращается в 1,3 и более раз, снижаются микроповреждения семян до 6%, их посевные качества повышаются на 5% [21, 22].

Рассматриваемый ниже способ сушки зерна (рис. 8) сочетает в себе обработку материала в ЭМП СВЧ и активное вентилирование [23].

Сырое зерно подают в СВЧ активную зону, где на него воздействуют полем СВЧ. Время нахождения материала в СВЧ активной зоне выбирают таким, чтобы температура нагрева зерна не превысила предельного значения. Обработка полем СВЧ приводит к перемещению влаги в зерне от его центра к поверхности, что снижает затраты энергии на последующем этапе сушки неподогретым или слабоподогретым воздухом и увеличивает скорость процесса.

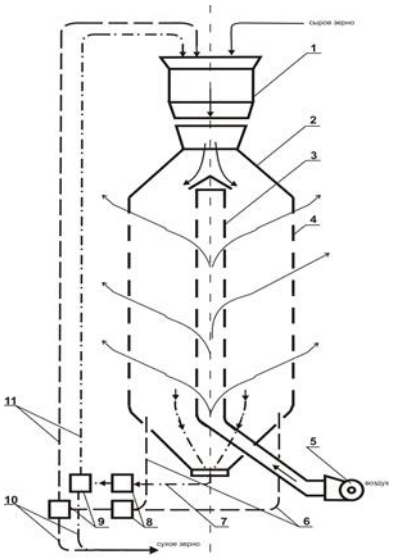


Рис. 8. Технологическая схема, поясняющая комбинированный СВЧ-рециркуляционный способ сушки зерна

После обработки полем СВЧ материал подают в бункер активного вентилирования. После частичного заполнения бункера воздухозапорный клапан, расположенный в центральном воздуховоде, устанавливают ниже верхней кромки зерна и начинают процесс вентилирования. Атмосферный, или подогретый калорифером, воздух подают в центральный воздуховод вентилятором. Оттуда, через зерновой слой по радиусу бункера, воздух движется к внешней стенке цилиндра. Происходит вентилирование материала. При такой системе воздухораспределения первыми подсыхают слои зерна расположенные ближе к центральному воздуховоду. Слои зерна расположенные ближе к стенке внешнего цилиндра могут даже незначительно увлажняться, поскольку происходит перенос влаги от зерна расположенного ближе к стенке внутреннего воздуховода. Возникает значительная

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

неравномерность влажности материала по радиальной толщине слоя. По истечению заданного времени вентилирования, когда подсушатся до требуемой влажности слои зерна расположенные ближе к центральному воздуховоду, через выпускное устройство выпускают из бункера вертикальные слои зерна расположенные ближе к внешнему цилиндру.

В реальных установках активного вентилирования это зависит от конструктивных особенностей бункера. В них может быть как несколько выпускных устройств, так и одно, к которому элементы конструкции бункера направляют вертикальные слои зерна расположенные ближе к внешней стенке цилиндра. Конструкция бункера может позволять избирательно выпускать зерно более чем из двух вертикальных слоёв. Одновременно начинают выпускать материал расположенный ближе к центральному воздуховоду. Соотношение объёмов выпускаемого влажного и подсушенного зерна зависит от исходной влажности материала загруженного в бункер, влажности зерна возле центрального воздуховода, критерия управления процессом активного вентилирования.

Влажность выпускаемого зерна измеряют с помощью влагомеров. Если она соответствует требуемой конечной влажности, то материал с помощью заслонок направляют в линию сухого зерна для последующей обработки. Зерно, требующее досушки, направляют в СВЧ активную зону. Здесь зерно перемешивают, чтобы обеспечить равномерность обработки и повысить её эффективность. Одновременно с перемешиванием зернистый материал подвергают воздействию СВЧ поля. СВЧ полем на материал воздействуют троекратно. Время воздействия поля устанавливают таким, чтобы температура нагрева зерна не превысила требуемого значения. После первого и второго воздействий полем материал выдерживают в течение времени необходимого для снижения температуры до заданного значения. В течение этого времени происходит перераспределение влаги между влажным и подсушенным зерном. Установлено, что после третьего воздействия полем на материал температуры его влажной и сухой составляющей выравниваются. Для выравнивания влажности между компонентами материала зерно выдерживают без всякого воздействия требуемое время. Процесс рециркуляции закончен. Из СВЧ активной зоны зернистый материал направляют в бункер активного вентилирования для досушивания. Описанный способ сушки зерна с использованием СВЧ рециркуляции в установках активного вентилирования бункерного типа позволяет увеличить производительность по сравнению со стандартной технологией до 30% и снизить энергоёмкость процесса на 17%.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Анализ различных методов сушки зерна активным вентилированием позволил выявить основные методы интенсификации сушки зерна и снижения неравномерности высыхания зерна по слою при его сушке в установках активного вентилирования бункерного типа.

Увеличение производительности сушки зерна активным вентилированием возможно за счёт применения технологии рециркуляции зерна с воздействием поля СВЧ.

Использование воздействия СВЧ полем на смесь зерна при сушке зерна активным вентилированием приводит к снижению неравномерности нагрева слоя зерна с 30℃ до 5℃ и интенсифицирует процесс влагопереноса между «влажным» и «сухим» зерном. При этом производительность установки активного вентилирования увеличивается на 30% и снижает энергоёмкость процесса сушки зерна на 14%.

Список использованных источников:

1. Анискин, В.И. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием / В.И. Анискин, В.А. Рыбарук. – Москва: Колос, 1972. – 190с.

2. Атаназевич, В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич. – Москва: ДеЛипринт, 2007. – 480с.

3. Баум, А.Е. Сушка зерна / А.Е. Баум, В.А. Резчиков. – Москва: Колос, 1983. – 223с.: ил.

4. Будников, Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.02 / Будников Дмитрий Александрович. – Зерноград, 2008. – 164 с., ил.

5. Васильев, А.Н. Информационный подход к описанию поведения зернового слоя при сушке / А.Н. Васильев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. Агроинженерия. – 2008. – №3. – Ч.1. – С. 28-31.

6. Васильев А.Н. Планирование эксперимента по определению сопротивления плотного зернового слоя воздушному потоку / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко // ФГОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2007. – С. 86-89.

7. Патент на полезную модель № 113631 U1 Российская Федерация, МПК A01F 25/14. Бункер для хранения и вентилирования зерна: № 2011138312/13: заявл. 19.09.2011: опубл. 27.02.2012 / А.Н. Васильев, О.В. Северинов, Н.Б. Руденко [и др.]; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ).

8. Будников, Д.А. Аэродинамическоге сопротивление зернового слоя при сушке / Д.А.

Будников, Н.Б. Руденко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1(3). – С. 44-47.

9. Патент № 2479982 С1 Российская Федерация, МПК A01F 25/14. Способ сушки зерна в бункерах активного вентилирования: № 2011138313/13: заявл. 19.09.2011: опубл. 27.04.2013 / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко, Д.А. Будников [и др.]; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии).

10. Васильев, А.Н. Модель СВЧ активации и сушки зерна активным вентилированием / А.Н. Васильев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. Агроинженерия. – 2007. – №3. – Ч. 2. – С. 91-93.

11. Васильев, А.Н. Предварительные результаты производственного эксперимента СВЧ сушки зерна / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Б.Г. Смирнов // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сборник научных трудов. – Зерноград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – Вып.6. – С.78-80.

12. Пат. 2016502 Российская Федерация, МПК5 A01F25/00, A01F25/08/Вентилируемый бункер для сыпучих материалов / Крючков А.Г., Надточий А.Н.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение «Южный Урал». – № 5002218/13; заявлен 01.07.199; опубликован 30.07.1994, – 6 с.: ил.

13. Пат. 2034438 Российская Федерация, МПК6 A01F25/08/Вентилируемый бункер / Бодртдинов А.З.; заявитель и патентообладатель Бодртдинов Адип Загреевич. – № 5043545/15; заявлен 22.05.1992; опубликован 10.05.1995.

14. Пат. 2031821 Российская Федерация, МПК6 B65D88/72/Вентилируемый бункер для зерна / Сафин Р.Г., Нигаметзянова Л.Н., Ахметшин Р.Г., Голубев Л.Г., Пузаков В.Б.; заявитель и патентообладатель Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования. – № 5020209/13; заявлен 03.01.1992; опубликован 27.03.1995. – 5с.: ил.

15. Васильев, А.Н. Электротехнология и управление при интенсификации сушки зерна активным вентилированием / А.Н. Васильев // Ростов-на-Дону: Терра Принт, 2008. – 240 с.

16. Лыков, А.В. Исследование процесса сушки в поле высокой частоты / А.В. Лыков, Г.А. Максимов // Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах. – Ленинград; Москва: Госэнергоиздат, 1957. – С. 133-142.

17. Васильев, А.Н. Экспериментальная установка и планирование эксперимента по СВЧ сушке зерна / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Б.Г. Смирнов // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сборник научных трудов. – Ставрополь АГРУС, 2006. – С.103-107.

18. Руденко, Н.Б. Модель тепловлагообмена при рециркуляции зерна / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко // ФГОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2007. – С. 37-41.

19. Васильев А.Н. Процессы сушки зерновых материалов с использованием ЭМП СВЧ / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко, С.В. Маркова // Вестник МГАУ. Агроинженерия. – Москва, 2011. – №1(46). – С. 19-22.

20. Васильев А.Н. СВЧ-рециркуляционная сушка зерна активным вентилированием/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сборник научных трудов по материалам 74-ой научно-практической конференции СТГАУ. – Ставрополь: ФГОУ ВПО СтГАУ, 2010. – С. 285-290.

21. Пахомов, В.И. Перспективы применения СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, А.А. Парапонов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 7-й Междунар. науч.-техн. конференции (г. Москва, ГНУ ВИЭСХ, 18-19 мая 2010г.). В 5-ти частях. – М.: РИГ ВИЭСХ, 2010. – Ч.3. – С.250-255.

22. Липкович, Э.И. Комбинированная сушка семян с использованием СВЧ-энергии / Э.И. Липкович, В.И. Пахомов // Использование СВЧ энергии в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. трудов / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград: ПМГ ВНИПТИМЭСХ, 1989.– С.124-131.

23. Руденко, Н.Б. Математическая модель изменения температуры воздуха в межзерновом пространстве при СВЧ-рециркуляционной сушке зерна активным вентилированием / Н.Б. Руденко, Н.Н. Грачева, Д.А. Будников // Инновационные энергоресурсосберегающие технологии: Пленарные доклады и тезисы сообщений международной научно-практической конференции в рамках научной сессии (МНС-12), Москва, 08–09 ноября 2012 года / ФГБОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – Москва: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкин, 2012. – С. 45-47.

Цитирование: Таранов М.А., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н., Егорова И.В., Казакова А.С. Методы совершенствования технологий активного вентилирования зерна как основа для разработки способа сушки с использованием СВЧ-рециркуляции [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2026. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2026/2/st_213.pdf
DOI: https://doi.org/10.51419/202162213.