

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ СЫПУЧЕГО СЫРЬЯ В КОНВЕКТИВНО-ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОЙ МАШИНЕ

*Игорь Паламарчук, Оксана Зозуляк, Александр Герасимов р
Винницкий национальный аграрный университет*

г. Винница, ул. Солячка 3

*Palamarchuk Igor, Zozulyak Oksana, Gerasimov Oleksandr
Vinnytsia national agrarian university*

Аннотация. В работе приведены примеры регулирования тепломассообменных процессов. Были рассмотрены и разработана принципиальная схема системы автоматического регулирования и измерения энергетических и пространственных параметров вибрационных тепломассообменных процессов.

Ключевые слова: сушка, процесс, тепломассообмен, регулирование, вибрация.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее часто используемых и более энергоемким есть процесс конвективной сушки.

В этом случае важным вопросом есть сокращение энергозатрат. Это может быть достигнуто путем выбора соответствующей технологии сушки и использование дополнительных факторов интенсификации процесса [5].

Сушка как процесс удаления из системы жидкости вследствие подвода к ней теплоты зависит от действия градиентов как температур, так и концентраций (подразумевается разница между концентрациями жидкого элемента в одной из взаимодействующих фаз и его равновесной концентрации в этой фазе), что обуславливает сушку как тепломассообменный процесс. Также интенсивность сушки зависит от условий переноса тепла и массы внутри тела и на границе раздела фаз, то есть определяется условиями тепломассообмена в системе. Улучшение в данных условиях достигается, в основном, или за счет повышения динамичности внешнего силового поля, или вследствие повышения площади контакта взаимодействующих фаз [15, 20]. В настоящее время этот эффект реализуется пневмосистемах, в «вибрационном поле» или при комбинированных действиях данных силовых факторов, когда в системе воз-

никает псевдооживленный слой высушиваемого материала. Основными технологическими преимуществами кипящего слоя является высокая интенсивность процессов переноса теплоты (объемный коэффициент теплообмена, отнесен к слою материала, равный 5000-13000 ккал/см². ч. град) и связанные с этим низкие перепады температур внутри самого слоя. Кроме того, в процессе теплообмена происходит ударение частиц и, как следствие, турбулизация и деформация пограничных слоев обрабатываемого материала, что повышает активную поверхность взаимодействия фаз. Данный метод обработки используется при сушке зернистой, сыпучей, пастообразной и вязкой продукции [19, 16].

Среди особенностей исследуемой системы является сложная механическая и физико-механическое воздействие на сыпучее сырье в условиях создания ее виброоживленного слоя предопределяет высокий потенциал интенсификации обработки и актуальность разработки системы ее эффективного регулирования [12, 14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Целью исследования является разработка способа автоматического регулирования процесса сушки сыпучего сельскохозяйственного сырья при условии сочетания при обработке процессов центрифугирования и действия знакопеременных нагрузок.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Среди известных систем регулирования тепломассообменных процессов можно определить следующие.

В сушке-грануляторе (рис. 1) сигналы, пропорциональные влажности теплоносителя на выходе аппарата, поступают соответ-

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ СЫПУЧЕГО СЫРЬЯ В КОНВЕКТИВНО-ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОЙ МАШИНЕ

венно из датчиков 3 и 4 на вычислительный блок 7. Сюда же направляют сигнал с расходомера 5, пропорциональный подачи теплоносителя, и сигнал, пропорциональный влажности исходного материала с датчика 2. Вычислительный блок 7 производит корректирующий сигнал стабилизирующего регулятора 8, который оказывает влияние на исполнительный механизм 9 подачи материала в зависимости от сигналов с расходомера 6 и измерительного блока 7.

При этом перепад давления в сушилке - грануляторе 1, пропорциональный массе взвешенного слоя, который стабилизирует цепь, состоящий из датчиков 14 давления, сигналы с которых поступают на манометр 15 регулятора 16 и исполнительного механизма 17, который изменяет величину выдержки готового продукта.

Температура теплоносителя регулируется изменениями подачи топлива в печь 13 исполнительным механизмом 12 согласно сигнал, который передается из регулятора 11 и является пропорциональным температуре теплоносителя аппарата.

Также эффективным способ управления процессом термообработки виброоживонного материала (рис. 2), включает в себя топку 1, сушильную камеру 2 с решеткой 3. Система автоматического управления содержит датчик 4 расхода топлива, датчик 5 расхода воздуха, датчик 6 температуры сушильного агента, датчик 7 порозности взвешенного слоя, регулятор 8 температуры сушильного агента, регулятор 9 соотношения топливо - воздух, корректирующий регулятор 10 порозности, корректирующий регулятор 11 температуры сушильного агента, и регулирует устройство 12 на линии подачи топлива в топку 1 которая регулирует устройство 13 на линии подачи воздуха.

Разрабатываемый способ управления процессом термообработки материала установки кипящего слоя реализуется путем измерения и регулирования температуры сушильного агента на входе в агрегат, измерения расхода топлива и воздуха, который поступает в топку, выявление соотношения полученных расходов по полученным значениям изменения расхода воздуха. С целью улучшения качества процесса термообработки, дополнительно

находят порозность кипящего слоя и по его величине корректируют соотношение расхода топлива и воздуха.

Коррекцию соотношения расхода топлива и воздуха осуществляется с изменением температуры сушильного агента [18].

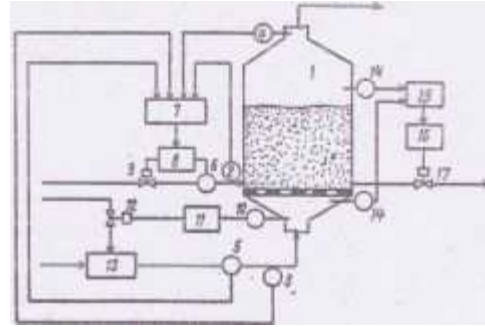


Рис. 1. Способ автоматического регулирования процесса сушки материалов во взвешенном слое.

Fig. 1. A method of automatic control of the process of drying material in suspension layer.

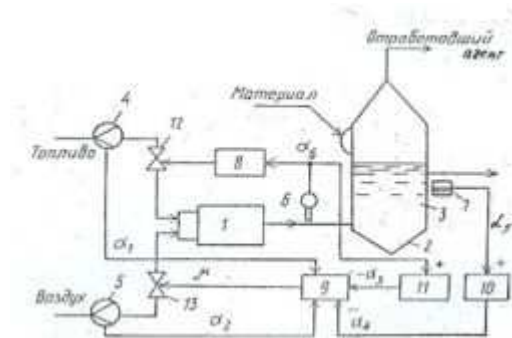


Рис. 2. Способ управления процессом термообработки материала установки кипящего слоя.

Fig. 2. Method of heat treatment process control settings boiling material layer.

Система управления процессом сушки зерна содержит датчики 1 (рис. 3) температуры зерна, коммутатор 2, нормирующий преобразователь 3, блок 4 сравнения, блок 5 задержки, блок 6 управления, блок 7 индикации и регулятор 8 температуры нагрева.

Система управления процессом сушки работает следующим образом.

Коммутатор 2 последовательно, циклически подключает датчики 1

температуры к нормирующему преобразователю 3.

Выходной сигнал нормирующего преобразователя 3 в виде напряжения постоянного тока, пропорционального температуре зерна, поступает на блок 7 индикации и блок 4 сравнения. Блок 7 индикации превращает этот сигнал и информация о температуре в форме десятичного числа выводится на цифровые индикаторы блока 7 индикации. На второй вход блока 4 сравнения поступает сигнал постоянного тока с датчика 8 температуры нагрева.

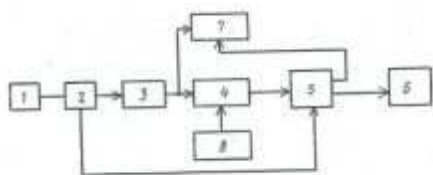


Рис. 3. Система управления процессом сушки зерна.

Fig. 3. Control system for process of drying grain.

Если в процессе циклического опроса датчиков 1 температуры выходное напряжение преобразователя 3 превышает напряжение регулятора 8, блок 4 сравнения переключит узел управления, соответствующего датчика, который опрашивается. Узел, который переключился обеспечивает подачу импульсов генератора на вход соединенного с ним счетчика.

Если температура этого датчика не снизится в течение заданной временной установки, на выходе счетчика и, соответственно, на выходе блока 5 задержки появится сигнал, который поступает на блоки 6 и 7. По этому сигналу блок 6 управления уменьшит подачу тепла в массу зерна.

Введение в систему управления блока 5 задержки, входы которого подключены к коммутатору 2 и блока 4 сравнения, а выходы соединены с входами блока 7 индикации и блока 6 управления, позволяют уменьшить число срабатываний исполнительных механизмов, с помощью которых регулируется подача теплоносителя в сушилку, что в конце концов приводит к снижению неравномерности по влажности

зерна на выходе сушилки, т.е. повышение его качества.

На основе проведенного аналитического обзора существующих способов и средств вибрационной обработки в сочетании с влаговыведением была разработана принципиальная схема системы автоматического регулирования и измерения энергетических и пространственных параметров вибрационных теплообменных процессов.

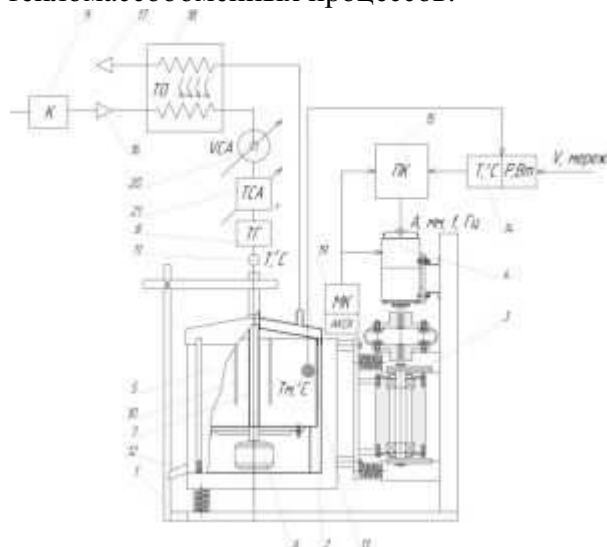


Рис. 4. Функциональная схема конвективно-фильтрационной виброцентробежной машины.

Fig. 4. Functional diagram of convective filtration vibratory centrifugal machines.

В состав системы входит микроконтроллерное устройство измерения и автоматического регулирования энергетических и тепловых параметров процесса 14; датчик параметров вибраций сушильной камеры 19; персональный компьютер 15 со соответствующим программным обеспечением. Такая система взаимодействует с следующими устройствами: регуляторами мощности с аналогово-цифровым управлением 21; регуляторами частоты вращения двигателей вентиляторов 20; управляемым генератором токов электромагнитного вибровозбудителя 13.

Вибрационная фильтрационно-осмотическая экспериментальная сушилка состоит из центрифуги 5, которая с помощью упругих элементов крепится к раме 1. Вибрационные колебания корпуса машины предоставляются с помощью дебалансного

вибропривода 3, который приводится в движение с помощью электродвигателя 4. Ротор центрифуги 2 вращается двигателем 6. По периферии ротора размещены электроды электроосмотического устройства 10. Для подведения теплоагента, который нагнетается компрессором 9 и нагревается в теплогенераторе 8, в корпусе центрифуги размещен перфорированный патрубок.

Микроконтроллерное (МК) - устройство работает следующим образом. В ротор 2 фильтрующей центрифуги 5 подается высоковлажное сырье. Под действием центробежных сил из сырья удаляется свободная влага через патрубок 12. Для разрушения уплотненного слоя продукта, который образуется после центрифугирования у стенки перфорированного ротора создаются вибрационные колебания с помощью вибропривода 3. Через перфорированный патрубок 7 подается в ротор центрифуги горячий воздух, который нагревается в теплообменнике 18. Температура и скорость (количество) воздуха регулируется с помощью регуляторов мощности теплогенератора 21; и регуляторами частоты вращения двигателей вентилятора 20. В роторе слой материала приводится в псевдооживное состояние вследствие совместного действия вибрации и потока сушильного агента. При интенсивном перемешивании обеспечивается равномерный нагрев и сушка отдельных частиц материала, т.е. происходит активный процесс теплообмена. Сушка реализуется как конвективным, так и кондуктивным методами. В тот момент, когда частицы сыпучего материала находятся между поверхностями перфорированного патрубка и перфорированного ротора проходит процесс конвективной сушки, непосредственно благодаря контакту с нагретыми данным поверхностями, через которую проходит сушильный агент, осуществляя кондуктивную передачу тепла.

Отработанный сушильный агент, прошедший сквозь сыпучий материал, передает теплоту свежему агенту поверхностно развитым площадям теплообменного утилизатора 18 и удаляется через выпускной патрубок 17.

Разработанная система функционирует следующим образом. МК-устройство 14 обеспечивает автоматическое регулирование температуры сушильного агента, получая

сигнал о текущей температуре с датчиков - интегральных термометров, установленных на выходе калорифера 21, каждый из которых содержит регулятор мощности с аналогово-цифровым управлением и нагревательным элементом. МК-устройство сравнивает полученный сигнал с заданным, нарабатывая сигнал управления для регулятора мощности с аналогово-цифровым управлением.

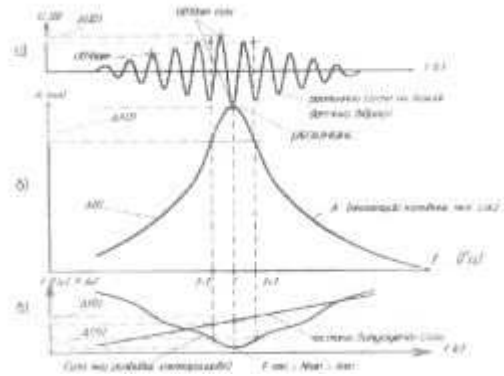


Рис. 5. Принцип автоматического регулирования параметров резонансного режима вибраций.

Fig. 5. The principle of automatic control settings resonant mode of vibration.

Также МК устройство обеспечивает измерение температуры продукции, с использованием аналогичного датчика, установленного непосредственно в слое высушиваемого материала. МК-устройство осуществляет измерения мгновенной мощности и потребленной электроэнергии.

Обеспечение энергосберегающего режима псевдооживления осуществляется автоматическим поддержанием частоты вибраций [11] (центрифуги) сушильной камеры близкой к резонансной (рис. 5, 6).

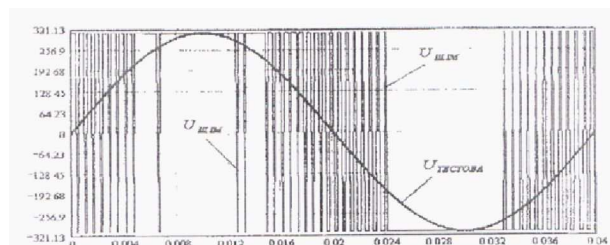


Рис. 6. Эпюры виброперемещений.

Fig. 6. Diagrams of vibration movements.

На основе данных, полученных от датчика параметров вибраций сушильной камеры 5, состоящий из сенсора-акселерометра и

служебного буферного микроконтроллера, и данных о мгновенной мощности привода вибровозбудителя, поступающих от МК-устройства 14, персональный компьютер (ПК) 15 вырабатывает сигнал для управляемого генератора токов электромагнитного вибровозбудителя 13. Применение ПК в процессе проведения экспериментальных исследований позволяет осуществлять обработку и накопление данных, их графическую интерпретацию с целью определения рациональных параметров процесса. В промышленных условиях функцию регулирования может осуществлять микроконтроллер с программным обеспечением, которое учитывает предыдущие наработки [7, 8, 9].

Задание скорости подачи сушильного агента осуществляется с помощью электронного регулятора частоты вращения электродвигателей [17].

С целью определения основных конструктивных и режимных параметров процесса были проведены экспериментальные исследования процессов влагоудаления и вибрационной транспортировки с применением разработанного и изготовленного комплекса сушильного оборудования и МК-системы.

Основные результаты исследований приведены в таблице 1.

Технологические испытания опытно-промышленного образца комплекса проводились для сушки семян бахчевых культур, в частности дыни и кабачков.

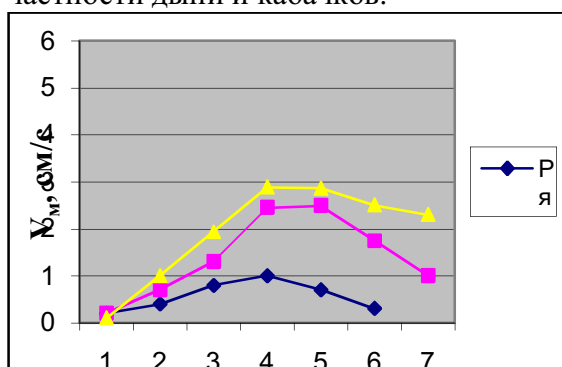


Рис. 7. Зависимость скорости транспортировки материала от частоты вибраций при различной амплитуде вибраций: 1-1,5 мм, 2 - 3,5 мм, 3-6мм..

Fig. 7. Dependence of material transportation on the frequency of vibrations at different amplitudes of vibration: 1-1.5 mm, 2 - 3.5mm, 3-6mm

Таблица 1. Технические характеристики комплекса

Table 1. Specifications of the complex

Производительность сушки, кг / ч	60
Мощность калорифера, кВт	3
Температура сушильного агента, °С	20 – 120
Подача сушильного агента, м ³ /мин.	2 – 6
Амплитуда, мм	0,5 – 8
Частота рабочих ходов, Гц	10 – 20
Удельные затраты энергии на вибротранспортирование, Вт / кг	40
Удельные затраты энергии на подачу сушильного агента, Вт / кг	16
Удельные затраты энергии на нагрев теплоносителя, Вт / кг	при 120 °С – 123 при 80 °С – 94 при 60 °С – 72
Суммарные затраты энергии на сушку, Вт/кг	128 – 188
Габаритные размеры, мм	100×590×590
Масса агрегата, кг	138

Частицы сушильного материала осуществляют движение по сложной траектории, на некоторое время попадают в нижнюю часть слоя, в сушильную зону активного теплообмена, где получают некоторое количество теплоты. Затем подхваченные потоком сушильного агента семена попадают в верхнюю часть слоя, теряют часть аккумулированной теплоты вследствие соприкосновения с более холодными поверхностями частиц сыпучего материала [1, 2].

В результате этого температура, которую получила доля сушильного материала в нижней части слоя сушильного материала уменьшается до того момента, пока вновь не попадет в сушильную зону активного теплообмена и получит новый тепловой импульс.

Таблица 2. Баланс затрат энергии при сушке.
Table 2 Balance of energy consumption while drying.

Удельные затраты энергии на образование виброожиженного слоя	8 Вт/кг
Удельные затраты энергии на подачу сушильного агента	3 Вт/кг
Удельные затраты энергии на нагрев теплоносителя	120 °С – 123 Вт/кг 80 °С – 94 Вт/кг 60 °С – 72 Вт/кг
Суммарные затраты энергии на сушку	83 – 134 Вт/кг
Угол установки эжектора, град.	110
Частота вибраций, Гц	27
Амплитуда вибраций, мм	3,5
Удельные энергозатраты, МДж. / Кг	2,4

ВЫВОДЫ

1. Температура отдельной частицы сыпучего материала повышается с определенными перерывами, по некоторой волнообразной зависимости, максимумы которой сменяются минимумами, но максимумы постепенно увеличиваются. Характерно, что скорость испарения влаги постоянная. В виброкипящего состоянии благодаря интенсивному перемешиванию слоя сыпучего материала обеспечивается равномерный нагрев и сушку каждой отдельно взятой части сушильного материала. С увеличением температуры сушильного агента процесс сушки ускоряется, но при этом более резко интенсифицируется нагрев сушильного материала. [3,4]

2. При интенсивном кипении независимо от высоты слоя сушильного материала обеспечивается равномерный нагрев частиц сушильного материала и температура отработанного сушильного агента равна температуре сыпучего материала [10].

3. Полученные результаты позволили оптимизировать процесс сушки в разработанной вибрационной сушилке, а также дока-

зать удельные затраты энергии до значений 83 - 134 Вт / кг (в диапазоне влажности сыпучего материала от 23% до 14,5%) (Табл.2).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nova konkurentospromozhna avtomatyzovana tekhnolohiya sushinnya nasinnya / V. I. Tarushkin , S. I. Lubnikov , V. N. Dashnikov [ta in] // Visnyk nasinnytstva v SND. - 1999 . - № 3 28-36.
2. Ur'ev M. B. 1980. Fizychni osnovy intensyfikatsii tekhnolohichnykh protsesiv v dyspersnykh sys-temakh - M.: Znanye, - 296.
3. Khauzen KH. 1981. Teploperedacha pry protyvo-toke, pryamotoke i perekhresnomu strumi - M. : Enerhoizdat - 384.
4. Kulakova V. YE. 1987 Intensyfikatsiya teplo-masoobminu pry sushinni kharchovykh produktiv - M. : Ahropromyzdat - 282.
5. Andrzej S. 2006. Podnoszenie wspólczyniika wymiany masy procesu suszenia konwekcyjnego za pomocą pola elektrycznego / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 8. 204-210.
6. Pastushenko S. 2007. Tekhnologicheskaya liniya dlya polucheniya semyan ovoshche - bakhchevykh kul'tur / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 9A. 26-31.
7. Bezsonov L. A. 2002. Teoretychni osnovy elektrotekhniky. Elektrychni kola - M.: Hardariky - 638.
8. Herasymov M. V. 1987. Promyslova elektronika - M.: Vyshcha shkola - 182.
9. Zolatarev S. V. 1999. Dodatky do rehulyatora potuzhnosti // Radio. - № 7. 37-39
10. Karpov B. A. 1987. Tekhnolohiya pislyazbyral'noï obrobky i zberihannya zerna - M.: Ahopromizdat - 229.
11. Kryshstofovykh K. A. 1979. Osnovy promyslovoï elektroniky - M.: Vyshcha shkola, - 158.
12. Leonchik B. I. 1986. Ekonomiya enerhiï pry teploviÿ sushtsi - M.: Enerhoizdat, -136.
13. Merfi D. 1989. Tyrystorne upravlinnya dvyhunamy zminnoho strumu - M.: Enerhiya - 304.
14. Lykov A. V. 1976. Teplota masoobmin v protsesakh sushky - M.: Hosenerhoizdat, - 218.
15. Hinzburh A. S. 1966. Sushka kharchovykh produktiv v kyplyachomu shari - M.: Kharchova

promyslovist - 256.

16. Leonchyk B. I. 1986. Ekonomiya enerhiji pry teploviy sushtsi - M.: Enerhoizdat, - 136.

17. Shylov V. L. 1999. Populyarni tsyfrovi mikroskhemy - Dovidnyk. Chelyabins'k. Metalurhiya. - 352.

18. Horshkov B. I. 1988. Elementy radioelektronnykh prystroiv - M.: Radio i zv'yazok - 176.

19. Povidaŭlo P. H. 1979. Sushka v zvazhenomu stani - Leninhrad: Khimiya.

20. Bihuniv A. A. 1984. Fyzyko-khimichni vymiryuvannya skladu ta vlastyvostry rechovyn. - Vydavnytstvo standartiv – 29-36.

**THE PROJECT OF CONTROL SYSTEM
FOR DRYING OF THE GRANULAR
MATERIALS IN CONVECTION-
FILTRATION CENTRIFUGAL MACHINE**

Summary. This paper gives examples of heat and mass adjustment process. The schematic diagram of the automatic control and measuring energy and spatial parameters of vibrating heat and mass transfer processes have been considered and developed.

Key words: drying, process, heat and mass exchange, regulation, vibration.