

2. Mrad N.D., Bonazzi C., Boudhrioua N., Kechaou N., Courtois F. Moisture Sorption Isotherms, Thermodynamic Properties, and Glass Transition of Pears and Apples // *Drying Technology*. – 2012. – Vol. 30. – P. 1397-1406.
3. Mikhailik V.A., Dmitrenko N.V., Snezhkin Yu.F. Change in the Specific Heat Capacity of Parenchymal Tissues of Apples due to Dehydration // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2014. – Vol. 87, № 1. – P. 48-53.
4. Hurtt M., Pitkanen I., Knuutinen J. Melting behaviour of D-sucrose, D-glucose and D-fructose // *Carbohydrate Research*. – 2004. – № 339. – P. 2267-2273.
5. Принципы технологии сахара. Пер. с англ. / Под ред. П. Хонига. – М.: Пищепромиздат, 1961. – 616 с.
6. Михайлик В.А., Давыдова Е.О. Исследование состояния воды в сахаросодержащем растительном сырье при его обезвоживании // *Промышленная теплотехника*. – 2000. – Т. 22, № 5-6. – С. 50-54.
7. Герасименко А.А. Кристаллизация сахара. – Киев: Наукова думка, 1965. – 316 с.
8. Силин П.М. Технология сахара. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 624 с.

УДК 621.928.9

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕОЧИСТКИ В СУШИЛЬНЫХ
ПРОЦЕССАХ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ АППАРАТОВ
INCREASING OF EFFICIENCY AN CAUGHT DUST IN DRY PROCESSES
ON BASE OF MULTIFUNCTION DEVICES**

**Александр В.Акулич, Виктор М. Лустенков, Вера М. Акулич
Alexander Akulich, Viktor Lustenkov, Vera Akulich**

*Могилевский государственный университет продовольствия, Беларусь, Могилев,
(e-mail: mgup@mogilev.by).
Mogilev State Foodstuffs University, Belorussia, Mogilev*

Аннотация: Разработан новый класс комбинированных аппаратов на основе вихревых потоков и фильтрования через фильтровальную ткань и слой зернистого материала. Изготовлены опытные образцы. Проведены экспериментальные исследования гидродинамики комбинированных пылеуловителей. Исследовано гидравлическое сопротивление и эффективность улавливания комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным рукавом. Разработанные аппараты внедрены в производство.

Abstract: Designed new class of multifunction devices on the base of vortical flows and filtering through filter fabrics and layer granular material. Made pilot models. Conducted experimental studies of hydrodynamics a combined dust extractor. Explored hydraulic resistance and efficiency combined dust extractor with the unadulterated filter sleeve. Developing devices are introduced in production.

Ключевые слова: Сушка, пылеочистка, комбинированный аппарат, ступень, вихревые потоки, фильтрование

Keywords: Drying, caught dust, multifunction device, stage, vortical flows, filtering.

На предприятиях пищевой промышленности при конвективной сушке различных материалов в распылительных, барабанных и других типах сушилок существует проблема очистки газов от твердых мелкодисперсных частиц. В большинстве случаев для высокоэффективного улавливания применяются двухступенчатые системы пылеочистки, а именно, на первой ступени центробежные пылеуловители (циклоны, вихревые пылеуловители), а на второй –рукавные фильтры или мокрые пылеуловители (скруббе-

ры, циклоны с водяной пленкой и др.). Данные системы требуют больших производственных площадей, являются металлоемкими и отличаются высоким гидравлическим сопротивлением. В связи с этим необходимо создание высокоэффективных комбинированных пылеуловителей [1–2].

Для решения задачи эффективной очистки пылегазовых потоков авторами проведены исследования, по результатам которых определено, что использование одного способа очистки не обеспечивает достижения требуемых показателей или по эффективности улавливания, или по энергозатратам. Установлено, что применение оборудования комбинированного типа, обеспечивает снижение габаритов, энерго- и материалоемкости пылеулавливающих систем при высокой степени очистки газов от мелкодисперсной фракции. Это достигается совмещением нескольких способов улавливания в едином энергетическом поле аппарата [1–2]. Причем конструктивные решения, создаваемых комбинированных пылеуловителей должны быть направлены на решение определенных технологических задач.

В работе разработан новый класс комбинированных аппаратов на основе вихревых потоков и фильтрования. Их отличительной особенностью является совмещение центробежной очистки в системе взаимодействующих вихревых потоков с доочисткой фильтрованием при прохождении газа через пористую фильтровальную перегородку в едином энергетическом поле аппарата.

Предложен способ очистки газа от твердых частиц [3] и комбинированный пылеуловитель [4] для его реализации (рисунок 1), в котором предварительную очистку осуществляют в центробежном поле при взаимодействии в камере центробежного улавливания 1 периферийного и центрального потоков газозвеси, закрученных в одну сторону и направленных навстречу друг другу. Предварительно очищенный газ отводится в режиме восходящего центрального потока, который разделяется на ряд не связанных друг с другом кольцевых закрученных потоков и направляется на доочистку в фильтровальные элементы 2, выполненные в виде рукавов из фильтровального материала, установленных

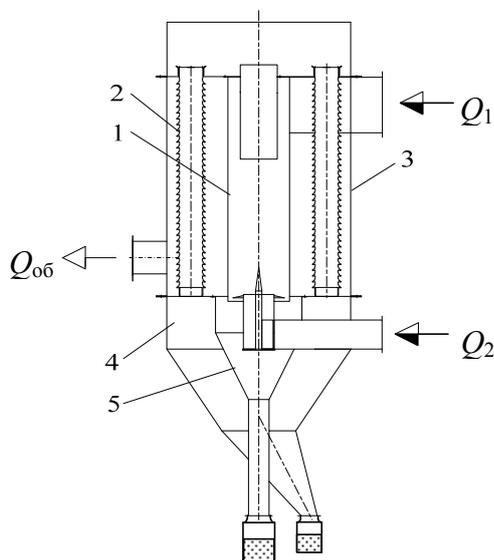


Рисунок 1 – Схема комбинированного пылеуловителя

концентрично вокруг камеры центробежного улавливания 1 в корпусе комбинированного пылеуловителя 3. Данный способ предполагает улавливание частиц пыли из газового потока в условиях максимального использования энергии центробежного поля, в том числе и при доочистке в рукавах. Уловленные частицы материала попадают в бункеры мелкодисперсной 4 и крупной 5 фракций.

Изготовлен экспериментальный образец комбинированного пылеуловителя КП–150–1,36, в котором реализован данный способ [3–4]. Диаметр корпуса аппарата 0,45 м, а высота – 1,4 м. Вокруг камеры центробежного улавливания диаметром 0,15 м и высотой 0,6 м установлено 12 рукавов общей площадью фильтрования 1,36 м² [5]. Так же создана лабораторная установка для исследования гидродинамики разработанного аппарата.

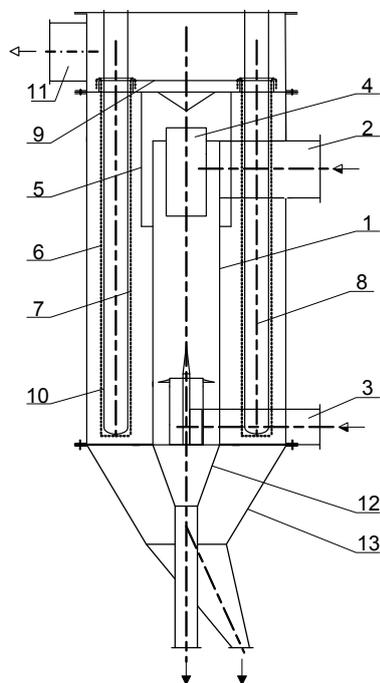
Найдено, что при общем расходе газа $Q_{\text{общ}}=0,138 \text{ м}^3/\text{с}$ в интервале кратности расходов $k=0,4\div 0,65$ гидравлическое сопротивление $\Delta P=2800 \text{ Па}$, а эффективность улавливания мелкодисперсных продуктов, таких как фосфаты, достигает 99,5%. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими расчетами [6].

Установлено, что разработанный комбинированный пылеуловитель (рисунок 1) является аппаратом с управляемой гидродинамикой.

На основе теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики комбинированного пылеуловителя КП–150–1,36 разработаны и внедрены в производство комбинированные пылеуловители КП–350–10 (диаметр камеры центробежного улавливания $D_k=0,35$ м и площадь фильтрования $S_\phi = 10$ м², аппарат рассчитан на общий расход газа $Q_{\text{общ}}=2100$ м³/ч) и КП–400–10 ($D_k=0,4$ м, $S_\phi=10$ м², $Q_{\text{общ}}=3000$ м³/ч) для улавливания сахарной пудры в системах аспирации линий №1 и №2 производства зефира на ОАО «Красный Мозырянин» (г. Наровля, Республика Беларусь) [7–8].

С целью дальнейшего совершенствования способа очистки газа от твердых частиц и конструкций комбинированных аппаратов за счет снижения потерь энергии, разработаны различные исполнения ступени фильтрования, как через фильтровальную ткань рукавов, так и через слой зернистого материала.

В [9] представлен комбинированный аппарат, в котором ступень доочистки фильтрованием выполнена в виде слоя зернистого материала. Целесообразность использования зернистых материалов в качестве фильтровального слоя обусловлена широким диапазоном физико-механических свойств зернистых материалов, удовлетворяющих требованиям различных технологических процессов. Однако сложность регенерации слоя зернистого материала является недостатком данных аппаратов.



- 1 – сепарационная камера вихревого пылеулавливания;
 2, 3 – патрубки периферийного и центрального потока газозвеси; 4 – выхлопная труба; 5 – корпус перераспределения газа; 6, 7 – боковые поверхности внешнего и внутреннего концентрических кольцевых потоков; 8 – кольцевой канал;
 9 – рукавная решетка; 10 – поддерживающие каркасы;
 11 – патрубок отвода из аппарата доочищенного газа;
 12, 13 – бункеры крупной и мелкодисперсной пыли

Рисунок 2 – Схема новой конструкции комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным элементом

шнена, по меньшей мере, одним, концентричным первому, кольцевым каналом большего диаметра, что обеспечивает значительное увеличение поверхности фильтровальных элементов при снижении скорости фильтрования.

В [10] представлен комбинированный пылеуловитель, в котором ступень фильтрования выполнена в виде цельного гофрированного рукава, расположенного вокруг камеры центробежного улавливания с увеличенной высотой. Такое техническое решение обеспечивает снижение гидравлического сопротивления, так как запыленный газ поступает на доочистку одним вращающимся потоком, не подвергаясь дополнительной деформации.

Значительное снижение гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя возможно при увеличении площади фильтровальной поверхности. Такой технический результат достигается при выполнении фильтровального элемента в виде внешней и внутренней боковых поверхностей [11]. При этом процесс фильтрования осуществляется сплошным потоком при нисходящем вращательном движении по всей боковой поверхности фильтровального элемента с внешней и внутренней стороны. В [12] ступень фильтрования осна-

В комбинированном пылеуловителе [13] использован принцип внешней фильтрации, что способствует поступлению предварительно очищенного газа на ступень фильтрования с сохранением центробежного вращения потока в кольцевом канале между цилиндрической сепарационной камерой и корпусом аппарата по всей высоте внешней поверхности фильтровальных рукавов, расположенных по окружности, концентричной камере центробежного улавливания.

Разработан новый способ очистки газов от твердых частиц [14] и конструкция комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования (рисунок 2), отличительной особенностью которого является выполнение ступени фильтрования в виде цельного фильтровального элемента с наружной и внутренней поверхностями, расположенными по концентрическим окружностям вокруг цилиндрической камеры центробежного улавливания. При работе комбинированного пылеуловителя газ, очищенный в центробежном поле первой ступени, совершая вращательно поступательное нисходящее движение, перераспределяется на ступень фильтрования, где дочищается в режиме внешней фильтрации двумя восходящими потоками по всей высоте наружной и внутренней боковых поверхностей цельного фильтровального элемента.

Изготовлена модель комбинированного пылеуловителя (рисунок 2) с диаметром камеры центробежного улавливания 0,13 м, высотой 0,88 м, при максимальной высоте фильтровального элемента 1 м и площадью фильтрования 2,72 м². Габаритные размеры составляют по высоте 1,66 м и диаметру 0,6 м [15].

Для исследования гидродинамики разработанного комбинированного пылеуловителя создана лабораторная установка. При экспериментах общий объемный расход газа через аппарат изменялся в интервале $Q=0,041\div 0,083$ м³/с, кратность расходов $k=0,1\div 0,9$. Установлено, что при $Q=0,083$ м³/с, плановой скорости в камере центробежного улавливания 6,28 м/с, скорости фильтрования 1,84 м/мин и $k=0,6$ общее гидравлическое сопротивление комбинированного пылеуловителя (КП) составляет 1640 Па (рисунок 3), ступени центробежного улавливания (I) – 1180 Па, а ступени фильтрования (II) – 520 Па.

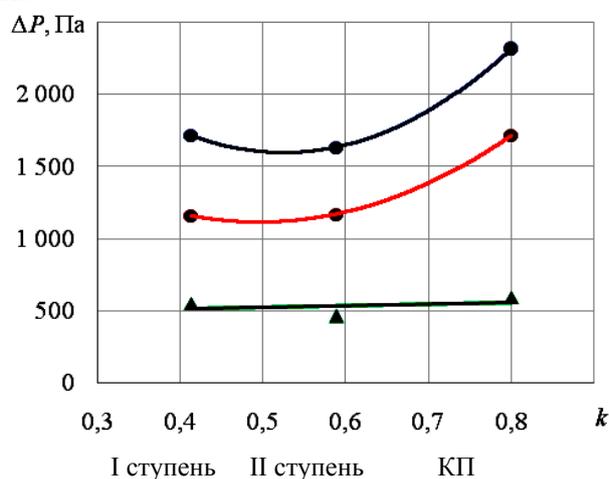


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным элементом от кратности расходов при $Q=0,083$ м³/с и $h/H=1$

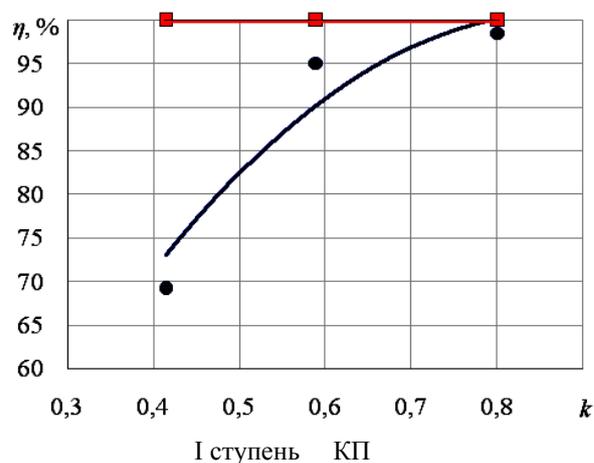


Рисунок 4 – Зависимость эффективности улавливания комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным элементом от кратности расходов при $Q=0,083$ м³/с и $h/H=1$

Исследована эффективность улавливания разработанного комбинированного аппарата. Определено, что для первой ступени характерен рост эффективности улавливания соляной пыли до значения $\eta_1=99,5\%$ с увеличением кратности расходов (рисунок 3). Установлено, что эффективность улавливания комбинированного пылеуловителя с цельным фильтровальным элементом достигает $\eta_0=99,99\%$ (рисунок 3).

Разработанный способ очистки газов от твердых частиц в комбинированном пылеуловителе на основе вихревых потоков и фильтрования через цельный фильтровальный элемент обеспечивает высокоэффективную очистку газовых потоков при снижении гидравлического сопротивления за счет высокой степени очистки в центробежном поле в системе вихревых потоков. Это позволяет снизить пылевую нагрузку на фильтровальный элемент, который в свою очередь характеризуется увеличенной площадью фильтрования, обусловленной конструктивными особенностями данной ступени.

Список литературы

1 Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич В.М., Шушкевич К.В. Разработка новых типов пылеуловителей для очистки газов от пыли в текстильной и химической промышленности. Международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль 2011), М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 29-30 ноября 2011 г. / Моск. гос. текстильный ун-т им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2011. – С. 226.

2 Акулич А.В. Разработка комбинированных вихревых аппаратов для проведения гидромеханических и теплообменных процессов / Акулич А.В., Лустенков В.М., Кондриков Н.В., Нестерук М.А. // Хранительна наука, техника и технологии 2007: научни трудове, Пловдив, 19-20 октомври 2007 г. / Университет по хранителни технологии. – Пловдив, 2007. – Т. 54. № 3. – С. 174–179.

3 Способ очистки газа от твердых частиц: пат. 6280 Респ. Беларусь, МПК7 В 04 С 3/04, В 01 D 45/12 / А.В. Акулич; заявитель Могил. технол. ин-т. – № а 20001037; заявл. 22.11.00; опубл. 30.06.04. – № 2. – С. 140.

4 Комбинированный пылеуловитель: пат. 8290 Рэсп. Беларусь, МПК7 В01D 46/02, В04С 3/06 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20030016; заявл. 08.01.2003; опубл. 30.08.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2006. – №4.– С. 52–53.

5 Лустенков В. М., Акулич А. В., Темрук А. В. Разработка комбинированного пылеуловителя // Материалы IV междунар. науч.-техн. конф. «Техника и технология пищевых производств». Могилев, 2003. С. 309–310.

6 Лустенков В. М., Акулич А. В. Исследование гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя // Материалы междунар. науч.-практич. конф. «Инновационные процессы в пищевой промышленности». Минск, 2003. С. 65–66.

7 Акулич А.В., Лустенков В.М., Шушкевич К.В., Кондриков Н.В. Исследование гидродинамики и внедрение новых типов пылеуловителей на основе вихревых потоков // Вестник МГУП. – 2006. – № 1. – С. 75–82.

8 Акулич А.В., Лустенков В.М., Кондриков Н.В. Разработка и внедрение комбинированных пылеуловителей для тонкой очистки воздуха на предприятиях пищевой промышленности. Научни трудове научной конференции с международным участием «Хранительна наука, техника и технологии - 2008» 24-25 октомври, Университет по хранителни технологии – Пловдив, 2008, том LV, Св. 2, 2008. – с.225-233.

9 Способ очистки газа от твердых частиц: пат. 16599 Рэсп. Беларусь, МПК2006 В04С 3/00, В01D 45/12, В01D 46/30 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, А.А. Акулич; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а20101052; заявл. 09.07.2010; опубл. 30.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2012. – №6.

10 Комбинированный пылеуловитель: пат. 8539 Рэсп. Беларусь, МПК7 В04С 3/00, В01D 50/00 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20031138; заявл. 30.06.2004; опубл. 30.10.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2006. – №5.– С. 83.

11 Способ очистки газа от твердых частиц. пат. 11606 Рэсп. Беларусь, МПК (2006) В04С 3/00, В01D 45/12 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, В.М. Акулич, заявитель и Мо-

гил. гос. ун-в. продовольствия.– №а20060662, заявл. 04.07.2006; опубл. 28.02.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2009. – №1.– С. 62.

12 Способ очистки газа от твердых частиц: пат. 17046 Рэсп. Беларусь, МПК2006 В04С 3/06, В01D 45/12 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, В.М. Акулич; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а20101291; заявл. 02.09.2010; Опубл. 30.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці – 2013. –№2.

13 Комбинированный пылеуловитель: пат. 15123 Рэсп. Беларусь, МПК2006 В01D 46/02, В04С 3/06 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, В.М. Акулич; заявитель Могил. гос. ун-т продовольствия.– № а 20081401; заявл. 06.11.2008; опубл. 30.12.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.– 2011. – №6.– С. 80.

14 Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А. Способ очистки газа от твердых частиц. Евразийская заявка на изобретение №2015/ЕА/0052 от 01.04.2015г., регистрационный номер 201500461.

15 Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А., Парамеев М.А. Разработка комбинированного пылеуловителя на основе вихревых потоков и внешнего фильтрования. Материалы X международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств», Могилев, 23–24 апреля 2015 г. / Учреждение образования «Могил. гос. ун-т продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. Ред.) [и др.]. – Могилев, 2015.– С. 211.

УДК66.047-912

**КИНЕТИКА СУШКИ СУПЕР-СЛАДКОЙ КУКУРУЗЫ
В НЕПОДВИЖНОМ ПРОДУВАЕМОМ
И ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЯХ
KINETICS OF A SUPER-SWEET CORN DRYING
IN STATIONARY AND FLUIDIZED BEDS**

Е.А.Муравлева*, О.Алвес-Фильо, С.П.Рудобашта***
E. A. Muravleva*, O. Alves-Filho**, S.P. Rudobashta*****

* *Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва,
(e.mail katya.muravleva@gmail.com).*

Russian State Agrarian University – МТАА named after К.А. Timiryazev, Russia, Moscow
***Норвежский университет естественных и технических наук, Норвегия, Трондхейм,
(e.mail odilio.alves@ntnu.no).*

Norwegian University of Science and Technology, Norway, Trondheim

****Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва,
(e.mail rudobashta@mail.ru).*

Russian State Agrarian University – МТАА named after К.А. Timiryazev, Russia, Moscow

Аннотация: Представлены результаты экспериментального исследования процесса конвективной сушки супер-сладкой кукурузы в теплонасосной сушильной установке (ТНСУ) – в плотном продуваемом и псевдоожигенном слоях. Исследовано влияние скорости и температуры сушильного агента на кинетику сушки.

Abstract: The results of convective drying of super-sweet corn by using the heat pump dryer in stable and fluidized beds are presented here. The effect of velocity and temperature of the drying agent to the drying kinetics was investigated.

Ключевые слова: супер-сладкая кукуруза, неподвижный продуваемый слой, псевдоожигенный слой, кинетика сушки.