

Гидродинамика псевдоожиженного слоя овса при обжарке перегретым паром

Сергей В. Куцов¹ KutsovSV@bk.ru
Александр С. Муравьев²

¹ ВУНЦ ВВС ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Для правильной организации процесса сушки и обжарки овса в псевдоожиженном режиме, а также при проектировании сушилок и обжарочных установок, необходимо знать основные гидродинамические показатели слоя материала. Они служат хорошей оценкой структуры слоя и способствуют определению оптимальных режимов подачи теплоносителя, при которых создается большая подвижность частиц материала в слое. Гидродинамические характеристики псевдоожиженного слоя определялись по изменению сопротивления слоя в зависимости от скорости пара и удельной нагрузки продукта на газораспределительную решетку, а также по изменению высоты слоя псевдоожиженного материала в зависимости от скорости пара и высоты неподвижного слоя. Исследование проводили в следующих диапазонах изменения технологических параметров: температура воздуха 343–373 К, температура пара 383–413 К; скорость потока теплоносителя на входе в слой – от 1,8 до 3,0 м/с; удельная нагрузка продукта на решетку – от 15 до 30 кг/м². Определены скорость псевдоожижения зерна овса, порозность и потери давления перегретого пара в псевдоожиженном слое материала. Отклонение экспериментальных данных от расчетных не превышало ±18%. Получены графические зависимости степени расширения и однородности слоя зерна овса. Показано, что увеличение удельной нагрузки слоя овса на решетку способствует образованию более однородной структуры псевдоожиженного слоя. Анализ однородности и равномерности псевдоожижения монодисперсного слоя овса позволяет оценить его качество и выбрать оптимальный гидродинамический режим для проведения процесса сушки и обжарки.

Ключевые слова: обжарка овса, гидродинамика псевдоожиженного слоя, перегретый пар

Hydrodynamics of oats fluidized layer during roasting with superheated steam

Sergej V. Kutsov¹ KutsovSV@bk.ru
Aleksandr S. Muravev²

¹ MESAF AF N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Staryh Bolshevikov St., 54A, Voronezh, 394064, Russia

² Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. It is necessary to know the basic hydrodynamic parameters of the material layer for proper organization of oats drying and roasting in fluidized mode, as well as when dryers and roasting plants designing. They serve as a good evaluation of the structure of the layer and contribute to the determination of optimal modes of coolant supply, in which a greater mobility of the material particles in the layer is created. The hydrodynamic characteristics of the fluidized layer were determined from the change in the resistance of the layer, depending on the vapor velocity and the specific load of the product on the gas distribution grid, as well as on the change in the height of the fluidized material layer, depending on the vapor velocity and the height of the fixed layer. The study was carried out in the following ranges of technological parameters: air temperature 343–373 K, steam temperature 383–413 K; the flow velocity of the coolant at the entrance to the layer is from 1.8 to 3.0 m / s; specific load of the product on the grate is from 15 to 30 kg / m². The fluidization speed of oat grain, porosity and pressure loss of superheated steam in the fluidized layer of the material were determined. The deviation of the experimental data from the calculated data did not exceed ±18%. Graphic dependencies of the degree of expansion and homogeneity of the oat grain layer were obtained. It was shown that an increase in the specific loading of the oat layer on the grate contributes to the formation of a more homogeneous structure of the fluidized layer. Analysis of uniformity and equality of fluidization of a monodisperse layer of oats allows to evaluate its quality and to choose the optimal hydrodynamic regime for the drying and roasting process.

Keywords: roasting of oats, fluidized bed hydrodynamics, superheated steam

Введение

Для правильной организации процесса сушки и обжарки овса в псевдоожиженном режиме, а также при проектировании сушилок и обжарочных установок, необходимо знать основные гидродинамические показатели слоя материала. К таким показателям можно отнести

потери давления сушильного агента, порозность и скорость вибротранспортирования материала по длине газораспределительной решетки. Изучение этих параметров может служить хорошей оценкой структуры слоя и способствовать определению оптимальных режимов подачи теплоносителя, при которых создается большая подвижность частиц материала в слое [1, 2].

Для цитирования

Куцов С.В., Муравьев А.С. Гидродинамика псевдоожиженного слоя овса при обжарке перегретым паром // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 4. С. 49–55. doi:10.20914/2310-1202-2017-4-49-55

For citation

Kutsov S.V., Muravev A.S. Hydrodynamics of oats fluidized layer during roasting with superheated steam. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 4. pp. 49–55. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-4-49-55

Целью настоящей работы являлось экспериментальное определение скорости псевдоожижения зерна овса, порозности и потерь давления перегретого пара в псевдоожиженном слое материала, с последующим математическим описанием, позволяющим проводить инженерный расчет данных показателей.

Материалы и методы

Экспериментальная установка для определения скорости псевдоожижения зерна овса, порозности и потерь давления перегретого пара в псевдоожиженном слое материала приведена на рисунке 1.

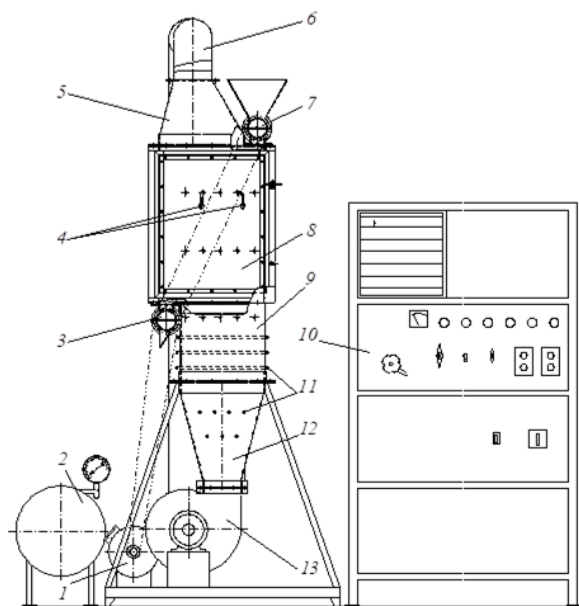


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – привод ротационных дозаторов; 2 – парогенератор; 3, 7 – ротационные дозаторы; 4 – форсунки; 5 – вытяжной диффузор; 6 – циркуляционный трубопровод; 8 – рабочая камера; 9 – парораспределитель; 10 – шкаф управления; 11 – трубчатые электронагреватели; 12 – переходник; 13 – вентилятор

Figure 1. The scheme of experimental installation: 1 – actuator rotary feeders; 2 – steam generator; 3, 7 – rotary feeders; 4 – nozzle; 5 – exhaust diffuser; 6 – circulating pipe; 8 – working chamber; 9 – steam distributors; 10 – control Cabinet; 11 – tubular heaters; 12 conversion; 13 – fan

При проектировании и изготовлении установки предполагались широкий диапазон изменения технологических параметров процесса, возможность осуществления различных гидродинамических режимов слоя исследуемого продукта, а также максимальное приближение к условиям сушки и обжарки овса в промышленных аппаратах [3, 4].

Установка изготовлена из нержавеющей стали и теплоизолирована с наружной стороны.

Рабочая камера 8 имеет форму параллелепипеда с размерами 400×160×600 мм, в ее нижней части располагается газораспределительная решетка. Газораспределительная решетка выполнена из нержавеющей проволоки, закреплена на каркасе, установленном в корпусе, и имеет живое сечение 57,7%. С внешней стороны камера снабжена дверью с окном для контроля за проводимым процессом влаготепловой обработки и поведением слоя продукта, установки и съема газораспределительной решетки, а также для обслуживания установки.

К верхней части рабочей камеры прикреплен вытяжной диффузор 5 с сеткой, препятствующей попаданию частиц обрабатываемого продукта в циркуляционный трубопровод 6. Сверху, в начале рабочей камеры, и снизу, в ее конце, установлены ротационные дозаторы 3 и 7 секторного типа. Внутри цилиндрических корпусов дозаторов расположены валы с приваренными пластинами, корпуса дозаторов снабжены узлами крепления к рабочей камере. Загрузочный дозатор имеет бункер для исходного продукта, выгрузочный дозатор снабжен распределительным лотком. Регулируемый привод дозаторов обеспечивает непрерывную и регулируемую бесступенчатую подачу исходного продукта в рабочую камеру и отвод из нее обработанного продукта.

Внутри камеры 8 между газораспределительной решеткой и дозатором выгрузки расположена вертикальная съемная перегородка, препятствующая попаданию необработанного продукта на выгрузку. В задних стенках рабочей камеры и парораспределителя установлены штуцера для ввода хромель-капельных термопар (ТХК), а также для соединения пространств над и под газораспределительной решеткой с U-образными манометрами. В циркуляционном трубопроводе 6 имеется патрубок с вентилем для удаления избытка пара.

Внутри парораспределителя 9 и переходника 12 установлены трубчатые электронагреватели (ТЭНы) типа «С», обеспечивающие прогрев установки и нагрев теплоносителя до заданной температуры. В парораспределителе установлено девять трубчатых электронагревателей мощностью по 0,5 кВт, а в переходнике – семь трубчатых электронагревателей мощностью по 0,32 кВт. Электрические контакты ТЭНов снаружи установки закрыты кожухами. Рабочая камера нижней частью крепится к парораспределителю 9, который соединен при помощи фланцев через переходник 12 с вентилятором 13. На всасывающей стороне вентилятора установлен диффузор, соединенный при помощи фланцев

с циркуляционным трубопроводом 6. В циркуляционном трубопроводе 6 имеется шиберная заслонка. Диффузор снабжен патрубком, через который подается пар из парогенератора 2. В нижней части вентилятора установлен вентиль для удаления конденсата, образующегося в паропроводах и установке.

Диаметр циркуляционного трубопровода 6 равен 150 мм и принят конструктивно для обеспечения необходимого напора вентилятора и наименьшего влияния трубки Пито на поле скоростей потока теплоносителя при измерении динамического напора [3, 4]:

$$(d/D)^2 \leq 0,001,$$

где D – диаметр паропровода, $D = 0,15$ м; d – диаметр наконечника трубки Пито, $d = 0,0025$ м.

В шкафу управления 10 смонтированы автоматизированные системы регулирования температуры теплоносителя, средства измерения и регулирования режимных параметров для контроля и управления процессом сушки и обжарки овса.

Автоматизированная система управления температурой теплоносителя включает программно-аппаратный модуль (измеритель) с программой регистрации значений температуры, хромель-копелевые термопары (диаметр электродов 0,1 мм) и систему световой индикации работы ТЭНов. Требуемая температура теплоносителя на входе в рабочую камеру поддерживалась работой ТЭНов с помощью системы автоматического регулирования температуры.

Программное обеспечение (ПО) измерительного устройства состоит из двух частей. Первая часть ПО – микропрограмма – размещается в микроЭВМ, расположенной в измерителе, и позволяет непосредственно управлять аппаратными ресурсами измерителя: проводить замеры; анализировать температуру и управлять нагревателем и взаимодействовать с ПЭВМ.

Вторая часть ПО управления устройством функционирует на ПЭВМ. Она разработана для операционных систем семейства *Microsoft Windows*.

Выходные данные, описывающие состояние системы в определенные моменты времени, представлены в виде файла, формат которого поддерживается электронной таблицей *Microsoft Excel*. Это обеспечивает прямое импортирование содержимого файла в электронную таблицу, позволяя производить полностью автоматизированный процесс обработки результатов [2].

Система компьютерного контроля и регулирования позволяет измерять температуру в диапазоне 50–300 °С в трех точках рабочей

камеры установки, используя в качестве датчиков хромель-копелевыми термоэлектрическими преобразователями ТХК-539М, обеспечивая точность измерения в диапазоне 50–300±1 °С. Она позволяет также задавать и отображать на дисплее ПЭВМ текущие значения температур на стрелочных индикаторах и в цифровом виде и регистрировать измеренные значения температур путем записи в текстовый файл с табличным форматированием для обозначения определенного момента времени при изменении параметров процесса сушки и обжарки.

За температуру продукта принималась температура, измеренная с помощью термопары, введенной в центр частицы. Для измерения температуры теплоносителя и продукта применялись термопары, изолированные асбестовым шнуром. Точность измерения температур ± 1 К.

Скорость теплоносителя измерялась цифровым анемометром АП1.

Гидравлическое сопротивление слоя продукта во время сушки измеряли U -образными манометрами. Контроль и регулирование режимных параметров процесса сушки и обжарки овса, приводов дозаторов загрузки и выгрузки продукта и вентилятора осуществлялись со шкафа управления работой установки.

Для проведения опыта установка выводится на заданный режим работы:

- осуществлялась подача пара из пароподводящих коммуникаций в диффузор и далее вентилятором через диффузор, переходник, парораспределитель в рабочую камеру;
- пар перегревался до заданной температуры;
- включением электропривода дозатора загрузки осуществлялась подача исходного продукта на газораспределительную решетку;
- начинался опыт.

Активные гидродинамические режимы слоя продукта создавались подачей потока теплоносителя. Псевдооживленный слой продукта обеспечивался открытием заслонки диффузора на нужную величину и включением электропривода вентилятора. Конструкция передней стенки рабочей камеры обеспечивала быстрый ввод пробоотборника в камеру через определенные промежутки времени. Отбор проб проводился в трех точках по длине газораспределительной решетки. Взвешивание проб овса проводилось на аналитических весах *WA-31* с точностью ±0,1 мг.

Для определения влажности продукта использован метод высушивания до постоянной массы при температуре 130 °С.

Универсальность экспериментальной установки позволяла исследовать процесс сушки и обжарки овса, используя при этом в качестве теплоносителя горячий воздух и перегретый пар атмосферного давления.

В качестве объекта исследования использовали овес I типа 2-го подтипа, сорт «Кировский», не очищенный от цветочной пленки выращенный в центрально-черноземном районе.

Овес, поступающий в переработку, по своему качеству должен соответствовать требованиям ГОСТ 28673-90.

Процесс сушки и обжарки овса в псевдоожиженном слое воздухом и перегретым паром атмосферного давления исследовали в следующих диапазонах изменения технологических параметров: температура воздуха 343–373 К, температура пара 383–413 К; скорость потока теплоносителя на входе в слой – от 1,8 до 3,0 м/с; удельная нагрузка продукта на решетку – от 15 до 30 кг/м².

Опыты проводились несколько раз для проверки воспроизводимости полученных результатов. Надежная работа установки подтвердила стабильность всех полученных экспериментальных данных.

В исследованиях использовался перегретый пар атмосферного давления, который пронизывал слой овса снизу-вверх. Так как в процессе сушки и обжарки происходит уменьшение массы материала, то показания опытов регистрировались в течение первой минуты процесса, когда удельная нагрузка слоя максимальна.

Сопротивление слоя овса при переходе его в псевдоожиженное состояние измерялось прямым методом [5, 6]. Для анализа состояния слоя кривые псевдоожижения строились в виде линий прямого и обратного хода – при постепенном увеличении и уменьшении скорости пара. Статическое давление измерялось U-образными манометрами, соединенными с камерой импульсными трубками, установленными на различной высоте камеры.

Гидродинамические характеристики псевдоожиженного слоя определялись по изменению сопротивления слоя в зависимости от скорости пара и удельной нагрузки продукта на газораспределительную решетку $\Delta P = f(g, q)$, а также по изменению высоты слоя псевдоожиженного материала в зависимости от скорости пара и высоты неподвижного слоя $h_{cl} = \varphi(g, h_0)$. Высота псевдоожиженного слоя характеризует величину активной поверхности тепло- и массообмена, поэтому наличие перечисленных параметров необходимо для правильной организации процесса сушки и обжарки овса.

Результаты и обсуждение

Гидравлическое сопротивление псевдоожиженного слоя не зависит от скорости пара и определяется равенством сил гидродинамического давления и сил, противодействующих псевдоожижению частиц, вызываемых трением потока пара о стенки камеры, его движения между частицами, соударением частиц между собой, а также поддержания слоя материала во взвешенном состоянии [5, 6]

$$\Delta P = G / F_p = (\rho_{кр} - \rho_n) \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot g \cdot h_0. \quad (1)$$

Гидродинамика псевдоожиженного слоя наиболее наглядно изображается кривой псевдоожижения (рисунок 2), на которой процесс перехода плотного слоя овса в псевдоожиженный отражается резким увеличением давления и зависит от состояния поверхности зерна, их формы и плотности слоя.

На рисунке 3 изображены зависимости перепада давления перегретого пара в слое овса влажностью $W^c = 14\%$ от скорости сушильного агента при различных значениях начальной высоты слоя h_0 .

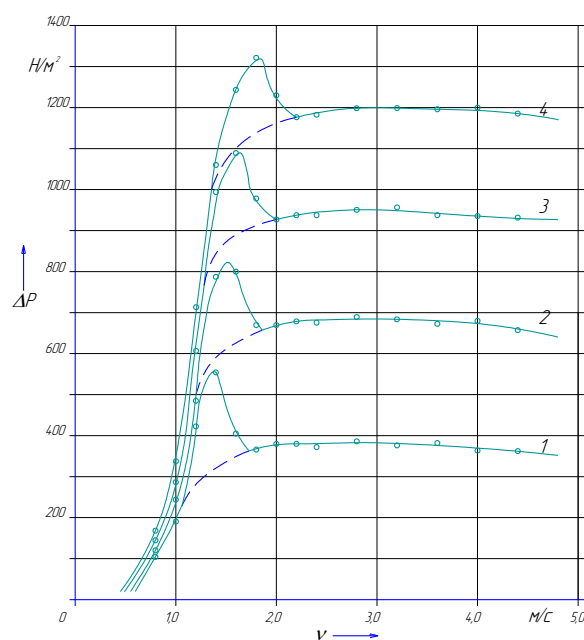


Рисунок 2. Зависимость сопротивления слоя овса от скорости сушильного агента при различном значении начальной высоты слоя h_0 , мм: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50

Figure 2. The dependence of the resistance layer of oats on the speed of the drying agent with different value of the initial layer height h_0 , mm: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50

Пик давления ΔP_{max} свидетельствует о необходимости затраты дополнительной энергии потока на преодоление сил сцепления частиц. Ввиду того, что дополнительные затраты энергии при переходе от плотного слоя в псевдоожиженный не поддаются точному

аналитическому расчету, они учитываются коэффициентом $R_{крит}$, который определяется экспериментально. А.С. Гинзбург и В.А. Резчиков установили, что на величину этого коэффициента оказывает влияние плотность слоя, влажность материала и высота неподвижного слоя.

Увеличение скорости пара выше критического значения приводит к расширению объема слоя при постоянном гидравлическом сопротивлении. Переход от режима фильтрации к псевдооживленному состоянию сопровождается

появлением в слое газовых пузырей, которые барботируют через слой и изменяют его концентрацию и порозность. При этом гидравлическое сопротивление слоя колеблется около некоторого среднего значения, зависящего от величины удельной нагрузки, и определяется по формуле

$$\Delta P = R_{крит} \cdot G / F_p. \quad (2)$$

Значения коэффициента $R_{крит}$, характеризующие равномерность псевдооживления, при различных высотах слоя овса представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения коэффициента $R_{крит}$ овса

Table 1.

The values of the coefficient R for oats

Высота плотного слоя h_0 , мм The height of the dense layer, mm	Удельная нагрузка зерна на решетку q , Н/м ² Specific load of grain on the grid, n/m ²	Гидравлическое сопротивление слоя ΔP , Н/м ² The hydraulic resistance of the layer, n/m ²	Коэффициент $R_{крит}$ R_{boil} ratio
20	189	385	0,79
30	207	670	0,88
40	236	930	0,91
50	297	1190	0,94

Приближение значений коэффициента $R_{крит}$ к единице свидетельствует об улучшении равномерности псевдооживления с увеличением удельной нагрузки овса на газораспределительную решетку за счет уменьшения каналообразования [7].

Порозность неподвижного слоя зерна овса определяется по уравнению

$$\varepsilon_0 = 1 - \rho_n / r_s, \quad (3)$$

где ρ_n – насыпная плотность слоя овса, кг/м³; ρ_s – плотность зерна овса, кг/м³.

Перепад давления в слое, необходимый для выбора дутьевого оборудования, определяли по формуле (4) при условии, что порозность ε_{cp} постоянная по высоте слоя h , то

$$\Delta P = (1 - \varepsilon_{cp}) \rho_s g h. \quad (4)$$

где ρ_s – плотность зерна овса, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м²/с.

Уравнение для определения порозности псевдооживленного слоя имеет вид:

$$\varepsilon_{cp} = 1 - \frac{1 - \varepsilon_0}{K}, \quad (5)$$

где $K = V_{крит}/V_{пл}$ – отношение объема кипящего слоя к объему плотного слоя.

Границы существования псевдооживленного слоя овса определяли по формуле

$$Re = \frac{Ar \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (6)$$

Отклонение расчетных данных по приведенным формулам от экспериментальных не превышало $\pm 18\%$, что является хорошей сходимостью.

Наиболее полно характеризует структуру монодисперсного материала в псевдооживленном состоянии его порозность [8]. Основными параметрами, влияющими на ее величину, являются конструкция газораспределительной решетки, скорость потока сушильного агента, размер и влажность зерна овса.

Перед закипанием слой овса расширяется и представляет собой ориентированные по ходу движения сушильного агента зерна. Степень расширения зависит от коэффициента внутреннего трения.

В процессе сушки и обжарки овса степень расширения слоя влияет на распределение скоростей потока теплоносителя по всей площади газораспределительной решетки установки. Эта величина обуславливает минимально возможную скорость перегретого пара, обеспечивающую равномерное кипение овса в зоне загрузки и по всей площади газораспределительной решетки (рисунок 3).

Для определения степени расширения слоя зерна овса на основе экспериментальных данных была установлена следующая зависимость

$$\frac{h}{h_0} = a + b \frac{J}{J_0}, \quad (7)$$

где h – высота псевдоожиженного слоя овса, м; h_0 – высота неподвижного слоя овса, м; a и b – эмпирические коэффициенты определяемые экспериментально.

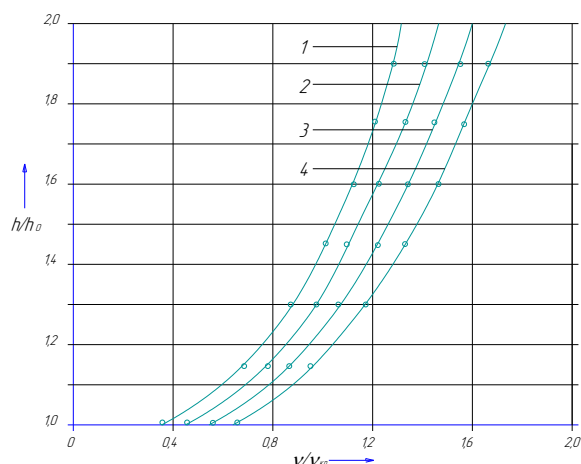


Рисунок 3. Зависимость степени расширения слоя зерна овса от числа псевдоожижения при различных высотах слоя, мм: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50

Figure 3. The dependence of the degree of expansion of the layer of the oat grain the number of fluidization at different heights of the layer, mm: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50

Однородность слоя зависит от свойств овса, скорости сушильного агента и конструктивных параметров установки. Поэтому изучено влияние удельной нагрузки овса на решетку и скорости

сушильного агента на изменение структуры псевдоожиженного слоя овса (рисунок 4).

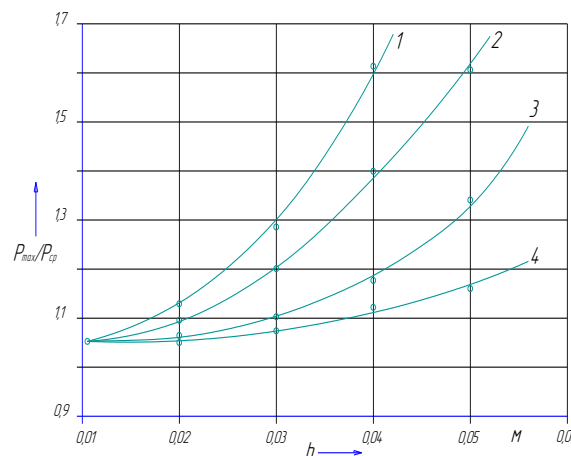


Рисунок 4. Зависимость величины p_{max}/p_{cp} от высоты псевдоожиженного слоя зерна овса при различных уд. нагрузках, н/м²: 1 – 189; 2 – 207; 3 – 236; 4 – 297

Figure 4. The dependence of p_{max}/p_{ave} of the height of fluidized bed grain oats with different specific load, n/m²: 1 – 189; 2 – 207; 3 – 236; 4 – 297

За критерий изменения структуры принималось отношение (p_{max}/p_{cp}) к высоте псевдоожиженного слоя овса. Из анализа кривых (рисунок 4) сделали вывод, что увеличение удельной нагрузки слоя овса на решетку способствует образованию более однородной структуры псевдоожиженного слоя.

Заключение

Анализ однородности и равномерности псевдоожижения монодисперсного слоя овса позволяет оценить его качество и выбрать оптимальный гидродинамический режим для проведения процесса сушки и обжарки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шевцов А.А., Куцов С.В. Новое в технологии гидротермической обработки зерна овса: монография, Воронеж: ВГТА, 2010. 160 с.

2 Остриков А.Н., Шевцов С.А., Куцов С.В. Исследование кинетики процесса сушки пищевого растительного сырья при активных гидродинамических режимах и разработка методики инженерного расчета сушки // Вестник ВГУИТ. 2015. № 1. С. 42–50.

3 Sivakumar R. et al. Fluidized bed drying of some agro products—a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. № 61. С. 280–301.

4 Tahmasebi A. et al. A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite // Chemical Engineering Research and Design. 2014. T. 92. № 1. С. 54–65.

5 Cheevitsopon E., Noomhorm A. Effects of superheated steam fluidized bed drying on the quality of parboiled germinated brown rice // Journal of Food Processing and Preservation. 2015. T. 39. № 4. С. 349–356.

6 Остриков А.Н., Столяров И.Н. Математическая модель процесса обжарки каштанов перегретым паром // Вестник ВГУИТ. 2013. № 3. С. 49–54.

7 Basu P. Circulating fluidized bed boilers: design, operation and maintenance, Springer, 2015.

8 Константинов М.М., Румянцев А.А. Комплексный сравнительный анализ различных способов гидротермической обработки зерна гречихи // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (40).

REFERENCES

1 Shevtsov A.A., Kutsov S.V. Novoe v tekhnologii gidrottermicheskoi obrabotki zerna ovsa: monografiya [New in technology of hydrothermal treatment grain oats: monograph]. Voronezh: VGTA 2010. 160 p. (in Russian).

2 Ostrikov A.N., Shevtsov S.A., Kutsov S.V. Study of kinetics of process of drying edible raw material in the active hydrodynamic modes and the development of the methodology of engineering calculation of drying. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 1. pp. 42–50. (in Russian).

3 Sivakumar R. et al. Fluidized bed drying of some agro products – a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. no. 61. pp. 280–301.

4 Tahmasebi A. et al. A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite. *Chemical Engineering Research and Design*. 2014. vol. 92. no. 1. pp. 54-65.

5 Cheevitsopon E., Noomhorm A. Effects of superheated steam fluidized bed drying on the quality of par-boiled germinated brown rice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2015. vol. 39. no. 4. pp. 349-356.

6 Ostrikov A.N., Stolyarov I.N. Mathematical model of the process of chestnuts roasting by superheated steam. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей В. Куцов к.т.н., кафедра передающих и приемных радиоустройств, ВУНЦ ВВС ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большеви-ков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия, KutsovSV@bk.ru

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандар-тизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Сергей В. Куцов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты, несёт ответственность за плагиат

Александр С. Муравьев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 06.10.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.11.2017

2013. no. 3. pp. 49-54. (in Russian).

7 Basu P. Circulating fluidized bed boilers: design, operation and maintenance. Springer, 2015.

8 Konstantinov M. M., Romyantsev A. A. Comprehensive comparative analysis of different methods of hydrothermal processing of grain buckwheat. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universi-teta* [News of the Orenburg state agrarian University]. 2013. no. 2 (40). (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergej V. Kutsov candidate of technical sciences, transmitting and receiving radio devices department, MESC AF N.E. Zhuko-vsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Saryh Bolshevikov St., 54A, Voronezh, 394064, Russia, KutsovSV@bk.ru

Aleksandr S. Muravev candidate of technical sciences, engi-neer, department of standardization and metrology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

CONTRIBUTION

Sergej V. Kutsov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations, is responsible for plagiarism

Aleksandr S. Muravev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.6.2017

ACCEPTED 11.16.2017