

ГИДРОДИНАМИКА ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Поперечный А.Н., д.т.н., проф., Курьянов К.В., аспирант
*(Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган - Барановского)*

В статье обобщены и проанализированы результаты экспериментальных исследований по гидродинамике псевдоожигенного слоя кубиков айвы и тыквы.

Большой интерес, проявляемый в течение последних двух столетий к вопросу о движении дисперсных частиц и среды, вызван не только стремлением получить необходимые для гидравлических расчетов данные, но и тем, что гидродинамика является фактором, который определяет другие процессы, в том числе и процессы тепло- массообмена. Для организации процесса сушки исследуемых материалов на непрерывно действующей промышленной установке прежде всего необходимо исследовать ряд физико-механических свойств обрабатываемых материалов, их гидродинамические характеристики, получить надежные расчетные зависимости и практические данные. В данной статье представлены результаты этого этапа исследований.

Псевдоожигенный слой характеризуется сложной гидродинамической обстановкой. Взаимодействие газа и множества твердых частиц вызывает многочисленные изменения явлений, происходящих в слое, а потому сильно усложняет математическое описание процесса. Отсутствие достоверной теории, которая позволяла бы всесторонне объяснить и количественно описать явления, происходящие в псевдоожигенных системах, привело к большому многообразию формул для расчета скорости начала псевдоожигения - одного из основных параметров гидродинамики зернистого слоя. Некоторые из них являются эмпирическими и носят искусственный характер, другие базируются на теоретических исследованиях той или иной физической модели слоя и достаточно сложны для использования.

Обобщенной для всех режимов движения зависимости на сегодня не найдено. В литературе формулы для определения

скорости начала псевдооживления наиболее часто приводятся в виде зависимостей критериев Рейнольдса Re и Архимеда Ag :

$$Re = f(Ag, \varepsilon),$$

где ε - порозность слоя.

Накопленный в области псевдооживления опыт, в том числе и нами [1], свидетельствует о том, что кроме некоторых общих аэродинамических закономерностей каждый материал имеет свои специфические особенности. В наибольшей степени это касается материалов растительного происхождения. Например, тыква и айва, нарезанные в форме кубиков, представляют собой высоковлажный термолабильный полидисперсный материал. Наличие поверхностной влаги, полидисперсность и несферичность частиц представляют большие трудности при аналитическом исследовании явлений гидродинамики кипящего слоя на основе имеющихся литературных данных. Поэтому этапу промышленного проектирования должен предшествовать этап лабораторного эксперимента, что даст возможность получения расчетных зависимостей для основных параметров псевдооживленной системы с учетом изменения влагосодержания материала.

Спроектирована и изготовлена лабораторная установка, состоящая из следующих основных узлов: цилиндрической сушильной камеры из термостойкого стекла диаметром 100 мм, перфорированного поддона (газораспределительной решетки), электрического калорифера, центробежного вентилятора, лампы инфракрасного излучения и контрольно - измерительной аппаратуры, включающей амперметр, вольтметр, ЛАТР, анемометр, дифференциальный манометр. На установке проведены экспериментальные исследования гидродинамики кипящего слоя плодов айвы, и тыквы которые измельчались на кубики с размерами граней 6 мм. В исследованиях скорость воздуха менялась - от 0 до 7 м/с, удельная нагрузка на газораспределительную решетку - от 11 до 44 кг/м². Выбор формы нарезки айвы и тыквы обоснован следующими соображениями. Установлено [2], что продолжительность сушки кубиков картофеля по сравнению с параллелепипедами одинакового сечения, но разной длины, сокращается на 41,6 %. Причиной этого является увеличение общей поверхности частичек на 19 ... 36% и их характер движения - кубики в процессе сушки непрерывно вращаются вокруг своих мгновенных осей, благодаря этому происходит срыв пограничного слоя водяного пара и процесс сушки протекает более интенсивно.

Критическую скорость определяли при различной удельной нагрузке на газораспределительную решетку, которая составляла 11, 22, 33, 44 кг/м², скорость воздушного потока - от 0 до 7 м / с. Одновременно визуально определяли качество псевдооживления. Отношение диаметра сушильной камеры до максимального размера частиц составляло более 10, что исключало влияние пристеночного эффекта.

Известно [3, 4], что кривые псевдооживления прямого хода плохо воспроизводимые, а критическая скорость, найденная по ним, в значительной степени определяется начальной укладкой частиц, т.е. начальной порозностью слоя ε_0 . Поэтому скорость начала псевдооживления находили по кривым обратного хода как абсциссу точки пересечения почти горизонтальной линии постоянного перепада давления с кривой сопротивления неподвижного слоя. По экспериментальным данным построены кривые псевдооживления прямого и обратного хода (рис. 1-2, табл. 2), характеризующие состояние слоя и по которым определены гидродинамические параметры процесса .

Исследования позволили выявить картину возникновения и развития псевдооживления . В самом начале процесса при невысоких скоростях воздуха наблюдается фильтрация воздуха через плотный неподвижный слой материала. С увеличением скорости воздуха перепад давления в слое растет и в определенный момент масса материала в слое уравнивается гидродинамическим давлением потока воздуха - наступает гидродинамическая равновесие всех сил, действующих в системе «поток воздуха - частицы». При дальнейшем увеличении скорости воздуха сопротивление немного падает, и слой переходит в развитую стадию псевдооживления.

Визуально установлено, что псевдооживленный слой из больших кубиков менее стойкий, склонен к образованию газовых проскоков, однородность его ухудшается, о чём свидетельствуют и пульсации давления в манометре, который измерял сопротивление слоя. Поэтому максимальной величиной граней кубиков айвы и тыквы нами принят размер 10 мм.

Рассмотренные данные по псевдооживлению слоя тыквы и айвы в виде кубиков с размером граней 6 мм и влагосодержании $U_n=670\%$ (рис.1) позволяет утверждать, что скорость начала псевдооживления практически не зависит от величины удельной нагрузки на газораспределительную решетку и равняется 2.75 - 3.05 м/с. Равномерное стойкое кипение, которое соответствует началу

второй стадии псевдоожигения – стадии вихревого кипения – обеспечивается при скорости 4.0 – 4.5 м/с, при этом высота слоя материала превышает начальный неподвижный слой в 2.0...2.5 раза. В исследованиях гидродинамики псевдоожигенного слоя при тех же нагрузках и влагосодержании $U_k=20\%$ скорость начала псевдоожигения составляла приблизительно 0.9 от скорости при $U_n=670\%$.

Таблица 1

Гидравлическое сопротивление (в Па) слоя кубиков айвы размером грани 6 мм при псевдоожигении

№	$v_{\text{воздуха}}$ м/с;	ΔP мм;	$h_{\text{слоя}}$ мм;	n_B (30с)		Высота слоя $h=50\text{мм}$. Удельная нагрузка $G/S = 11 \text{ кг/м}^2$
1	1.1	-	50	70	Прямой ход	
2.	1.8	7	50	120		
3.	2.45	15	50	170		
4.	2.75	17	50	190		
5.	3.2	19	50	220		
6.	3.25	19	55	225		
7.	3.35	19	55	235		
8.	3.8	19	70	270		
9.	5.1	32	110	370		
10.	6.4	37	180	500		
11.	6.0	37	150	440	Обратный ход	
12.	4.8	30	70	300		
13.	3.6	23	60	260		
14.	3.5	21	55	250		
15.	2.7	19	50	200		
16.	2.2	17	50	190		

В таблице 1 представлена часть данных полученных в ходе проведения эксперимента по изучению гидродинамики псевдоожигенного слоя кубиков айвы, а на графиках (рис. 1-2) изображены результаты наблюдений псевдоожигенного слоя кубиков айвы при разных удельных нагрузках на газораспределительную решетку.

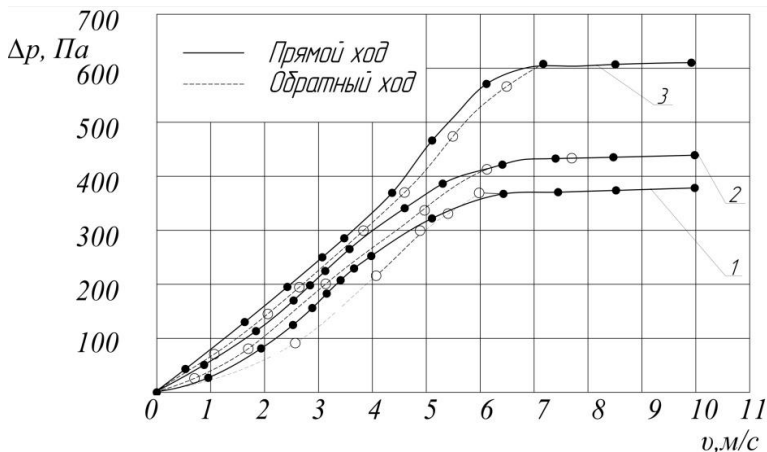


Рис. 1. Кривые псевдооживления слоя кубиков айвы при удельной нагрузке: 1 – 11 кг/м²; 2 – 22 кг/м²; 3 – 33 кг/м²; 4 – 44 кг/м²

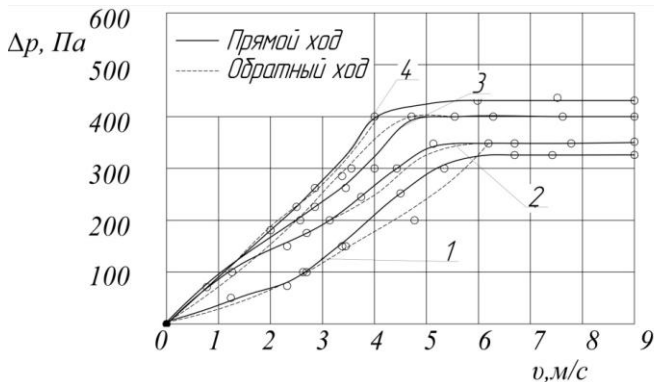


Рис. 2. Кривые псевдооживления слоя кубиков тыквы при удельной нагрузке: 1 – 11 кг/м²; 2 – 22 кг/м²; 3 – 33 кг/м²; 4 – 44 кг/м²

Подводя итоги анализу кривых псевдооживления, можно отметить следующее:

- скорость перехода слоя из неподвижного состояние в подвижное зависит от вида материала и размеров его кубиков;
- для разных удельных нагрузок на газораспределительную решетку для одного материала скорость псевдооживления имеет незначительные колебания;

- в кипящем слое наблюдается отсутствие исследуемых точек при переходе его из неподвижного слоя в кипящий слой и обратно;

- как правило, частички продукта (кубики айвы, тыквы) переходили в развитое псевдоожигенное состояние при числе псевдоожигения, равному 1.8..2.0. С целью разрушения каналов в слое материала при сушке материалов повышенного влагосодержания процесс следует проводить при скоростях, которые отвечают числу псевдоожигения $N_v \geq 2$.

Полученные результаты ложатся в основу расчета и разработки конструкции аппарата для сушки растительного сырья в аэро-псевдоожигенном слое, а также будут использованы для определения рациональных режимов сушки айвы и тыквы, а также подобных им овощей и плодов.

Список литературы

1. А.М.Поперечный. Применение метода тепловой диаграммы для расчета нагревания зернистых материалов при ИК-энергоподводе: темат. сб. наук. р. с проблем торговли и общественного питания. – Донецк: ДДКИ. 1994. – С. 158 – 159.
2. Г.К.Филоненко. Сушка пищевых растительных материалов: учеб. пособие для технолог. специальностей вузов. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 439с.
3. Н.И.Гельперин. Основы техники псевдоожигения: учебник. – М.: Химия. 1967. – 664с.
4. С.С.Забродский. Высокотемпературные установки с псевдоожигенным слоем: учебник. – М.: Энергия. 1971. – 328с.

Анотація

ГИДРОДИНАМИКА ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

У статті узагальнені та проаналізовані результати експериментальних досліджень з гідродинаміки псевдоозріженого шару кубиків айви та гарбуза.

Abstract

HYDRODINAMICS PSEUDORAREDIED LAYER PLANT RAW MATERIALS

The article summarizes and analyzes the results of experimental studies of hydrodynamics drying cubes of quince and squash in pseudoraredied layer.