

УДК 622.73

Р.В. Коломиец, В.А. Грушко, А.О. Кириченко, Н.П. Кузьменко
**ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПРОДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА В
КАМЕРЕ АЭРОФОНТАННОЙ СУШИЛКИ**

Аннотация. Приведены экспериментальные исследования на испытательном сушильном стенде с целью определения среднего времени и горизонтальной скорости движения сыпучего материала в условиях изменения давления воздушного потока и угла поворота направляющих лопаток подовой решетки. Разработана методика определения основных газодинамических параметров горизонтального продвижения материала в процессе сушки во взвешенном состоянии.

Ключевые слова: взвешенное состояние, сушка, сыпучий материал, лопаточно-щелевая решетка.

Введение. Сушка материалов является распространенной операцией в подготовительных и заключительных процессах обработки материала, необходимой для повышения эффективности его использования. Одним из методов влагоудаления является сушка материалов во взвешенном состоянии, поэтому определение оптимальных режимов процесса является актуальным направлением исследований. В работе процесс сушки исследуется в аэрофонтанной сушилке «Аэрофонтан-СТР», описание которой приведено в [1]. В этом устройстве материал под действием воздуха не только сушится, но и транспортируется, поэтому важно исследовать горизонтальное продвижение материала в сушильной камере. Горизонтальное продвижение материала существенно влияет на оптимальный режим его сушки, так как скоростью продвижения можно регулировать время сушки, скорость вихреобразования и перемешивания частиц материала и т.д.

Цель данной работы – экспериментальное определение скорости горизонтального продвижения материала в сушильной камере при различных давлениях воздуха и углах поворота лопаток для дальнейшего определения оптимальных режимов сушки.

Основная часть. Исследования процесса сушки на экспериментальной установке проведено в два этапа: определение параметров

энергоносителя, вдуваемого через лопатки решетки вниз камеры без материала, и исследование параметров горизонтального продвижения энергоносителем загружаемого материала [2] вдоль подовой решетки.

Измерения полного и статического давления осуществлялось многопредельным микроманометром и наклонной трубкой ММН-240(5)-1,0 в подводящих к подовой решетке трубопроводах. Исследовались три режима расхода воздуха: минимальный (6 кг/мІ), средний (24 кг/мІ) и максимальный (32 кг/мІ), которые определялись предварительно.

Для проведения расчетов использовались геометрические характеристики камеры сушки и рабочие параметры элементов сушильного стенда «Аэрофонтан-СТР» (рис. 1):

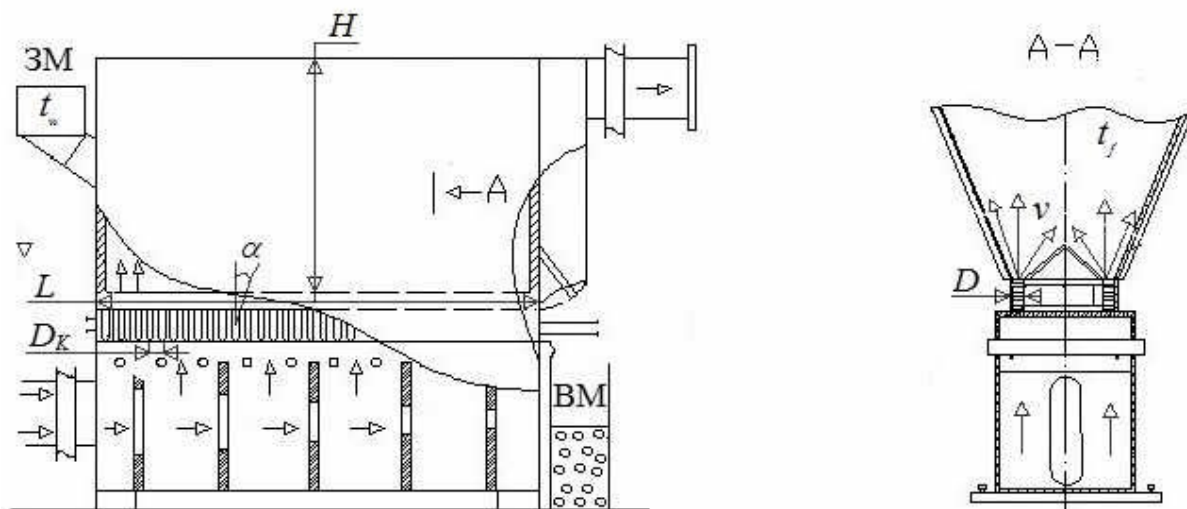
Длина подовой решетки (L) $L = 1950$ мм.

Ширина подовой решетки (D) $D = 162$ мм.

Ширина канала подовой решетки (D_k) $D_k = 15$ мм.

Угол наклона лопаток от вертикали (α) $\alpha = \pm 15^\circ$.

Высота сушильной камеры (H) $H = 1230$ мм.



ЗМ – место загрузки первичного материала,

ВМ – место выгрузки высушенного материала.

Рисунок 1 - Принципиальная схема сушильной камеры «Аэрофонтан-СТР»

Скорость воздуха в трубопроводе V_T вычислялась в месте измерения полного и статического давления по формуле

$$V_T = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot g}{\rho}}, \quad (1)$$

где Δp – динамическое давление (напор), $\Delta p = p_{\text{пол.}} - p_{\text{стат.}}$;

ρ – плотность воздуха ($\rho \approx 1,29 \text{ кг/м}^3$);

g – ускорение свободного падения.

Зная площадь поперечного сечения трубопровода в месте измерения S_1 , можно вычислить расход воздуха Q , поступающий в форкамеру подовой решетки [4]

$$Q = S_1 \cdot V_T \quad (2)$$

Скорость воздуха V_p между лопатками в лопаточно-щелевой решетке через площадь ее «живого» сечения S_2 определялась по формуле [5]:

$$V_p = \frac{S_1 \cdot V_T}{S_2} \quad (3)$$

Результаты измерений и расчетов скоростей и расхода воздуха при данных площадях сечения и давлениях представлены в таблице 1

Таблица 1

Результаты измерений параметров энергоносителя

Режим	Δp , кг/мІ	V_T , м/с.	S_1 , м ²	Q, мІ/с.	S_2 , мІ	V_p , м/с.
Минимальный	6,0	9,5	0,06	0,29	0,0344	8,3
Средний	24,0	19,0	0,06	0,59	0,0344	16,6
Максимальный	32,0	22,0	0,06	0,69	0,0344	19,2

В качестве имитатора сыпучего материала выбраны зерна пшеницы $\rho_{\text{пш}} = 770 \text{ кг/м}^3$, пенопласт $\rho_{\text{пен}} \approx 22,5 \text{ кг/м}^3$, шарики полиэтилена $\rho_{\text{пол}} = 1200 \text{ кг/м}^3$. Масса отдельных зерен в среднем около 0,09 г. при объеме в 65,4 ммІ который вычисляется при эквивалентном диаметре 5 мм. Пенопласт нарезался кубиками с размером ребра около 20мм, объемом около 8000 ммІ и массой 0,2-0,27 г. Этот материал наиболее удобен для экспериментов, так как частицы пенопласта хорошо просматриваются в камере подовой решетки, имеют большую парусность, чем другие материалы, и небольшую массу.

Первичное тестирование начиналось с визуализации направления энергоносителя по так называемым «маячкам» (рис. 2) - разноцветным лентам, прикрепленные к конусу по центру вдоль воронки

камеры - камеры фонтанирующего слоя со стеклянными стенками. Результаты фиксировались фотоаппаратом и видеокамерой.



Рисунок 2 - Визуализация воздушного потока с помощью разноцветных лент при среднем режиме подачи воздуха с наклоном лопаток $0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, +15^\circ$

На втором этапе исследований определялась горизонтальная скорость движения сыпучего материала. Для этого загружалась определенная порция материала, подавался энергоноситель через щели решетки. Наклоном лопаток организовано движение материала в горизонтальном направлении вдоль лопаточно-щелевой решетки. Горизонтальная скорость V движения этой массы вычислялась по времени движения t вдоль участка решетки S в виде $V = S / t$.

Время движения массы сыпучего материала на определенном отрезке пути измерялось по движению одной конкретной частицы пенопласта в виде черного кубика находящейся среди массы белых. Для получения среднестатистического результата проводилось большого количества измерений.

Мгновенная горизонтальная составляющая скорости V_{Γ} движения кубика определяется по его мгновенной скорости $V_{h/l}$.

$$V_{\Gamma} = V_{h/l} \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где h – высота расположения кубика по координатной сетке;

l – длина расположения кубика по координатной сетке;

α – угол наклона вектора мгновенной скорости к горизонтальной поверхности.



Рисунок 3 – Перемещение черного кубика (1) в фонтанирующем слое

Опыты проводились по следующей схеме. Исследовался процесс перемещения материала разной массы при трех режимах энергоносителя и при разных углах поворота лопаток (5° , 10° , 15°) относительно вертикальной оси. Во всех последующих опытах контролируется длительность измерения, скорость воздуха в трубопроводах и в щелях решетки, мгновенная скорость кубика. Вычислено среднее время прохождения t_{cp} (см. рис. 4) маркированным кубиком сушильной камеры (СК), значения горизонтальной скорости, ее средняя величина $V_{cp.g}$ (рис. 5). Условия проведения опытов приведены в табл. 2. Напор воздуха определялся расчетным путем, по показаниям манометров.

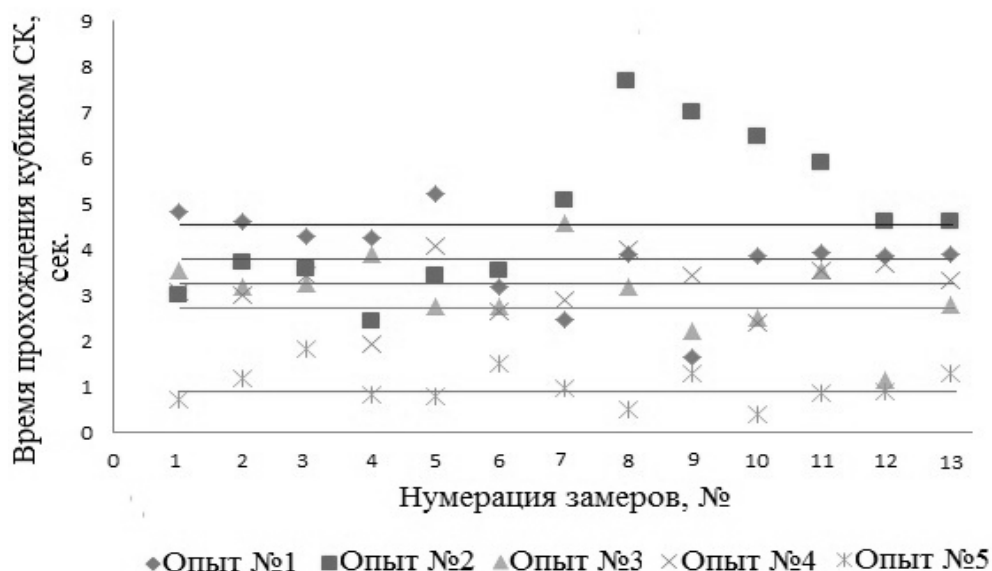


Рисунок 4 - Время и среднее время t_{cp} прохождения кубиком СК

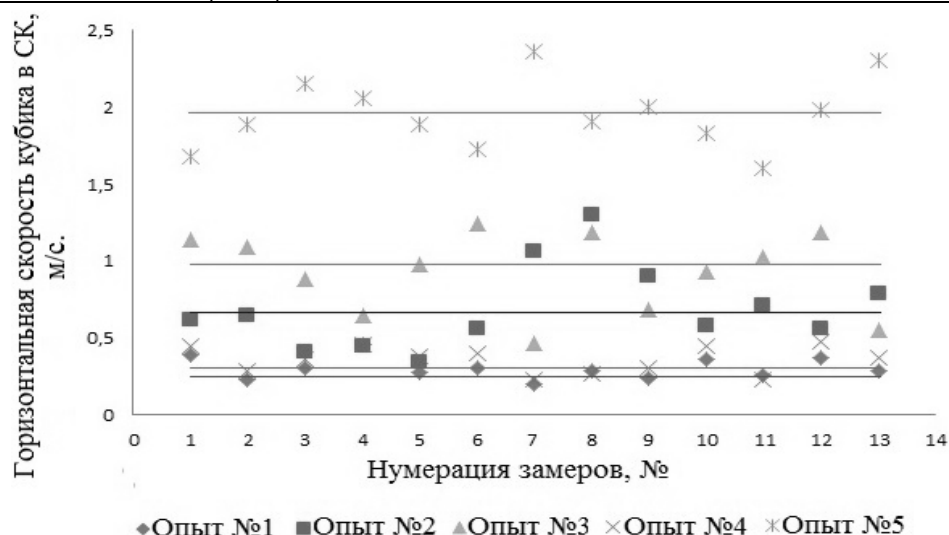


Рисунок 5 - Горизонтальная скорость кубиков в сушильной камере

Таблица 2

Условия проведения опытов (при массе сыпучего материала 0,2 кг)

Номер опыта, №	1	2	3	4	5
Угол поворота лопаток, α	5°	5°	10°	10°	15°
Напор воздуха Δp , МПа (кг/мГ)	0,882 (9,0)	1,176 (12,0)	1,176 (12,0)	0,882 (9,0)	0,882 (9,0)

Установлена прямо пропорциональная зависимость горизонтальной скорости материала от угла наклона лопаток в подовой решетке, что объясняется изменением величины воздушного напора энергоносителя и изменением времени прохождения материалом сушильной камеры. При этом с увеличением угла наклона лопаток, увеличивается скорость (хаотического) движения кубиков внутри объема камеры. Сокращается количество колебаний материала в горизонтальной траектории движения кубиков и увеличивается круговое (циркуляционное) движение кубиков в плоскости, перпендикулярной к вертикальной разделительной стенке в СК. При уменьшении воздушного напора увеличивается время продвижения и уменьшается горизонтальная скорость кубиков. Результаты вычислений параметров представлены в табл. 3.

Результаты вычислений параметров процесса

Номер опыта, №	1	2	3	4	5
Угол поворота лопаток, α	5°	5°	10°	10°	15°
Скорость в трубопроводах V_T , м/с	12,3	13,5	13,5	12,3	12,3
Скорость в щелях решетки V_p , м/с	21,45	23,54	23,54	21,45	21,45
Время t_{cp} , с	3,91	4,63	2,8	3,31	1
Напор воздуха Δp , МПа (кг/м ²)	0,882 (9,0)	1,176	1,176	0,882	0,882
Отклонение времени Δ t_{cp} , с	-	+0,72	-1,11	-0,59	-2,91
Горизонтальная скорость $V_{cp,Г}$, м/с	0,307	0,687	0,925	0,36	1,95
Отклонение скорости Δ $V_{cp,Г}$, м/с	-	+0,38	+0,618	+0,053	+1,643

Выводы

Разработана методика определения основных газодинамических параметров горизонтального продвижения материала в процессе сушки в экспериментальной установке. Установлена зависимость скорости продвижения от углов наклона лопаток подовой решетки. Полученные экспериментальные данные можно использовать для определения оптимальных режимов сушки в аэрофонтанной сушилке.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.К. Мартынов Экспериментальная аэродинамика Москва – 1950. – 236 с.
2. А.В. Лыков Теория сушки Москва – 1968. – 472 с.
3. А.Ю. Вараксин., Турбулентные течения газа с твердыми частицами. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.
4. С.А. Христианович. Прикладная газовая динамика. Часть I. 1948. – 148 с.
5. Н.С. Прядко Сжигание низкосортных углей с газодинамической транспортировкой материала. Автореф. дисс. канд. техн. наук: ДМетаУ: Днепр-ск. – 2005. – 23 с.