

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К 14

Сборник подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика Кулажанова Т.К.

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Шалбаев К.К., Галкин М.Л., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К 14 Казахстан-Холод 2019: Сб. докл.межд.науч.-техн.конф. (20-21 февраля 2019г.) = Kazakhstan-Refrigeration 2019: Proceedings of the Conference (February 20-21, 2019). – Алматы: АТУ, 2019. – 218 с., русский, английский

ISBN 978-601-263-484-6

В докладах представлены результаты научных исследований, посвященные холодильным компрессорам, теплообменным аппаратам, системам автоматизации, цифровизации, технологиям холодильного хранения и переработки плодов и овощей и практическим внедрениям, представленные из Казахстана, России, Украины, Германии, Австрии, Беларуси, Кыргызстана, Голландии, Швейцарии и Узбекистана. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной техники, пищевой и химической промышленности, а также на специалистов систем кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

The proceedings present the results of scientific research on refrigeration compressors, heat exchangers, automation systems, digitalization, refrigeration storage technology and the processing of fruits and vegetables and practical implementations submitted from Kazakhstan, Russia, Ukraine, Germany, Austria, Belarus, Kyrgyzstan, Holland, Switzerland and Uzbekistan. The proceedings are devoted to professionals and scientists working in the fields of refrigeration, food and chemical industries, as well as to specialists in air conditioning systems and life support of residential, commercial buildings and sports complexes.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-484-6

© АТУ, 2019

Тогда потери давления составят $\Delta p = 1,2 \cdot 10^3$ Па.

Для обеспечения требуемого расхода воздуха 400 м³/час с рассчитанными потерями давления 1,2·10³ Па целесообразно установить вентилятор центробежный высокого давления ВЦ 10-28, мощность которого составляет 0,12 кВт.

Список литературы

1. Солодкая, А. В. Інтенсифікація теплообміну в теплоутилизаторах з гранульованою насадкою. Дис. на здобуття наук. Ступ. канд. техн. наук за фахом 05.14.06. – "Технічна теплофізика й промислова теплоенергетика". – Одесса: ОНАПТ, 2018. – 224 с.
2. Исаченко, В. П. Теплопередача. Учебник для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1975. – 488 с
3. Горбис, З. Р. Теплообменники с проточными дисперсными теплоносителями / З. Р. Горбис, В. А. Календерьян. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

УДК 536.2/537.868

THERMAL TRANSFER IN A TIGHT MOVING LAYER OF DISPERSE MATERIAL AT MICROWAVE-CONVECTIVE DRYING

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПЛОТНОМ ДВИЖУЩЕМСЯ СЛОЕ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ МИКРОВОЛНОВО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ

Boshkova I. L. ^{1a} , Doct. Tech. Sc., professor Volgusheva N.V. ^{1b} , PhD, associate professor Potapov M.D. ^{1c} , PhD, associate professor Zharikova L.A. ^{2d} PhD, associate professor	Бошкова И. Л. ^{1a} , док. тех. наук, доцент Волгушева Н. В. ^{1b} , канд. тех. наук, доцент Потапов М. Д. ^{1c} , канд. тех. наук, доцент Жарикова Л.А. ^{2d} , канд. физ.-мат. наук, доцент
1 – Odessa National Academy of Food Technologies 1/3 Dvoryanska St., Odesa, Ukraine, 65082 2 – Immanuel Kant Baltic Federal university Russia, 236041, Kaliningrad, 14 A. Nevskogo	1 – Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, 65082, Одесса, Дворянская, 1/3 2 – Институт физико-математических наук и информационных технологий Балтийского федерального университета им. И. Канта Россия, 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14
E-mail: a – boshkova.irina@gmail.com; b – natvolgusheva@gmail.com; c – dorosh1gan@gmail.com; d – l_zharikova@mail.ru	

Abstract

In this paper, the process of heat transfer in a moving dense layer is analyzed analytically. A two-component mathematical model of the heat transfer process is presented, which includes the energy equations of the gas and solid components. The results of the solution obtained by the method of integral Laplace transforms are given. Two sources of heat are taken into account - positive, from the action of the microwave field, and negative, associated with the evaporation of moisture. The dependences are proposed to be used for design and surface calculations of dryers for grain.

Аннотация

В работе аналитически исследуется процесс переноса теплоты в движущемся плотном слое. Представлена двухкомпонентная математическая модель процесса теплопереноса, которая включает уравнения энергии газового и твердого компонентов. Приведены результаты решения, полученные методом интегральных преобразований Лапласа. Учитывается два источника теплоты – положительный, от действия микроволнового поля и отрицательный, связанный с испарением влаги. Приведенные зависимости предлагается использовать для конструкторских и поверочных расчетов сушилок для зерна.

Применение микроволновой энергии позволяет достичь высоких скоростей сушки без перегрева материала [1]. Одновременная продувка через слой сушильного агента обеспечивает не только дополнительный подвод теплоты, но и существенную интенсификацию процессов теплопереноса в слое. Математические модели микроволновой сушки приведены в [2, 3]. Математическая модель теплопереноса при сушке дисперсного материала в движущемся плотном слое при кондуктивно-конвективном теплоподводе приведена в [4]. Модели для комбинированного микроволново-конвективного подвода теплоты в литературе отсутствуют. Рассматриваются модели таких процессов для движущегося слоя, который используется в сушилках непрерывного действия.

Рассмотрим сушилку, представляющую собой вертикальный канал, в который из загрузочного бункера поступает влажный дисперсный материал. В нижнем сечении канала расположено выпускное устройство, обеспечивающее движение материала в виде плотного слоя и его необходимый расход. В верхнем (входном) сечении канала размещены магнетроны, создающие заданный тепловой поток. Через это же сечение подается сушильный агент, который фильтруется сквозь слой и удаляется из нижнего (выходного) сечения. За счет поглощенной влажными частицами МКВ энергии и теплоты, передаваемой ему от сушильного агента путем межкомпонентного теплообмена, происходит прогрев частиц и испарение влаги, высушенный материал удаляется через выпускное устройство. Заданное влагосодержание на выходе обеспечивается выбором режимных характеристик: мощности магнетрона, температуры и скорости сушильного агента, скорости слоя и высоты канала.

При формулировке модели теплопереноса используются следующие представления. Плотный продуваемый слой рассматривается как двухкомпонентная система, состоящая из твердого (частиц) и газового (сушильный агент) компонентов, между которыми протекает межкомпонентный теплообмен. МКВ энергия, поглощаемая частицами, учитывается как положительный внутренний источник теплоты в твердом компоненте. На основании экспериментальных данных [1] принято, что производительность этого источника убывает по экспоненциальному закону по мере удаления от входного сечения, где подводится МКВ энергия. Расход теплоты на испарение влаги учитывается, как отрицательный источник теплоты в твердом компоненте. Производительность этого источника, зависящая от скорости сушки, остается неизменной на участке постоянной скорости и убывает по высоте канала по экспоненциальному закону на участке падающей скорости.

Приняты следующие допущения:

- свойства компонентов неизменны, не зависят от температуры и влагосодержания;
- подводимая МКВ энергия, температуры и скорости компонентов распределены по сечению канала равномерно;
- температуры компонентов во входном сечении распределены равномерно;
- теплотери через стенки канала пренебрежимо малы.

При таких условиях температуры компонентов будут изменяться только по высоте канала, т.е. температурные поля будут одномерными.

Математическая модель процесса теплопереноса включает уравнения энергии газового и твердого компонентов и граничные условия. Эти уравнения для участка падающей скорости сушки имеют следующий вид (при пренебрежимо малом продольном переносе теплоты кондукцией):

$$\rho_r c_{pr} w_r (1-\beta) \frac{d\vartheta_r}{dx} = \alpha_m a (\vartheta_r - \vartheta_r) \quad (1)$$

$$\rho_r c_r w_r \beta \frac{d\vartheta_r}{dx} = \alpha_m a (\vartheta_r - \vartheta_r) + q_{v1} e^{nx} + q_{v2} e^{nx} \quad (2)$$

Граничные условия на входе:

$$\text{при } x=0: \quad t_r = t_{r0}; \quad \vartheta_r = \vartheta_{r0} = 0 \quad (3)$$

$$t_r = t_{r0}; \quad \vartheta_r = \vartheta_{r0}. \quad (4)$$

Производительность источника, обусловленного испарением влаги, определяется соотношением

$$q_{v2} = \rho_c r \frac{du}{d\tau}, \quad \frac{B_r}{M^3} \quad (5)$$

Решение системы уравнений (1, 2) с граничными условиями (3, 4) методом интегрального преобразования Лапласа позволило получить следующие зависимости для распределения температур компонентов на участке падающей скорости сушки:

$$\vartheta_2 = -\frac{B_1 \vartheta_{m0}}{P_2} + \frac{B_1}{P_2} \left(\vartheta_{m0} + \frac{H_1}{P_2 - m} + \frac{H_2}{P_2 - n} \right) e^{P_2 x} + \frac{H_1 B_1}{m} \left[\frac{e^{mx}}{(m - P_2)} + \frac{1}{P_2} \right] + \frac{H_2 B_1}{n} \left(\frac{e^{nx}}{n - P_2} + \frac{1}{P_2} \right). \quad (6)$$

$$\vartheta_r = \vartheta_r + \left(\vartheta_{r0} + \frac{H_1}{P_2 - m} + \frac{H_2}{P_2 - n} \right) e^{P_2 x} + \frac{H_1}{m - P_2} e^{nx} + \frac{H_2}{n - P_2} e^{nx}. \quad (7)$$

Здесь:

$$B_1 = \frac{\alpha_m a}{\rho_r c_{pr} (1-\beta) w_r}, \quad M^{-1} \quad (8)$$

$$B_2 = \frac{\alpha_m a}{\rho_r c_r \beta w_r}, \quad M^{-1} \quad (9)$$

$$H_1 = \frac{q_{v1}}{\rho_r c_r \beta w_r}, \quad \frac{K}{M} \quad (10)$$

$$H_2 = \frac{q_{v2}}{\rho_r c_r \beta w_r}, \quad \frac{K}{M} \quad (11)$$

$$P_2 = -(B_1 + B_2) - \text{корень характеристического уравнения.} \quad (12)$$

Как видно из (6, 7), температуры компонентов зависят от их физических характеристик, скоростей, интенсивности межкомпонентного теплообмена, размера частиц, подводимого потока МВ энергии, скорости сушки, координаты.

В одном и том же сечении, температуры компонентов различны. При $x=\text{idem}$ разность этих температур определяется выражением:

$$\vartheta_r - \vartheta_r = \left(\vartheta_{r0} + \frac{H_1}{P_2 - m} + \frac{H_2}{P_2 - n} \right) e^{P_2 x} + \frac{H_1}{m - P_2} e^{nx} + \frac{H_2}{n - P_2} e^{nx}. \quad (13)$$

Она возрастает с ростом разности температур на входе (при $x=0$), производительности источников, уменьшением абсолютного значения P_2 . Из выражений (8, 9, 12) видно, что абсолютное значение $|P_2|$ тем меньше, чем ниже тепловой поток, переносимый в процессе межкомпонентного теплообмена, по сравнению с тепловым потоком, переносимым компонентами конвекцией.

На участке постоянной скорости сушки распределения температур компонентов описы-

ваются зависимостями:

$$\begin{aligned} \vartheta_z = \frac{B_1 \vartheta_{m0}}{P_2} (e^{P_2 x} - 1) + H_1 \left[\frac{1}{P_2 (P_2 - m)} e^{P_2 x} + \frac{1}{m(m - P_2)} e^{mx} + \frac{1}{P_2 m} \right] + \\ + H_2 \left(\frac{1}{P_2^2} e^{P_2 x} - \frac{1}{P_2^2} - \frac{x}{P_2} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\vartheta_T = \vartheta_r + \vartheta_{T0} e^{P_2 x} + \frac{H_1}{m - P_2} (e^{nx} - e^{P_2 x}) - \frac{H_1}{P_2} (1 - e^{P_2 x}) \quad (15)$$

Возможны случаи, когда источник, обусловленный поглощением МВ энергии, также не изменяется по высоте канала ($m=0$) (когда коэффициент ослабления потока энергии в слое мал либо магнетроны размещены в нескольких сечениях по высоте на небольших расстояниях друг от друга). В таких случаях уравнения (14, 15) приобретают вид:

$$\vartheta_r = \frac{B_1 \vartheta_{T0}}{P_2} (e^{P_2 x} - 1) + B_1 (H_1 + H_2) \left(\frac{1}{P_2^2} e^{P_2 x} - \frac{1}{P_2^2} - \frac{x}{P_2} \right). \quad (16)$$

$$\vartheta_T = \vartheta_r + \vartheta_{T0} e^{P_2 x} + \frac{H_1 + H_2}{P_2} (e^{P_2 x} - 1). \quad (17)$$

Если в слое отсутствуют внутренние источники, то температуры компонентов определяются только условиями межкомпонентного теплообмена и их изменение по высоте канала описывается зависимостями:

$$\vartheta_r = \frac{B_1 \vartheta_{T0}}{P_2} (e^{P_2 x} - 1). \quad (18)$$

$$\vartheta_m = \vartheta_z + \vartheta_{m0} e^{P_2 x}. \quad (19)$$

При режимах, в которых тепловой поток, обусловленный межкомпонентным теплообменом, существенно превышает тепловой поток, переносимый компонентами конвекцией, температуры компонентов при $x = \text{idem}$ практически одинаковы ($e^{P_2 x} \rightarrow 0, \vartheta_T \approx \vartheta_r$).

Рассмотрены также частные случаи – использование только одного способа подвода теплоты (микроволнового либо конвективного).

Расчеты показали [5], что на начальном участке по высоте канала температура газа уменьшается, а температура частиц увеличивается. Причем, в одном и том же сечении (при $x = \text{const}$) при увеличении мощности магнетрона, т.е. положительного внутреннего источника q_{v1} , и температуры газа и частиц и их разность возрастают.

При увеличении скорости газа происходит рост температуры газа и частиц (при $x = \text{const}$), причем при разных скоростях газа частицы достигают большей температуры, чем газ.

Влагосодержание материала по высоте сушилки уменьшается. Как при увеличении мощности магнетрона, так и при увеличении скорости сушильного агента происходит более интенсивное испарение влаги и уменьшение влагосодержания материала.

Приведенные зависимости позволяют выполнять конструкторские и поверочные расчеты сушилок с движущимся слоем для различных дисперсных материалов при использовании микроволновой энергии. При этом должны быть известны свойства и закономерности кинетики сушки конкретного материала при соответствующем способе подвода теплоты.

Символы

$\vartheta_r = t_r - t_{r0}$; $\vartheta_T = t_T - t_{T0}$; $\vartheta_{T0} = t_{T0} - t_{r0}$ – избыточные температуры компонентов;

ρ – плотность, кг/м³;

c – теплоемкость, Дж/(кг·К);

w – скорость, м/с;

β – плотность укладки слоя;

α_m – коэффициент межкомпонентного теплообмена, Вт/(м²·К);

x – продольная координата, м ;

$a = \frac{6\beta}{d}$ – удельная поверхность частиц, м²/м³;

d – диаметр частиц, м ;

q_{v1}, q_{v2} – производительность внутренних источников теплоты во входном сечении, Вт/м³,

ρ_c – плотность сухого дисперсного материала, кг/м³;

r – удельная теплота парообразования, Дж/кг;

$\frac{du}{dt}$ – скорость сушки, с⁻¹.

Индексы: “г”, “т” относятся к газу и твердым частицам соответственно, 0 – начальное значение. Черта сверху – среднее значение величины.

Список литературы

1. Календерьян, В. А. Исследование кинетики сушки крупы гречихи в микроволновом электромагнитном поле / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // ИФЖ. – 2006. – №3, Т. 79. – С. 123 – 127.
2. Лыков, А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. – М.-Л.: ГЭИ, 1956. – 464 с.
3. Календерьян, В. А. Влияние режимных параметров на распределение температур в движущемся плотном слое дисперсного материала при микроволново-конвективной сушке / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // Пром. теплотехника, 2010. – Т. 32, № 1. – С. 37-44.
4. Сафин, Р. Р. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного / Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Р. Г. Сафин. // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2004. № 1. – С. 266-272.
5. Календерьян, В. А. Тепломассоперенос в аппаратах с плотным дисперсным слоем / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова // Монография. – К., 2011. – 184 с.

УДК 621.514

OVERVIEW OF REFRIGERATION SCROLL COMPRESSOR DESIGNS

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ХОЛОДИЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Budanov V.A. , Cand. Tech. Sc, associate professor	Буданов В.А. , канд. тех. наук, доцент
Odessa national academy of food technologies Ukraine, 65039, city of Odessa, Kanatna Street, 112	Одесская национальная академия пищевых технологий Украина, 65039, г. Одесса, ул. Канатная, 112
E-mail: budanoff@ukr.net	

Abstract

The report provides an overview of the designs of refrigeration scroll compressors, which are increasingly being used in the artificial cold industry, heat pumps and air conditioning systems. The methods and designs for regulating the performance of a scroll compressor are presented, providing high accuracy of maintenance of operating parameters.

Авторский алфавитный указатель

- Цой А.П., Алимкешова А.Х., Титлов А.С.**
Экспериментальная молокоохладительная установка с радиационным охлаждением
Tsoy A.P., Alimkeshova A.H., Titlov A.S.
Experimental dairy cooling unit with radiation cooling 9
- Белецкий Э.В., Петренко Е.В.**
Определение величины диссипации при течении неньютоновских жидкостей в каналах холодильных и климатических систем
Beletskiy E.V., Petrenko O.V.
Determination of the value of dissipation in the flow of non-newtonian liquids in the channels of refrigerating and climatic systems 14
- Алтайулы С., Шахов С.В., Глотова И.А.**
Способ управления процессом выпаривания влаги из фосфолипидной эмульсии сафлорового масла
Altayuly S., Shakhov S.V., Glotova I.A.
Method of managing the process of exhausting moisture from safflorous oil phospholipid emulsion 19
- Потапов В.А., Белый Д.В.**
Перспективы применения холодильных систем на двуокиси углерода в пищевой индустрии
Potapov V.O., Belyi D.V.
Prospects application of refrigerating systems on carbon dioxide in the food industry 23
- Бабакин Б.С., Воронин М.И., Сучков А.Н., Айтикеев Р.Б.**
Исследование тепловой нагрузки в промышленных аккумуляторах холода
Babakin B.S., Voronin M.I., Suchkov A.N., Aitikeev R.B.
The study of the heat load in industrial accumulators of a cold 26
- Бердимурат А.Д., Усипбекова Д.И.**
Микропроцессорная система регулирования производительности малогабаритного кормоприготовительного агрегата
Berdimurat A.D., Usipbekova D.I.
Microprocessor system for the regulation of the performance of small-sized food-protective unit 28
- Болдырев А.В., Карелин Д.Л., Болдырев С.В.**
Оценка энергетической эффективности фреонов и термодинамических циклов пароконденсационных систем охлаждения
Boldyrev A.V., Karelin D.L., Boldyrev S.V.
Energy-efficiency estimation of freons and thermodynamic cycles in vapor compression cooling systems 36
- Бошкова И.Л., Волгушева Н. В., Солодкая А.В.**
Тепловой расчет регенератора с неподвижной насадкой
Boshkova I.L., Volgusheva N.V., Solodka A.V.
Thermal calculation of the regenerator with a fixed nozzle 42
- Бошкова И.Л., Волгушева Н.В., Потапов М.Д., Жарикова Л.А.**
Теплоперенос в плотном движущемся слое дисперсного материала при микроволново-конвективной сушке
Boshkova I.L., Volgusheva N.V., Potapov M.D., Zharikova L.A.
Associate professor thermal transfer in a tight moving layer of disperse material at microwave-convective drying 46