

Автореферат
Ш 64

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

ШИРОКИЙ Дмитрий Александрович

ГИГРОТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СУШЕНОЙ ПЛОДОВОЩНОЙ
ПРОДУКЦИИ

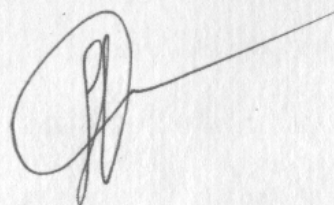
Специальность 05.14.05 - теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

xv 1051

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Одесса - 1995



Работа выполнена в Одесском морском университете.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор ЗАГОРУЧКО В.А.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук
профессор Гришин М.А.
- кандидат технических наук
профессор Смищенко В.П.

Автореф
Ш64

xv1051
Широкий Д.А.

Гигротермические свойства сушеной
плодоовощной продукции [Текст]:

1995

0.00

199 г.

го совета К.068.27.01

дресу:

Х.

ютеке института.

1995 г.

ЕМИКУЛЬМИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В технологических процессах пищевых производств (переработка, транспортировка и длительное хранение) важную роль играют явления внешнего массообмена между объектами обработки и внешней средой, а также внутреннего массопереноса в самих объектах обработки. Интенсивность этих процессов во многом зависит от массообменных свойств материала, которые выражаются термодинамическими характеристиками и коэффициентами массопереноса.

Задача определения равновесного гигротермического влагосодержания осложняется в связи с необходимостью разработки достоверных методов описания гигротермического равновесия при малом влагосодержании и влагосодержании, стремящемся к максимальному гигроскопическому, так как в экспериментальных справочных данных зачастую отсутствуют значения максимального гигроскопического влагосодержания, а значения равновесного влагосодержания в области мономолекулярной адсорбции имеют погрешность, соизмеримую с порядком измеряемой величины либо также отсутствуют. Эти методы основаны на построении обобщенных характеристических кривых и составлении двухпараметрических уравнений приведенных влагосодержания исследуемых материалов на базе потенциальной теории сорбции.

Определение внутренних массообменных характеристик, зависящих от многих факторов, является сложной задачей из-за отсутствия в настоящее время простых и точных методов их прямого экспериментального измерения. Поэтому актуальна разработка теории переноса влаги в капиллярно-пористых материалах (КПКМ), что дает возможность рассчитывать массообменные характеристики КПКМ аналитическим путем.

Целью данной работы является исследование гигротермического равновесия сушеных овощей и фруктов в широком интервале параметров влажного воздуха, а также разработка теоретических методов расчета коэффициентов внутреннего массопереноса в КПКМ.

Решение этой задачи потребовало разработать и исследовать:
- методику обобщения данных о гигротермическом равновесии сушеных фруктов и овощей в широком интервале параметров влажного воздуха, используя ограниченные экспериментальные данные о их равновесном влагосодержании;
- теоретические уравнения для определения равновесного влагосодержания в области мономолекулярной адсорбции;

- машинные методы для описания гигротермического равновесия сушеной плодовоовощной продукции и представления данных в формах, удобных для практического использования;
- теоретические уравнения, позволяющие рассчитывать кинетические коэффициенты внутреннего массопереноса.

Научная новизна данной работы включает в себя:

- методику обобщения данных о гигротермическом равновесии сушеных фруктов и овощей путем применения однопараметрического уравнения состояния;
- способ экстраполяции характеристической кривой в область мономолекулярной адсорбции с использованием потенциальной теории сорбции;
- расчет удельных адсорбционных поверхностей сушеных овощей и фруктов;
- теоретические уравнения и зависимости для расчета кинетических коэффициентов.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Комбинированный метод БЭТ-Леруа позволяет достоверно экстраполировать ограниченные экспериментальные данные о равновесном влагосодержании в область низкой относительной влажности воздуха.

2. Применение потенциальной теории сорбции является корректными для расчетов гигротермического равновесия при заполнении пор в области мономолекулярной адсорбции вплоть до полной гомогенизации системы.

3. Предложенные в диссертации форма и методика построения уравнений равновесного влагосодержания на основе опытно-расчетных данных, пригодны для вычисления термодинамических свойств на ЭВМ.

4. Перенос влаги в капиллярно-пористых материалах (КПКМ) осуществляется в общем случае жидкостью и паром. Разработан физический метод теоретического определения коэффициентов внутреннего массопереноса двухфазного потока в КПКМ.

Практическая ценность работы. Составленные в результате выполнения исследований уравнения приведенных равновесных влагосодержаний сушеных овощей и фруктов предназначены для оптимизационных расчетов технологических процессов переработки, транспортировки и хранения рассматриваемой сушеной плодовоовощной продукции.

С помощью полученных уравнений рассчитаны таблицы приведенных влагосодержаний и построены тепловые $n-d$ диаграммы и номограммы для этих групп материалов. Таблицами и номограммами удобно пользоваться в предварительных расчетах процессов теплообмена при

тепловлажностной обработке этих материалов. Для оптимизационных расчетов технологических процессов и их автоматизации необходимо использовать соответствующие уравнения равновесных влагосодержаний этих материалов.

Полученные уравнения, тепловые диаграммы $n-d$ и номограммы могут использоваться для расчета равновесных влагосодержаний других гигроскопично-подобных сушеных фруктов и овощей, если есть показатели о их гигроскопическом подобии с исследованными в настоящей работе.

Предложенный аналитический метод расчета коэффициентов массопереноса двухфазного потока в КПКМ позволяет теоретически решать феноменологические уравнения внутреннего массопереноса в различных по свойствам КПКМ. Представленные таблицы и аппроксимационные формулы для коэффициентов внутреннего массопереноса в зерновых и древесно-волокнистых материалах могут использоваться в инженерной практике при расчетах процессов обработки данных веществ.

Внедрение результатов исследования. Работа выполнена в рамках программы научных исследований ИИТФ АН Украины и ассоциации "СУИ-КА" по созданию банка данных о равновесных влагосодержаниях, гигроскопических свойствах и массообменных характеристиках технически важных пищевых продуктов.

Программа расчета гигроскопических свойств применяется для разработки линий по производству порошковых продуктов из фруктов и овощей.

Составленные уравнения равновесных влагосодержаний и массопереносные коэффициенты исследованных в диссертации материалов и их тепловые $n-d$ диаграммы применяются в учебном процессе при чтении разделов курса "Техническое кондиционирование грузов" и для расчетов процессов теплообмена при транспортировке и хранении грузов, выполняемых при курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Основные положения и отдельные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международной конференции "Теплообмен в технологических процессах" в 1991 г. в городе Брмала и на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОИИТФ (1989-1992г.г.)

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Работа изложена на 221 странице, содержит 16 рисунков, 22 таблицы, список литературы из 117 наименований и приложения на 71 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации рассмотрены и проанализированы наиболее известные и достоверные экспериментальные данные, эмпирические уравнения, теории и методики для описания гигротермического равновесия материалов растительного происхождения.

Во второй главе представлена разработка методики получения уравнения гигротермического равновесия сушеных фруктов и овощей.

Данные по гигротермическому равновесию исследуемых продуктов ограничены одной изотермой, поэтому единственным научно обоснованным методом обработки экспериментальных данных об их равновесных влагосодержаниях является метод характеристических кривых.

Анализ гигроскопического подобия всех подлежащих исследованию в рамках настоящей диссертации сушеных фруктов и овощей, показал, что в пределах фактической экспериментальной точности все двадцать три наименования сушеных продуктов могут быть обобщены семью характеристическими кривыми.

В табл. 1 приведены составы групп гигроскопично-подобных сушек и овощей и фруктов и значения $U_{ос}$ для каждого из двадцати трех продуктов. Для построения обобщенных характеристических кривых этих продуктов во всем практически используемом температурном интервале необходимо экстраполировать экспериментальные участки кривых "вниз" и "вверх". Экстраполяция зависимостей $w = f(n/n_{ос})$ "вверх" более проста и надежна, так как известно, что при $(n/n_{ос}) \rightarrow 1$, $w \rightarrow 1$, а вид кривых в этой области параметров монотонно-возрастающий. Более сложной и ненадежной является экстраполяция характеристических кривых "вниз" в связи с теоретическим неопределенным видом этих кривых в окрестности $(n/n_{ос}) \rightarrow 0$.

Для сушеных фруктов и овощей был предложен метод экстраполяции, использующий уравнения Леруа (область от монослоя до первых экспериментальных точек) и БСТ (заполнение монослоя).

Потенциальная теория сорбции полярных жидкостей на реальных сорбентах пригодна для расчетов характеристических кривых гигротермического равновесия в широкой области изменения равновесных значений ϕ и t , включая область заполнения от монослоя и выше. Применение теории адсорбции при заполнении ниже монослоя некорректно, так как термическое уравнение адсорбции:

$$R_n T \ln \frac{P}{P_s} = -\Pi - v' \left(c \sigma + \frac{\sigma \sigma}{\sigma_n} \right) \quad (1)$$

получено для частного случая конденсированной фазы с постоянным значением плотности адсорбционного слоя, как особой фазы, отличной от объемной жидкости. В реальных условиях при частичном заполнении монослоя идет лишь структурирование новой фазы, причем, адсорбированные молекулы отличаются от молекул равновесного газа вне поля поверхности только более плотной упаковкой. В этом смысле их свойства ближе всего описываются соотношениями для двумерного реального газа, а поверхностное натяжение, диэлектрическая проницаемость, поляризуемость и другие свойства слоя будут зависеть от степени его заполнения, то есть от плотности.

Таблица 1

Номер группы продуктов	Наименование вещества	$U_{ос}$	w_m	F
		кг влаги кг сухой массы		$\frac{m^2}{кг \cdot c.m}$
I	Жом сушеный, обработанный ПДВ	0.4000	0.0780	99042
	Жом сушеный	0.4462		110487
II	Абрикос, зерна	0.2016	0.0374	49920
	Виноградная косточка	0.2900		34431
	Хурма, порошок	1.0022		118991
III	Яблочный порошок	0.8862	0.0300	105218
	Яблоки, кусочки	1.0200		97142
	Виноградная выжимка	0.4386		47771
	Порошок из мандариновой выжимки	0.6375		60714
IV	Тыква, кусочки и порошок	0.9333	0.0211	88885
	Мандариновая выжимка	0.6500		43539
	Банан, кусочки	1.0340		66984
	Ананас, кусочки	0.9672		69989
	Порошок из яблочных выжимок	0.6864		45977
V	Хурма, кусочки	1.0440	0.0116	38445
	Слива, зерна	0.3748		13802
	Слива, косточки	0.3278		12071
VI	Дыня, порошок	1.1500	0.0169	61697
	Дыня, кусочки	0.8700		46675
	Яблочная выжимка	0.8545		45843
VII	Абрикос, кусочки	1.1000	0.0066	23047
	Слива, кусочки	1.1880		24890

Уравнение (1) в безразмерной форме имеет вид:

$$\varphi = \exp \left[\frac{\Pi'}{kT} + \frac{v'}{kT} \left(c\sigma + \frac{\sigma\sigma}{\sigma n} \right) \right] \quad (2)$$

Первый член экспоненты определяет в безразмерном виде потенциальную энергию дипольной поляризованной молекулы сорбата в поле действия поверхностных сил по границе раздела пленка - пар (этот член имеет отрицательный знак). Второй член экспоненты (также в безразмерном виде) - работу образования поверхности раздела адсорбент - пар, связанную с кривизной поверхности и толщиной адсорбционной пленки. Эта величина имеет положительное значение, но ее модуль меньше, чем у первого члена.

Зависимость поверхностного натяжения пленки монослоя от его заполнения U / U_M^0 определяется выражением:

$$\sigma = \sigma_{\text{сМ}} \left(\frac{\rho_M \frac{U}{U_M} - \rho'}{\rho_M - \rho'} \right) \quad (3)$$

Как следует из (3), поверхностное натяжение пленки изменяется от $\sigma_{\text{сМ}}$ плотно упакованного слоя до нуля при полной гомогенизации системы пленка - пар.

В конечном виде уравнение (2), после подстановки всех входящих в него параметров при температуре $T = 293.15$ К имеет вид:

$$\varphi = \exp \left[0.7639 \left(\frac{U}{U_M} \right) - 0.653 - 3.7766 \left(1 + 0.4818 \frac{U}{U_M} \right) \right]$$

Сравнительная оценка предложенного нами метода расчета по уравнению (2) для $T = 293.15$ К с данными расчета по теории БЭТ представлена на рис.1. Как следует из него, погрешность расчета двумя предложенными методами невелика и составляет не более 7 %.

Удельная поверхность - одна из наиболее важных характеристик влажного материала, оказывающая значительное влияние на связь влаги с сухим скелетом и, следовательно, на его массообменные характеристики. Чем больше удельная поверхность материала, тем больше в нем прочносвязанной влаги мономолекулярной адсорбции:

$$V_M = h_M F_M \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет рассчитывать площадь активной поверхности материала, покрытую мономолекулярным слоем влаги. Значения

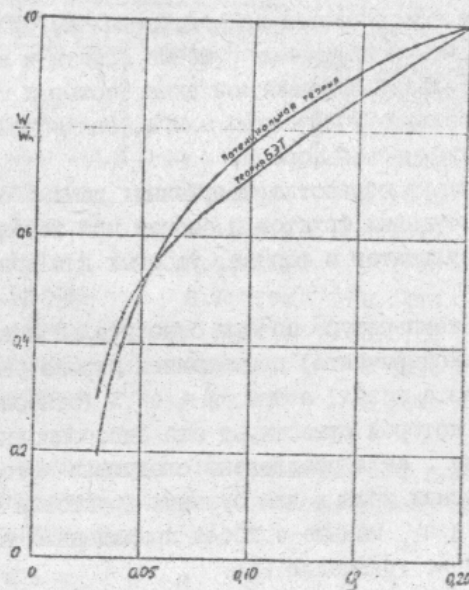


Рис. 1. Зависимости приведенного влагосодержания монослоя W/W_m от относительной влажности φ при $T=293.15$ К рассчитанные по потенциальной теории сорбции и теории БЭТ.

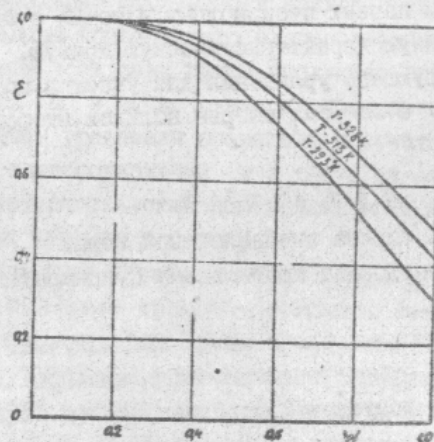


Рис. 2. Зависимость коэффициента фазового превращения ϵ от влагосодержания W при различных температурах.

F_M представлены в табл. 1.

Данные по удельным поверхностям исследованных материалов позволяют сделать вывод, что исследуемые сушеные фрукты и овощи и их порошки обладают значительной сорбционной активностью и содержат в монослое относительно большое количество влаги, связанной с материалом прочной физико-химической формой.

Третья глава посвящена обработке полученных данных о гигротермическом равновесии сушеных фруктов и овощей при помощи ПЭВМ с целью представления результатов в формах, удобных для практического использования.

Учитывая, что при температуре 20°C и относительной влажности 40 % (наимизшая точка эксперимента) приведенная ширина эквивалентной поры (n/n_{os}) равна 0.33294, а при $\phi = 20$ % (относительная влажность воздуха, при которой существует еще адсорбционный монослой) - $n/n_{os} = 0.20049$, была предложена следующая методика построения характеристических кривых для сушеных фруктов и овощей:

- 1) при значениях n/n_{os} меньше 0.20049 приведенное влагосодержание рассчитывается по уравнению (2).
- 2) при значениях n/n_{os} больше 0.32294 значения w рассчитывается из однопараметрического уравнения, полученного на основании обработки экспериментальных данных о равновесных приведенных влагосодержаниях w_s сушеных фруктов и овощей;
- 3) стыковка этих уравнений, очевидно, должна быть в интервале значений n/n_{os} от 0.2 до 0.3, при этом должно соблюдаться не только равенство значений, но и первых производных в точке стыковки, что позволяет получить плавную характеристическую кривую.

В качестве аппроксимирующего уравнения для участка погеммолекулярной адсорбции $n/n_{os} > 0.33$ был выбран полином второй степени специального вида:

$$w = A_1 (n^2 - 1) + B_1 (n - 1) + 1 \quad (5)$$

где $n = n/n_{os}$ - приведенная ширина эквивалентной поры. Такая форма уравнения удовлетворяет предельному фундаментальному условию: $w \rightarrow 1$ при $n \rightarrow 1$.

В результате оптимизационных расчетов на ЭВМ получены значения коэффициентов A_1 и B_1 , обеспечивающие аппроксимацию опорных характеристических кривых с допустимыми среднеквадратическими отклонениями (табл. 2).

Таблица 2

Номера гигроскопично-подобных групп	Значения коэффициентов		Наименьшее значение n , при котором справедливо уравнение (1)	T_{w_M}	Средняя квадратическая погрешность $\delta w_{ср.кв.} \%$
	A_1	B_1			
I	1.027102	- 0.097334	0.3161	0.07708	1.43
II	1.366839	- 0.442917	0.2590	0.03698	4.19
III	1.527381	- 0.631511	0.2760	0.02967	0.86
IV	1.524685	- 0.610654	0.2493	0.02087	2.22
V	1.489716	- 0.552474	0.2123	0.01146	5.84
VI	1.807772	- 0.962826	0.2994	0.01673	2.93
VII	1.674637	- 0.772060	0.2446	0.00653	2.56

Данные, рассчитанные по уравнению БЭТ для области, лежащей ниже w_M , аппроксимированы также при помощи полинома второй степени специального вида:

$$w = w_M \{ A_2 (n - 0.2)^2 + B_2 (n - 0.2) + 1 \} \quad (6)$$

Это уравнение удовлетворяет предельному условию $w = w_M$ при $n = 0.2$, то есть $\phi = \phi_M$. Перейдя к безразмерным координатам в уравнении БЭТ ($w/w_M = f(n)$), мы получили единые значения коэффициентов A_2 и B_2 для всех семи групп, исследуемых в диссертации продуктов ($A_2 = -0.0767493$ $B_2 = 7.1981594$).

Индивидуальные особенности каждой группы продуктов характеризуются значениями приведенного влагосодержания монослоя w_M . Значения w для всех семи групп продуктов приведены в табл. 2.

Значения n в точке стыковки приведены так же в табл. 2.

Полученные уравнения позволили рассчитать таблицы приведенных равновесных влагосодержаний $w = f(n)$, на основании которых построены характеристические номограммы всех исследованных в диссертации сушеных фруктов и овощей.

Нами была разработана программа на алгоритмическом языке FORTRAN 77, с помощью которой составлено семь уравнений приведенных равновесных влагосодержаний, описывающих экспериментальные данные о равновесном влагосодержании двадцати трех наименований сушеных фруктов и овощей. Коэффициенты полученных уравнений приведены в распечатках соответствующих программ модулей, рассматриваемых в системах программ для расчета таблиц равновесных влагосодержаний сушеных овощей и фруктов, а также расчета гигроскопичес-

ких равновесий в отдельно (произвольно) заданных точках термодинамического состояния.

Полученные двухпараметрические уравнения приведенных равновесных влагосодержаний $w = f(\varphi, T)$ позволили построить тепловые n -диаграммы сушеных фруктов и овощей.

Четвертая глава посвящена разработке теории внутреннего массопереноса в капиллярно-пористых коллоидных телах (КПКМ).

Профессором В.А.Загоруйко получены феноменологические уравнения переноса тепла и влаги в КПКМ, в которых дано обоснование потенциалов и коэффициентов переноса массы в жидкой и паровой фазах. В большинстве КПКМ имеет место перенос массы в обеих фазах одновременно в зависимости от рода вещества и его влажности. В этом случае получаем общее уравнение для смешанного потока:

$$\vec{S}_m = \vec{S}'_m + \vec{S}''_m = - \lambda_{m\varphi} [\vec{\nabla} \varphi + \delta_\varphi \vec{\nabla} T] \quad (7)$$

Течение вязкой жидкости определяется известным уравнением Навье-Стокса, которое в адсорбционной пленке на основе потенциальной теории сорбции приводится к виду:

$$\nu \operatorname{div}(\operatorname{grad} v) = \operatorname{grad}(Rn T \ln \varphi) \quad (8)$$

Решение уравнения (8) при соответствующих граничных условиях позволяет найти среднюю скорость течения и поток жидкой фазы в КПКМ. Перенос пара в поровом пространстве КПКМ протекает по порам, свободным от жидкости. Причем, в порах гигроскопичной области $n < n_{os}$ имеет место эффузионный перенос, а в области $n > n_{os}$ - молекулярный перенос.

С учетом полученных локальных потоков массы записано общее выражение для двухфазного потока, проинтегрированное на общую геометрическую поверхность:

$$\vec{S}_m = \vec{S}'_{m\Gamma} \frac{F_{\Gamma}}{F_{\Gamma}} + \vec{S}''_{m\Gamma} \frac{F_{\Gamma}}{F_{\Gamma}} + \vec{S}''_{m\Gamma} \frac{F_{\Gamma}}{F_{\Gamma}} + \vec{S}''_{m\Gamma} \frac{F_{\Gamma}}{F_{\Gamma}} \quad (9)$$

Используя соотношения пространственной изотропии, а также приведенные выше выражения для локальных потоков, мы получаем из (9) общее выражение переноса, при этом коэффициенты массопереноса λ'_m и λ''_m определяются выражениями:

$$\lambda'_m = \frac{\rho_o n_{os}^2 U_{os} Rn T}{12 \varphi \nu_s (1+n U)} \varepsilon_w (n_o) \quad (10)$$

$$\lambda''_m = \rho_s D \left[1 - \frac{1}{1+n U} \left(\frac{\rho_o}{\rho_T} + \frac{\rho_o}{\rho_x} U \right) \right] + \frac{\rho_{os} U_{os} (1-W)}{\rho_s (1+n U)} \frac{4 P_s n_{os} \varphi(n_o)}{3 \sqrt{2 \pi Rn T}} \quad (11)$$

В качестве примера рассмотрены два типичных капиллярно-пористых коллоидных материала: древесина и пшеница по которым имеются в литературе некоторые экспериментальные данные, а также уравнения гигротермического равновесия. Эти материалы существенно различаются по микроструктуре. В зерновке пшеницы очень мало свободных микропор и гигроскопичная влага при адсорбции раздвигает стенки твердого скелета. Поэтому в зерне пшеницы диффузия влаги происходит только (преимущественно) в жидкой фазе. По этой причине коэффициент фазового превращения ε стремится к нулю, относительный коэффициент термодиффузии δ_φ определяется уравнением (3), коэффициент массопроводности λ'_m уравнением (10), а коэффициент диффузии влаги a_m выражением:

$$a_m = \frac{\lambda'_m}{\rho_o c_{mT}} \quad (12)$$

Древесина отличается от пшеницы широко развитой системой микро- и макропор, поэтому в гигроскопической области влага перемещается как в виде жидкости, так и в виде пара. Соотношение между потоками имеет сложный характер и зависит от вида древесины, его влагосодержания и температуры. При низкой влажности, когда широко развитое поровое пространство древесины не заполнено влагой, вязкость жидкой фазы велика, перенос массы осуществляется преимущественно в паровой фазе и величина коэффициента фазового превращения близка или равна единице.

По мере увеличения влагосодержания материала поток жидкой влаги растёт вследствие уменьшения вязкости жидкости и увеличения поперечного сечения потока, а поток пара уменьшается вследствие понижения поперечного сечения свободных пор. По этой причине коэффициент фазового превращения ε с увеличением влагосодержания уменьшается (рис. 2). Однако, его величина в гигроскопической области не падает до нуля, так как это имеет место у зерновых, так как при влагосодержании $U = U_s$ ($W = 1$) в древесине имеется еще достаточно количество свободных микропор, по которым переносится паровая фаза.

Сравнение расчетных коэффициентов массопереноса с экспериментальными данными позволяет сделать вывод о целесообразности применения предлагаемого аналитического метода расчета массопереносных

характеристик древесно-волоконистых материалов в инженерной практике.

В приложении к работе приводятся значения коэффициентов теплопроводности λ_{mf} и λ_{mf} , диффузии a_m , термодиффузии DM и коэффициента фазового перехода ϵ для пшеницы и древесины в гигроскопической области. Очевидно, что значения коэффициентов массопереноса у других капиллярно-пористых коллоидных материалов будут располагаться внутри значений рассмотренных нами веществ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

1. Комплекс выполненных в работе исследований позволил разработать методику обобщения данных о гигротермических свойствах сушеных фруктов и овощей. В результате получены одно- и двухпараметрические уравнения состояния в широкой области изменения равновесных параметров ϕ и t .

2. На базе потенциальной теории сорбции получено термическое уравнение адсорбции на реальных сорбентах в области переменной плотности и показано хорошее совпадение с уравнением БЭТ. Таким образом, доказана возможность применения потенциальной теории сорбции в области малых заполнений (вплоть до полной гомогенизации системы).

3. Разработана методика и определены удельные адсорбционные поверхности всех рассматриваемых видов сушеных фруктов и овощей.

4. Исследованы теоретические массообменные характеристики КПКМ. На основе потенциальной теории сорбции и уравнений состояния получены выражения для определения коэффициентов теплопроводности, диффузии, термодиффузии, коэффициента фазового превращения, массоемкости реальных влажных материалов. На примере древесины и пшеницы показано хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных. Проанализировано влияние различных факторов на эти характеристики.

5. На базе двухпараметрических уравнений состояния получены $n - d$ диаграммы равновесного влагосодержания исследуемых видов плодовоовощной продукции. Исследовано положение кривой динамического равновесия влаги в материалах в неоднородном температурном поле. Показано, что величина ϵ определяет характер влажностного поля (кривая динамического равновесия в $n - d$ диаграмме, наклон которой определяется в каждой точке величиной коэффициента фазового превращения).

6. Результаты исследования представлены в форме, позволившей включить их в автоматизированный банк данных о гигротермических свойствах реальных влажных материалов и пригодных для оптимизационных расчетов технологических процессов переработки, транспортировки и хранения сушеной плодовоовощной продукции.

7. Показано, что все рассматриваемые виды сушеных фруктов и овощей (23 вида продукции) описываются с помощью 7 характеристических кривых. Причем, внутривидовое отличие хорошо согласуется с помощью приведенного равновесного влагосодержания. При этом погрешность сглаживания экспериментальных точек не превышает точности эксперимента (среднеквадратичная погрешность $\delta < 7\%$).

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Zagoruiko V.A., Shiroky D.A. Thermo and moisture conductivity of the wood. Heat and mass transfer in technological processes. Abstracts of reports of international conference. Jurmala, 1991.

2. Уравнения равновесных влагосодержаний сушеных овощей и фруктов. // Промышленная теплотехника. - № 1. - 1995. - С.39-45.

3. Теоретический метод расчета коэффициентов внутреннего массопереноса в реальных влажных материалах. // Промышленная теплотехника. - № 1. - 1995. - С.45-50.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

U - влагосодержание КПКМ; w - приведенное влагосодержание КПКМ; n - ширина эквивалентной поры; t - термодинамическая температура; ϕ - относительная влажность воздуха; P_{II} - газовая постоянная; P - барометрическое давление; σ - поверхностное натяжение; Π - потенциальная энергия; ρ - плотность; ρ_0 - плотность сухого вещества; ρ_T - плотность скелета вещества; Σ_m - поток влаги; F - геометрическая поверхность; δ - относительный коэффициент термодиффузии; c_{mT} - приведенная изопотенциальная массоемкость; v - удельный объем; h - толщина сорбционной пленки; ν - кинематическая вязкость; λ_m - коэффициент теплопроводности; a_m - коэффициент диффузии влаги; α - коэффициент объемного набухания; $f_w(N_0)$, $\phi(N_0)$ - нормирующие функции.

Надстрочные индексы:

' - жидкая фаза, " - паровая фаза.

Подстрочные индексы:

М - монослой; S - для $\varphi=1$; 0 - для $T=273.15$ К; пл - пленочное течение; кап - капиллярное течение; эф - эффузия, диф - диффузия.

А Н О Т А Ц І Я

Широкий Д.О. Гігротермічні властивості сушеної плодовоовочної продукції. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.05 - теоретичні основи теплотехніки. Одеська державна академія холоду. Одеса 1995.

Захищається з наукові праці, які вміщують результати досліджень гігротермічної рівноваги сушеної плодовоовочної продукції. Задача була вирішена на основі потенціальної теорії сорбції. В роботі вперше був використан аналітичний метод знаходження коефіцієнтів внутрішнього масопереносу в реальних вологих матеріалах. Содержані таблиці рівновагового вмісту вологи сушеної плодовоовочної продукції та коефіцієнтів внутрішнього масопереносу.

Ключеві слова: еквівалентна пора, гігротермічна рівновага, адсорбція, термо- і теплопровідність, фазовий потік.

S U M M A R Y

Shiroky D.A. Hicrotermic property of dried fruits and vegetables products. Candidate of Technical Sciences Thesis in the speciality 05.14.05. Theoretical Fundamentals of Thermal Engineering. Odessa 1995.

5 scientific papers are presented for consideration, which contain the results of the study hicrotermic equilibrium dried fruits and vegetables products. The problem was solved on base potenshial theory of sorbtion. For the first time used analitical method for determine coefficients inside massconductivity in real moisture matherials. The tables of equilibrium moisture maintenace and coefficients inside massconductivity have been obtained.

Key words: equivalent pore, hicrotermic equilibrium, adsorption, thermo- and massconductivity, phase moisture.