

УДК 631.6:664.8.047

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ



MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF DEHYDRATION OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Иночкина Екатерина Викторовна

Кубанский государственный
технологический университет

Касьянов Геннадий Иванович

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы развития научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Целью работы является развитие научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Были поставлены задачи по оценке зависимости теплофизических показателей (теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности) от влажности и температуры сырья; изучению химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы, как объектов сушки. В работе представлены математические модели процессов, обоснованы современные методы расчета параметров технологических режимов и предложены направления модернизации технологии и оборудования для обезвоживания влажного растительного сырья. Используемое сырье имеет наномасштабные размеры: капилляры плодовоовощного сырья имеют диаметр до 300 нм, оболочки клеток от 7 до 30 нм, размер молекулы воды 0,30 нм. Размер молекулы азота 0,38 нм, аргона 0,35 нм, углекислого газа 0,33 нм. Эти естественные наноструктуры определяют условия обезвоживания и эффективность технологии. Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели (с релаксационным ядром) процесса сушки выбранных культур, исследованы сорбционно-структурные и теплофизические свойства плодов и овощей, отобранных для сушки на CO₂-сушильной установке. С участием авторов сконструирована CO₂-сушильная установка, использующая частичную растворимость молекулы углекислого газа в воде.

Ключевые слова: математическое моделирование, процессы сушки, плоды, овощи, регрессионные модели, сорбционно-структурные свойства.

Inochkina Ekaterina Viktorovna

Kuban State Technological University

Kasyanov Gennady Ivanovich

Kuban State Technological University

Annotation. The article is devoted to solving the urgent problem of the development of scientific foundations and methods of researching the processes of dehydration of food plant materials. The aim of the work is to develop scientific foundations and research methods for the processes of dehydration of edible plant materials. The tasks were set to assess the dependence of thermophysical indicators (heat capacity, thermal conductivity coefficient, thermal diffusivity) on the humidity and temperature of raw materials; the study of the chemical and thermophysical properties of samples of melon, carrot, beet, black currant, Jerusalem artichoke and pumpkin pulp as drying objects. The paper presents mathematical models of processes, substantiates modern methods for calculating the parameters of technological regimes and proposes directions for modernizing technology and equipment for dehydration of moist plant materials. The raw materials used have nanoscale dimensions: the capillaries of fruit and vegetable raw materials have a diameter of up to 300 nm, cell shells from 7 to 30 nm, the size of a water molecule is 0.30 nm. The size of the nitrogen molecule is 0.38 nm, argon is 0.35 nm, and carbon dioxide is 0.33 nm. These natural nanostructures determine the dehydration conditions and the efficiency of the technology. Regression models non-local in time (with a relaxation kernel) of the drying process of selected crops have been developed, the sorption-structural and thermophysical properties of fruits and vegetables selected for drying in a CO₂-drying unit have been investigated. With the participation of the authors, a CO₂-drying unit has been designed using the partial solubility of a carbon dioxide molecule in water.

Keywords: mathematical modeling, drying processes, fruits, vegetables, regression models, sorption-structural properties.

Процесс обезвоживания растительного сырья позволяет продлить срок его хранения и получить возможность изготовить натуральные пищевые добавки. Большое значение при этом имеет изучение кинетики и моделирование процесса тепломассопереноса в реальных объектах сушки [1]. Консервная и овощесушильная промышленность страны обладает широким ассортиментом устройств и способов обезвоживания плодовоовощного и пряно-ароматического сырья [2]. Основным элемен-

том комплексной переработки плодов бахчевых культур считается процесс сушки, позволяющий производить широко востребованные снеки и пастилу [3]. В ассортимент продуктов геродиетического назначения обычно входят продукты с промежуточной влажностью, в большей мере сохранившие БАВ, по сравнению с сухими продуктами [4].

Перспективным и принципиально новым направлением в переработке плодоовощного сырья, является использование в качестве сушильного агента диоксида углерода [5]. В свое время, на такую возможность обратили внимание профессор В.М. Шляховецкий и доцент Ю.С. Беззаботов Теоретическое обоснование процесса CO_2 -обезвоживания сырья, за счет частичной растворимости воды в углекислом газе, выполнила доцент Е.В. Иночкина [5].

Подробный обзор требований к сырью и существующих способов сушки представлен в работе [6]. В состав продуктов специализированного назначения для детского, спортивного, геродиетического назначения входят сухие продукты с гарантированным содержанием хелатных форм эссенциальных микроэлементов [7].

Значительный объем исследований в области сушки и экстрагирования ценных компонентов из пищевого сырья выполнен под руководством зав. кафедрой Самарского государственного технического университета, д. х. н., профессора Н.В. Макаровой [8]. В работах ее учеников представлены результаты исследований по содержанию в плодах и овощах антиоксидантных и антирадикальных компонентов.

При подготовке сырья к технологической переработке, представляют интерес исследования по действию на ход биохимических процессов электромагнитного поля низкой частоты [9]. Кроме того, перед направлением на переработку лекарственного растительного сырья, необходимо исследовать его антиоксидантные и антимикробные свойства, чтобы сохранить их и предложить щадящие температурные режимы [10].

Наиболее весомый научный вклад в математическое моделирование и расчеты процессов сушки и экстрагирования, внес профессор С.П. Рудобашта [11, 12]. Методика построения регрессионных моделей обработки сырья, позволяющая корректировать ошибки и прогнозировать биологическую ценность готовых продуктов, защищена свидетельствами на Программы ЭВМ [13–15]. Основополагающее значение при выборе способа переработки сырья имеет обоснование экономической целесообразности [16].

При моделировании процесса сублимационной сушки термолабильного растительного сырья следует учитывать свойства и фазовые состояния таких хладагентов, как азот и диоксид углерода [17–18]. Рациональную технологию переработки растительного сырья и подбора оборудования, можно спрогнозировать, используя методы математического моделирования основных производственных процессов [19–20].

Выполненный обзор научно-технической литературы позволил выявить проблемы в современной теории обезвоживания растительного сырья, и именно – недостаточное внимание к исследованию сорбционно-структурных и теплофизических свойства плодов и овощей, отобранных для сушки.

Целью работы является развитие научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья.

Были поставлены задачи по оценке зависимости теплофизических показателей (теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности) от влажности и температуры сырья; изучению химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы, как объектов сушки.

Решалась задача оптимального управления процессом наноструктурной сушки для поиска термобарического режима $T(t)$ и $P(t)$, максимизирующего содержание витамина С в конце сушки, при заданных условиях на влажность. Установлено, что капилляры плодоовощного сырья имеют диаметр до 300 нм, оболочки клеток от 7 до 30 нм, размер молекулы воды 0,30 нм. Размер молекулы азота 0,38 нм, аргона 0,35 нм, углекислого газа 0,33 нм

Сорбционно-структурные характеристики сырья определяли с помощью адсорбционного метода, с учетом изотерм сорбции-десорбции:

$$U_{\text{м.г.}} = 2,540 - 3,919 \cdot 10^{-2} \cdot t + 6,580 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 6,561 \cdot 10^{-6} \cdot t^3. \quad (1)$$

Принимали во внимание равновесное влагосодержание сырья, температуру и относительную влажность воздуха:

$$U_p = \frac{a' \varphi^{0,5} + b' \varphi + c' \varphi^{1,5}}{1 + d' \varphi^{0,5} + e' \varphi + (f' + g') \varphi^{1,5}}, \quad (2)$$

где $a', b', c', d', e', f', g'$ – опытные коэффициенты политермы десорбции.

Идентификацию теплофизических характеристик сырья проводили способом комплексного определения. Обработанные экспериментальные данные подтвердили зависимость теплопроводности от влагосодержания материала при температуре от 2 до 55 °С. Величина влагосодержания составляла $U = 0,1025 \div 4,0123$ кг/кг. Определим коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = 0,06 + 0,01 e^{-0,5 \left(\frac{U-3,023}{0,134} \right)^2}; \quad (3)$$

– коэффициент температуропроводности:

$$a = \frac{5,555 - 1,254U^2 + 0,077U^4}{1 - 0,213U^2 + 0,011U^4 + 1,54 \cdot 10^{-4}U^6} \cdot 10^{-8}; \quad (4)$$

– коэффициент теплоемкости:

$$C = 782,96 + 19,687U. \quad (5)$$

Коэффициент потенциалопроводности при влажности сырья a_m вычисляли с помощью кривых сушки. Помещенные в сетчатую кассету образцы сырья толщиной 5 мм обезвоживали в изотермических условиях при скорости теплоносителя 14 м / с, при этом $Bi_m \rightarrow \infty$. Коэффициент потенциалопроводности вычисляли с помощью нелинейного уравнения:

$$E_{cp} = \frac{U_{cp}(T - U_p)}{U_0 - U_p} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2\mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo_m). \quad (6)$$

При обработке опытных данных получена зависимость a_m от влагосодержания и температуры:

$$a_m = \frac{5,193 - 8,684 \cdot U + 4,542 \cdot U^2 - 0,7406 \cdot U^3 + 0,1281 \cdot t - 2,309 \cdot 10^{-3} \cdot t^2}{1 - 0,01310 \cdot U - 0,01824 \cdot t} \cdot 10^{-12}, \quad (7)$$

при $t = 3 \div 50,8$ °С и $U = 0,4 \div 2,5$ кг / кг.

Для определения относительного коэффициента термодиффузии использовали политермы десорбции, затем оценивали химический потенциал, влагоемкость сырья и температурный коэффициент химического потенциала. Коэффициент термодиффузии зависит от влагосодержания $U = 0-3$ кг / кг и температуры $t = 0-60$ °С:

$$\begin{aligned} \delta = & -0,01350 + 1,199 \cdot 10^{-3} \cdot (t + 6)^{0,5} + \\ & + \frac{0,04422 - 1,665 \cdot 10^{-3} \cdot t + 6,604 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,226 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 7,562 \cdot 10^{-9} \cdot t^4}{1 + \left[\frac{U - (2,540 - 3,919 \cdot 10^{-2} \cdot t + 6,580 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 6,561 \cdot 10^{-6} \cdot t^3)}{1,404 - 0,01427 \cdot t + 1,074 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3} \right]^2}. \quad (8) \end{aligned}$$

Приведем теплофизические характеристики плодового и овощного сырья. Обозначения точки замерзания сырья – T_z ; удельной теплоемкости – C_p ; скрытой теплоты заморозки – $T_{скр}$; теплоты дыхания сырья – $T_{дых}$. В таблице 1 приведены теплофизических показателей плодового сырья.

В таблице 2 приведены теплофизических показателей овощного сырья. Обозначения плотности сырья – ρ ; насыпной плотности ρ_n ; удельной теплоемкости – C_p ; коэффициента теплопроводности – λ ; коэффициента температуропроводности – a .

Таблица 1 – Виды теплофизических показателей плодового сыра

Плодовое сырье	Теплофизические показатели						
	Тз, °С	Ср, кДж/кг·К		Тскр, кДж / кг	Тдых, кДж/тонна·час		
		до охлаждения	после охлаждения		0 °С	10 °С	20 °С
Дыня	-1,25	3,65	1,87	278	208	365	524
Смородина черная	-1,1	3,87	1,94	305	180	432	1210
Тыква	-0,5	3,88	1,96	303	69	154	393

Таблица 2 – Виды теплофизических показателей овощного сыра

Овощное сырье	ρ , кг / м ³	ρ_n , кг / м ³	Ср, кДж / (кг – К)	Λ , Вт / (м – К)	a, м ² / с, a – 10 ⁴
Морковь	980–1010	630–680	3,43–3,85	0,63–0,66	0,116–0,172
Столовая свекла	1020–1070	650–720	3,53–3,90	0,60–0,64	0,110–0,160
Топинамбур	960–1015	610–690	2,89–3,10	0,58–0,63	0,086–0,122
Цикорий	990–1020	640–680	3,40–3,70	0,61–0,65	0,095–0,136

На рисунке 1 показана зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для выбранных видов сыра.

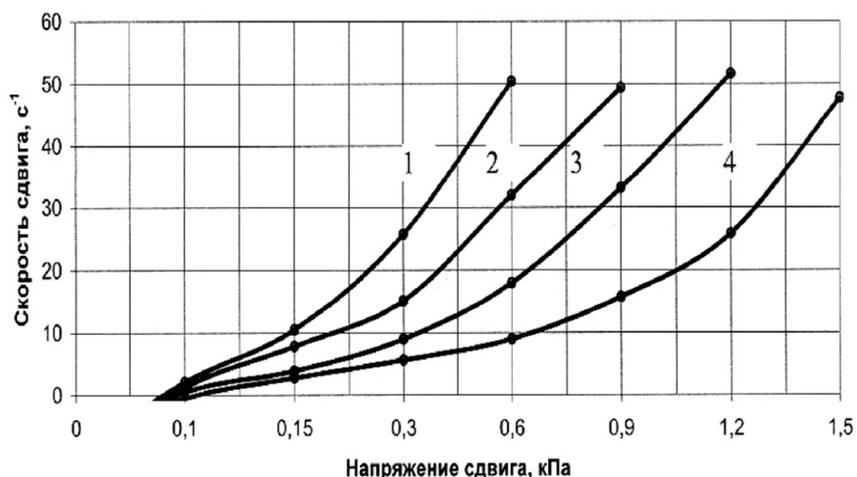


Рисунок 1 – Зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для различного вида сыра: 1 – паста дыни; 2 – паста тыквы; 3 – паста моркови; 4 – паста столовой свеклы

На рисунке 2 показано, как зависит эффективная вязкость от напряжения сдвига для пасты из мякоти тыквы при различной влажности.

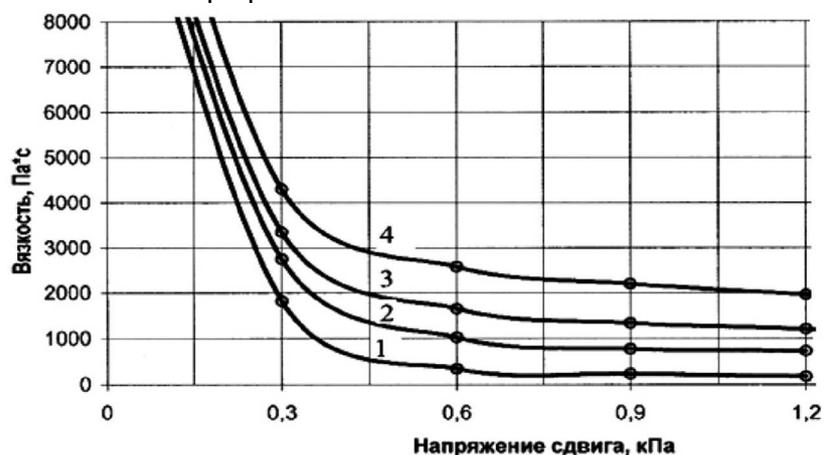


Рисунок 2 – Зависимость эффективной вязкости от напряжения сдвига для тыквенной пасты при различном содержании сухих веществ: 1 – паста 30 % СВ; 2 – паста 40 % СВ; 3 – паста 50 % СВ; 4 – паста 60 % СВ.

Исследование электрофизических свойств плодового и овощного сырья

Известна зависимость величин диэлектрической проницаемости экстрагента с экстрагируемым веществом.

Определение диэлектрической проницаемости плодов и овощей необходимо для последующего установления режимов сушки. Эта величина показывает, во сколько сила взаимодействия свободных зарядов меньше, чем в вакууме. Связь электрической индукции в изотропной среде D с векторами поляризации P , напряженностью электрического поля E , выражается соотношением: $D = \epsilon_0 E + P = \epsilon_0 \epsilon E$, где ϵ_0 – электрическая постоянная.

На величину диэлектрической проницаемости плодов и овощей, как гетерогенных диэлектриков, влияет степень поляризации границ раздела сред и состояние мембран. На рисунке 3 видно различие диэлектрической проницаемости воды и льда.

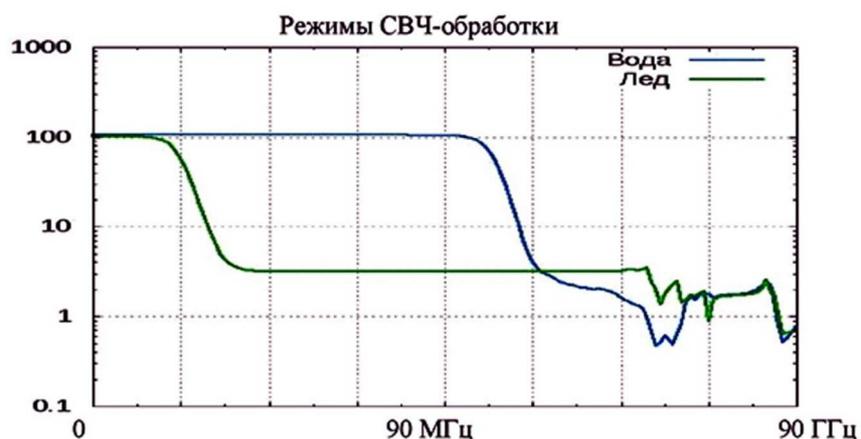


Рисунок 3 – Кинетическая зависимость диэлектрической проницаемости воды и льда от режима СВЧ-обработки

В таблице 3 представлены значения диэлектрической проницаемости влажных плодов и овощей.

Таблица 3 – Значение диэлектрической проницаемости влажных плодов и овощей

Вид исходного сырья	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Удельное сопротивление, Ом мм ² / м
Дыня	7,7–8,2	1014–1015
Морковь	4,5–4,7	1015–1016
Столовая свекла	3,9–4,7	1015–1016
Смородина черная	8,2–8,4	1009–1010
Топинамбур	4,6–4,8	1015–1016
Тыква	7,5–7,7	1014–1015

В таблице 4 представлены значения диэлектрической проницаемости сухих плодов и овощей.

Таблица 4 – Значение диэлектрической проницаемости сухих плодов и овощей

Вид сухого продукта	Частота, температура	Диэлектрическая проницаемость
Дыня	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,3–4,5
Морковь	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,4–4,1
Столовая свекла	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,6–4,0
Смородина черная	10 ⁶ Гц, 20 °С	5,0–6,0
Топинамбур	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,6–4,0
Тыква	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,4–4,0

Как видно из данных таблиц, диэлектрическая проницаемость плодов т овощей зависит от их строения и содержания влаги. Молекулы и более крупные фрагменты тканей поляризуются в электрическом поле. Величину диэлектрической проницаемости можно учитывать для исследования структуры объектов сушки и и установления режимов СВЧ-обработки.

Совершенствование технологии сверхкритической CO₂-сушки

Углекислый газ находит применение в различных отраслях промышленности. Наибольшее применение относится к холодильной отрасли промышленности, где он участвует в качестве холодильного агента в компрессорных установках. Главная особенность CO₂ заключается в том, что он существует в четырех фазовых состояниях.

На рисунке 4 приведена диаграмма состояния фаз диоксида углерода.

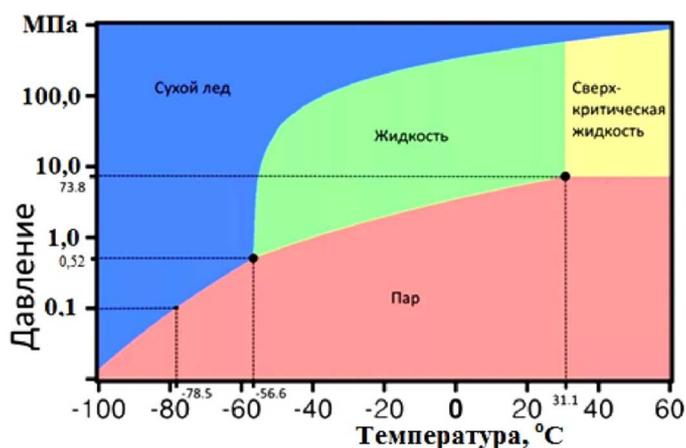


Рисунок 4 – Диаграмма состояния фаз диоксида углерода

Другой особенностью диоксида углерода является его растворимость в воде, которая выше, чем растворимость других газов.

На рисунке 5 показан график растворения диоксида углерода в воде.



Рисунок 5 – График растворения диоксида углерода в воде

Возможность частичного растворения CO₂ в воде используется в технологии изготовления газированных напитков.

На рисунке 6 приведена схема установки для осуществления процесса CO₂-обезвоживания.

Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели (с релаксационным ядром) процесса сушки сырья.

На рисунке 7 представлена кинетика сушки ломтиков дыни, с использованием в качестве сушильного агента диоксида углерода.

Экспериментальные данные характеризуют сырье в виде переходнопористого объекта с общим объемом микропор 4,3 % и переходными порами до 96 %. Для оценки степени равновесия влаги при температуре 0–50 °C выполнено определение зависимости максимума гигроскопического содержания влаги в сырье от температуры.

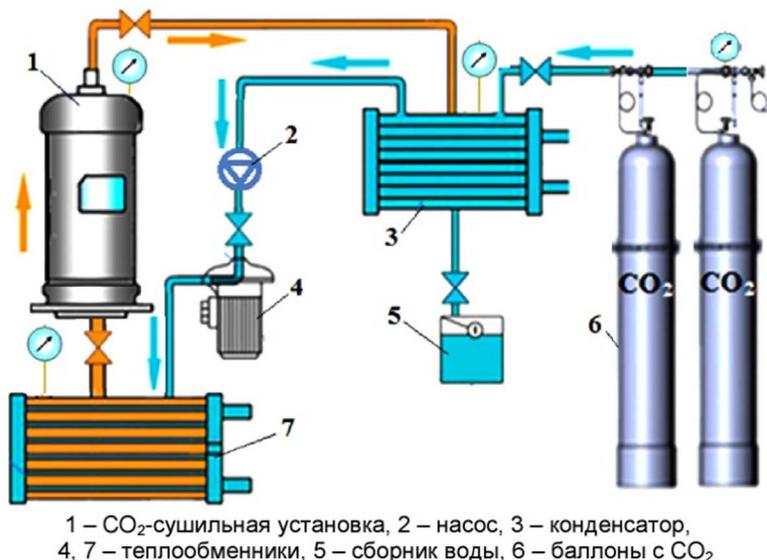


Рисунок 6 – Схема установки для CO₂-обезвоживания плодов и овощей

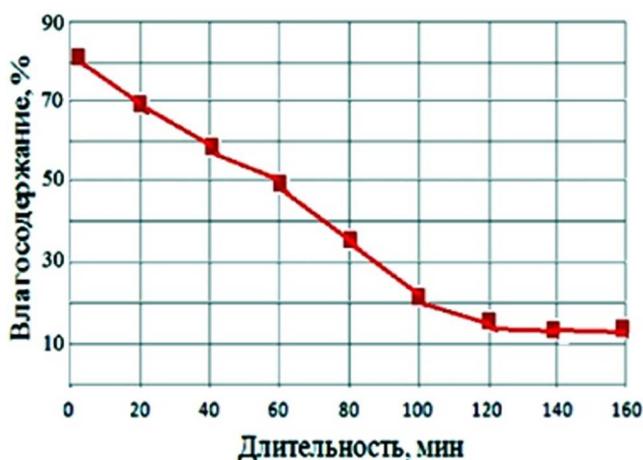


Рисунок 7 – Кинетика одностадийной сушки ломтиков дыни

Таким образом, при выполнении работы исследовали структуру и сорбционно-адсорбционные и теплофизические свойства плодов и овощей, определяли скорость сушки с учётом объема пор и анализом изотерм сорбции-десорбции.

Выводы и предложения. Выполненное исследование посвящено развитию научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Решались задачи по оценке зависимости теплофизических показателей от влажности и температуры сырья; химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы. В работе представлены математические модели процессов, обоснованы современные методы расчета параметров технологических режимов и предложены направления модернизации технологии и оборудования для обезвоживания влажного растительного сырья. Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели процесса сушки выбранных культур, исследованы сорбционно-структурные и теплофизические свойства плодов и овощей, отобранных для сушки на CO₂-сушильной установке. Даны рекомендации промышленности по использованию диоксида углерода в качестве сушильного агента.

Литература

1. Изучение кинетических закономерностей и моделирование тепло- и массопереноса в процессе сушки джекфрута / И.Ю. Алексанян [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 8–22. – URL : <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.212>

2. Пути развития консервной промышленности России / Ю.С. Алешкевич [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 408–417.
3. Комплексная переработка плодов тыквы, выращенных на территории Республики Дагестан / А.М. Гаджиева [и др.] // В сборнике материалов междунаучно-практического конгресса «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения». – Краснодар : КубГТУ, 2020. – С. 341–344.
4. Запорожский А.А., Гладкова М.Г., Голованева Т.В. Задачи пищевой и перерабатывающей промышленности в области геродиетического питания // В сборнике материалов VII междунаучно-практического конгресса «Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности» / Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина, А.А. Вартумяна. – 2020. – С. 131–135.
5. Иночкина Е.В. Преимущества использования диоксида углерода для удаления влаги из сырья // В сборнике материалов междунаучно-практического конгресса «Технологические особенности производства и применения CO₂-экстрактов из растительного сырья». – 2018. – С. 94–97.
6. Технологии пищевых производств / Г.И. Касьянов [и др.] // Сушка сырья. – М. : Издательство Юрайт, Сер. 76 Высшее образование (3-е изд., испр. и доп), 2019. – 113 с.
7. Магомедов А.М., Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю. Особенности конструирования пищевых продуктов специализированного назначения. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2021. 158 с.
8. Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстрагирования на содержание фенолов, флавоноидов и уровень антиоксидантной активности для плодов шиповника (*Rosa L.*), коры дуба (*Quercus robur L.*), корня ревеня (*Rheum officinale*), корня женьшеня (*Panax L.*), почек березы (*Betula L.*) // Химия растительного сырья. – 2020. – № 3. – С. 271–278.
9. Мишкевич Э.Ю., Запорожский А.А., Запорожская С.П. Влияние электромагнитного поля низких частот на активацию симбиотического микробного консорциума // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – № 1 (349). – С. 27–30.
10. Мохаммад А., Касьянов Г.И., Касьянов Д.Г. Анализ антиоксидантных и антимикробных свойств экстрактов лекарственных растений Сирии // В сборнике: Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Пятигорск, 2020. – С. 54–58.
11. Рудобашта С.П. Кинетический расчет массообменных процессов для систем с твердой фазой (сушка и экстрагирование) // Доклады ТСХА. – 2020. – С. 186–190.
12. Рудобашта С.П., Карташов Э.М., Зуева Г.А. Математическое моделирование процесса конвективной сушки материалов с учетом их усадки // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93. – № 6. – С. 1446–1454.
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2015615115. Программа для коррекции ошибок «Конвертер символьного форматированного текста для коррекции ошибок» / Г.И. Касьянов, Е.В. Шейкина, А.С. Бородихин, Е.И. Мьякинникова, Е.В. Иночкина. Заявка № 2015611707, заявлено 13.03.2015, опубликовано 07.05.2015.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2019618109. Программа для прогнозирования биологической ценности продуктов питания для людей умственного труда / В.С. Матвеев, Г.И. Касьянов, О.В. Николаев, Н.С. Колесник, О.В. Косенко. Заявка № 2019616953, заявлено 14.06.2019, опубликовано 26.06.2019.
15. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2019660701. Программа для построения регрессионной модели оценки химико-технологических показателей плодов яблок в процессе хранения / М.Д. Назарько, Г.И. Касьянов, В.Г. Лобанов, Е.В. Иночкина, А.В. Кириченко, И.И. Романец. Заявка № 2019617046, заявлено 14.06.2019, опубликовано 12.08.2019.
16. Силинская С.М., Иночкина Е.В. Технология и экономика переработки семян амаранта // Известия вузов. Пищевая технология. – 2015. – № 5–6 (347–348). – С. 9.
17. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Диоксид углерода как хладагент // В сборнике материалов междунаучно-практического конгресса «Механика, оборудование, материалы и технологии». Редакционная коллегия: Литвинов А.Е., Плоmodityяло Р.Л. – 2019. – С. 396–398.
18. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Особенности получения азота для криозамораживания // В сборнике материалов междунаучно-практического конгресса «Механика, оборудование, материалы и технологии». Редакционная коллегия: Литвинов А.Е., Плоmodityяло Р.Л. – 2019. – С. 392–395.
19. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Y.Z. Mateyev [et al.] // EurAsian Journal of BioSciences. – 2019. – Vol. 13. – № 2. – P. 1875–1880.
20. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the duration of grain roasting / Y.Z. Mateyev [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – Vol. 30. – P. 3–8.

References

1. Study of kinetic laws and modeling of heat and mass transfer in the process of drying jackfruit / I.Yu. Aleksanyan [et al.] // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2020. – № 1. – P. 8–22. – URL : <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.212>
2. Ways of development of canning industry in Russia / Y.S. Alyoshkevich [et al.] // Science. Tekhnika. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 4. – P. 408–417.
3. Complex processing of pumpkin fruits grown in the territory of the Republic of Dagestan / A.M. Gadzhieva [et al.] // In the Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Biotechnological, environmental and economic aspects of safe food specialized purpose». – Krasnodar : KubGTU, 2020. – P. 341–344.
4. Zaporozhsky A.A., Gladkova M.G., Golovavane T.V. Tasks of food and processing industry in the field of gerodietic food // In the collection of materials of VII inter-dun. scientific-practical conference «Modern Advances of Biotechnology. Technique, technology and packaging for the implementation of innovative projects at the enterprises of food and biotechnological industry» / Edited by I.A. Evdokimov, A.D. Lodygin, A.A. Var-tumyan. – 2020. – P. 131–135.
5. Inochkina E.V. Advantages of using carbon dioxide to remove moisture from raw materials // In the collection of materials of the international scientific-practical conference «Technological features of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials». – 2018. – P. 94–97.
6. Technologies of food production / G.I. Kasyanov [et al.] // Raw material drying. – M. : Publishing house Yurait, Ser. 76 Higher education (3rd ed., amended and ext.), 2019. – 113 p.
7. Magomedov A.M., Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu. Features of the design of food products of specialized purposes. – Krasnodar: Publishing House – South, 2021. 158 p.
8. Makarova N.V., Ignatova D.F., Ereemeeva N.B. Influence of extraction technology on the content of phenols, flavonoids and the level of antioxidant activity for the fruits of rose hips (*Rosa L.*), oak bark (*Quercus robur L.*), rhubarb root (*Rheum officinale*), ginseng root (*Panax L.*), birch buds (*Betula L.*) // Chemistry of vegetable raw materials. – 2020. – № 3. – P. 271–278.
9. Mishkevich E.Y., Zaporozhsky A.A., Zaporozhskaya S.P. The influence of low frequency electromagnetic field on the activation of symbiotic microbial consortium // Izvestiya vuzov. Food technology. – 2016. – № 1 (349). – P. 27–30.
10. Mohammad A., Kasyanov G.I., Kasyanov D.G. Analysis of antioxidant and antimicrobial properties of extracts of medicinal plants in Syria // In the collection: Modern Advances in Biotechnology. Technology, technology and packaging for the implementation of innovative projects in the food and biotechnology industry. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference. – Pyatigorsk, 2020. – P. 54–58.
11. Rudobashta SP Kinetic calculation of mass transfer processes for systems with a solid phase (drying and extraction). //Papers of the TSKHA. – 2020. – P. 186–190.
12. Rudobashta S. P., Kartashov E. M., and Zueva G. A. Mathematical Modeling of Convective Drying of Materials Taking into Account Their Shrinkage, Engineering Physical Journal. – 2020. – Vol. 93. – № 6. – P. 1446–1454.
13. Registration Certificate for a Computer Program RU № 2015615115. Error-correcting program «Character-formatted text converter for error correction» / G.I. Kasyanov, E.V. Sheikina, A.S. Borodikhin, E.I. Myakinnikova, E.V. Inochkina. Application № 2015611707, applied for 13.03.2015, published 07.05.2015.
14. Registration certificate for computer program RU № 2019618109. Program for prognostication of biological value of food for people of mental work / V.S. Matveev, G.I. Kasyanov, O.V. Nikolaev, H.S. Kolesnik, O.V. Kosenko. Application № 2019616953, applied 14.06.2019, published 26.06.2019.
15. Registration certificate for computer program RU № 2019660701. Program for regression model evaluation of chemical and technological parameters of apples during storage / M.D. Nazarko, G.I. Kasyanov, V.G. Lobanov, E.V. Inochkina, A.V. Kirichenko, I.I. Romanets. Application № 2019617046, applied 14.06.2019, published 12.08.2019.
16. Silinskaya S.M., Inochkina E.V. Technology and economics of processing of amaranth seeds // Izvestiya vuzov. Food technology. – 2015. – № 5–6 (347–348). – P. 9.
17. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Ghukasyan A.V. Carbon dioxide as a refrigerant // In collection of materials of international scientific and practical conference «Mechanics, equipment, materials and technologies». Editorial Board: Litvinov A.E., Plomodialo R.L. – 2019. – P. 396–398.
18. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Gukasyan A.V. Features of obtaining nitrogen for cryo-freezing // In Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Mechanics, Equipment, Materials and Technologies». Editorial board: Litvinov A.E., Plomodialo R.L. – 2019. – P. 392–395.
19. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Y.Z. Mateyev [et al.] // EurAsian Journal of BioSciences. – 2019. – Vol. 13. – № 2. – P. 1875–1880.
20. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the duration of grain roasting / Y.Z. Mateyev [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – Vol. 30. – P. 3–8.