

Таблиця 1 – експериментальні дані по руйнуванню плодкових кісточок

Плоди кісточкових культур	Сорт	Максимальна деформація, мм			Максимальне зусилля, кг		
		вздовж вісі спайності	бокової сторони кісточки без спайності	вздовж суцільної площини	вздовж вісі спайності	бокової сторони кісточки без спайності	вздовж суцільної площини
Абрикос	«Ранній Марусіча»	0,98	0,93	1,4	90	80	76
Слива	«Чорнослив»	0,89	0,65	0,81	79	80	68
Вишня	«Володимирська»	0,7	0,45	0,65	41	37	40
Персик	«Кремлівський»	1,82	1,73	1,64	98	90	95

На основі отриманих діаграм встановлено, що руйнування кісточок відбувається в три етапи: 1 - пружні деформації; 2 - пластична деформація; 3 - поява тріщин та руйнування.

Характеристики зусиль на стискування дозволяють вирішувати практичні завдання, які пов'язані з промисловою переробкою плодкових кісточок. При цьому треба враховувати, що стандартне відхилення становить 10...20 % від середніх значень вимірних величин. Визначимо, що інструментальні похибки набагато менші за природне розсіювання вимірних параметрів, тому неточністю інструментів можна знехтувати.

Висновки. Одержані експериментальні дані по руйнуванню плодкових кісточок нами використані при проектуванні живильника з строго заданою орієнтацією кісточок перед подрібнювачем, а також розрахунку і проектуванні валкового подрібнювача.

Література

1. Алейникова, А.В. Разработка метода и сушилки для сушки плодовых косточек: Дис. канд. техн. наук/ А.В. Алейникова; Киев, 1988. -134 с.
2. Шодиев, С.С. Интенсификация процесса тепловой обработки косточковых маслосодержащих материалов с использованием нетрадиционных методов подвода энергии: дисс. маг. техн. наук/ С.С. Шодиев; Бухарский технологический институт пищевой и легкой промышленности. – Бухара, 2010. – 81 с.
3. Кольман-Иванов, Э. Э. Машины - автоматы и автоматические линии химических производств [Текст]: учеб. пособие / Э. Э. Кольман-Иванов, Ю. И. Гусев; Московский гос. ун-т инженерной экологии. - Москва: МГУИЭ, 2003. - 496 с.

УДК 66.047.45:634.14

ГИДРОДИНАМИКА ПСЕВДООЖИЖЕНОГО СЛОЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Поперечный А.Н. д-р. техн. наук профессор,

Корнейчук В.Г. канд. техн. наук, доцент, Курьянов К.В. аспирант

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк

В статье обобщены и проанализированы результаты экспериментальных исследований по гидродинамике псевдоожигеного слоя кубиков айвы и плодов барбариса, а также применения поправочного коэффициента для критерия Рейнольдса.

The article summarized and analyzed the results of experimental researches on hydrodynamics pseudoozhizhenom layer cubes quince and fruits barberry, and applying the correction factor for the criterion of Reynolds.

Ключевые слова: Растительное сырье, псевдоожигеный слой, гидродинамика, критерий Рейнольдса.

Важнейшим природным ресурсом для расширения ассортимента пищевых изделий из плодов и ягод является использование дикорастущих плодово-ягодных растений, которые характеризуются большим разнообразием видов; к ним относятся, в частности семечковые – айва, рябина, боярышник, груши, ябло-

ки; косточковые - абрикос, алыча, кизил, терн; ягодные – актиндия, брусника, голубика, ежевика, земляника, калина, клюква, облепиха и другие. Дикорастущее растительное сырье является богатейшим продовольственным резервом Украины; оно обладает высокой пищевой и биологической ценностью, а его переработка предусматривает получение качественного готового продукта в виде паст, порошков, соусов, полуфабрикатов и добавок.

Однако использование дикорастущего сырья, как объектов, содержащих ценные вещества, сопряжено с рядом технологических задач. Накопление компонентов химического состава растений носит сезонный характер. Заготовка их возможна на протяжении непродолжительного периода. В то же время переработка плодов растительного сырья возможна на протяжении всего года. Поэтому первая из проблем - установление рациональных методов и режимов хранения заготовленной биомассы. Следует также добавить, что из-за многогранного химического состава растений сохранение целевых веществ могут быть индивидуальны.

В научной литературе имеются немногочисленные, разрозненные сведения относительно переработки и сохранения дикорастущего сырья. Наиболее популярными методами консервирования растительного сырья считается выдержка и хранение его при температурах ниже нуля, а также сохранение растительного сырья после воздушной сушки. Консервирование плодов сушкой характеризуется удалением влаги до такой степени, при котором многократно сокращается скорость жизнедеятельности микроорганизмов. В настоящее время сушка является одним из самых распространенных способов удаления влаги и увеличения термина срока хранения продуктов. Установлено [1], что содержание биологически активных веществ (БАВ) в сухом растительном сырье, которое сохранялось при обычных условиях в течение нескольких лет, практически не снижается. Одним из перспективных методов конвективной сушки, который получает широкое распространение, - сушка с использованием аэро-, вибро-, и центробежного псевдооживленного слоя.

В научно – технической литературе отсутствуют публикации относительно промышленной переработки плодов дикорастущего сырья, как биологически ценного сырья с многослойной структурой, при максимальном сохранении целевых веществ в конечном продукте.

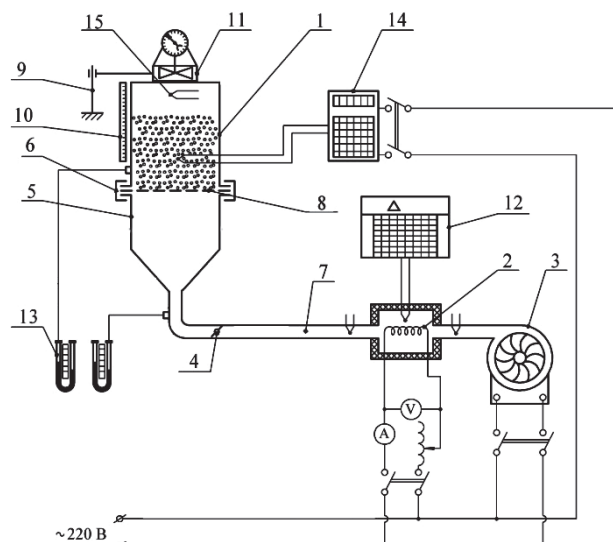
Этому посвящены наши поисковые экспериментальные исследования.

Объектами нашего исследования выбраны дикорастущая айва и барбарис, которые распространены на территории Юго-Востока Украины. Дикорастущая айва богата органическими, аскорбиновыми, оксикоричными кислотами, а также высоким содержанием минеральных веществ. Мякоть плода является общепризнанным сырьем для выработки желирующих веществ, а семена айвы применяют в медицинской практике в виде отваров в качестве обволакивающих средств. Плоды барбариса - продолговатые эллипсоидные ягоды длиной до 12 мм, ярко - красные, приятного освежающего вкуса, созревают в августе- сентябре. В плодах содержится до 5 % сахара, 6 ... 7% яблочной кислоты, витамин С, дубильные и красящие вещества. Плоды, свежие и высушенные, применяются в кондитерской промышленности и ликеро - водочном производстве. Из них можно производить варенье, лимонады, напитки, приправы. В медицине плоды барбариса применяются как кровоостанавливающее средство, а также как средство, которое возбуждает аппетит.

Так как начальное влагосодержание ягод барбариса и плодов айвы составляет около 270%, то целесообразно их сушку осуществлять в псевдооживленном слое. Однако для выбора технологических параметров сушки ягод барбариса и конструктивных параметров сушилки, необходимо знать зависимость гидродинамических характеристик псевдооживленного слоя от этих параметров .

Накопленный в области псевдооживления опыт, в том числе и нами [2,3] , свидетельствует о том, что кроме некоторых общих аэродинамических закономерностей каждый материал имеет свои специфические особенности. В наибольшей степени это касается материалов растительного происхождения. Например, айва нарезанная в форме кубиков, представляет собой высоковлажный термолабильный полидисперсный материал. Наличие поверхностной влаги, полидисперсность и несферичность частиц представляют большие трудности при аналитическом исследовании явлений гидродинамики псевдооживленного слоя на основе имеющихся литературных данных. Ягоды барбариса представляют собой сферичные частицы, но при этом возникают проблемы в связи со склеиваемостью или комкованием группы ягод, во время сушки. 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.

Экспериментальные исследования проведены на лабораторной сушильной установке псевдооживленного слоя, оснащенной необходимой контрольно-измерительной аппаратурой (рис. 1).



1 – сушильная камера; 2 – электрический calorifer;
 3 – вентилятор; 4 – регулирующая заслонка; 5 – цилиндрический патрубков;
 6 – захват; 7 – воздуховод; 8 – газораспределительная решетка; 9 – стойка;
 10 – линейка; 11 – анемометр; 12 – потенциометр ЭПП-0, 9;
 13 – дифференциальный микроманометр;
 14 – потенциометр КСП-4; 15 – термопара.

Рис. 1 – Схема экспериментальной сушильной установки псевдооживленного слоя

На лабораторной установке проведены экспериментальные исследования гидродинамики кипящего слоя плодов айвы, которая измельчалась на кубики с размерами граней 6 мм., и ягод барбариса, предварительно промытых проточной водой. В исследованиях критическую скорость определяли при различной удельной нагрузке на газораспределительную решетку, которая составляла 10 - 45 кг/м², скорость воздушного потока - от 0 до 10 м / с.. Одновременно визуально определяли качество псевдооживления. Отношение диаметра сушильной камеры к максимальному размеру частиц составляло более 10, что исключало влияние пристеночного эффекта.

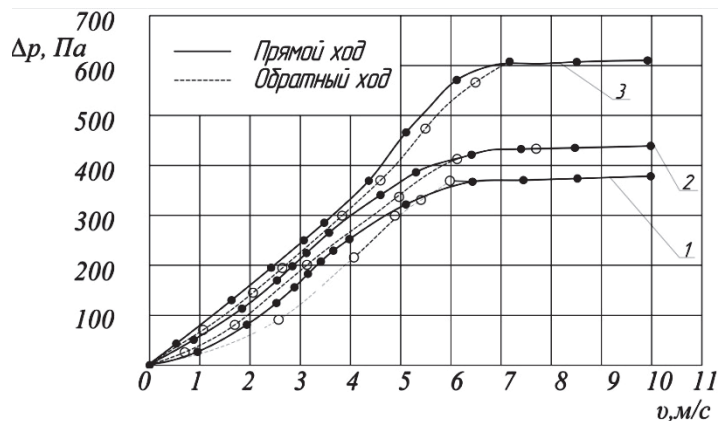
Выбор формы нарезки айвы обоснован следующими соображениями. Установлено [4], что продолжительность сушки кубиков картофеля по сравнению с параллелепипедами одинакового сечения, но разной длины, сокращается на 41,6 %. Причиной этого является увеличение общей поверхности частичек на 19 ... 36% и их характер 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.

Известно [5, 6], что кривые псевдооживления прямого хода плохо воспроизводимы, 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. 2 - 3), характеризующие состояние слоя и по которым определены гидродинамические параметры процесса.

Полученные результаты по определению физических характеристик представлены в таблице 1.

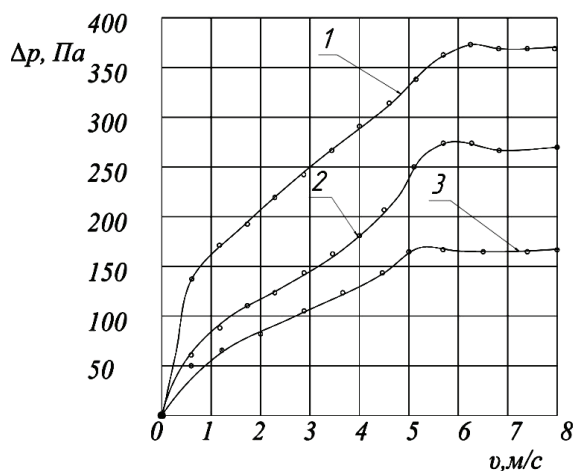
Таблица 1 – Физические характеристики айвы и барбариса

Показатели	Айва	Барбарис
Влагосодержание, %	272	270
Порозность неподвижного слоя	0,432	0,38
Средний диаметр (размер грани), мм	6	8
Физическая плотность кг/м ³	1050	1020
Насыпная плотность	650	630



1 – 11 кг/м²; 2 – 22 кг/м²; 3 – 33 кг/м²; 4 – 44 кг/м².

Рис. 2 – Кривые псевдооживления слоя кубиков айвы при удельных нагрузках



1 – 11 кг/м²; 2 – 22 кг/м²; 3 – 33 кг/м²;

Рис. 3 – Кривые псевдооживления слоя плодов барбариса при удельных нагрузках

По данным гидродинамических исследований были рассчитаны критические скорости псевдооживления для айвы и барбариса, исходя из критерия Рейнольдса:

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} d_{ч}}{\nu}, \tag{1}$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость псевдооживления, м/с;

$d_{ч}$ – приведенный размер чатсиц, м

ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с.

Как определяющий размер в формуле для барбариса был принят диаметр плода. Для кубиков айвы эквивалентный диаметр определялся по общепринятой формуле:

$$d_e = 1,24 \sqrt[3]{V_{ч}} \tag{2}$$

где $V_{ч}$ – объём частички, м³.

Определяющий размер частичек айвы принимался равным диаметру слоя, эквивалентному по поверхности данной частичке:

$$d_{ч} = f^{0,5} d_e, \tag{3}$$

где f – геометрический коэффициент (для образцов кубической формы какого либо размера $f=1,24$ [7].

Исследовалась критериальная зависимость $Re_{кр} = f(Ar)$.
Критерий Архимеда определяется по формуле:

$$Ar = \frac{gd_p^3}{\nu^2} \left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right), \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_p и ρ – соответственно плотность продукта и воздуха, кг/м³.

Для оценки применения известной критериальной зависимости О.М.Тодеса[7] для сферических частиц:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (5)$$

По которой можно определить скорость начала псевдооживления, были поставлены специальные эксперименты по псевдооживлению. Что бы исключить влияние поверхностной влаги на гидродинамику процесса, сначала были проведены эксперименты с воздушно – сухими материалами, которые имеют влагосодержание около 10%. Данные этих экспериментов и представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Оценка применимости уравнения О.М.Тодеса для расчета критической скорости псевдооживления

Показатели	Продукт Айва		Продукт Барбарис	
	Влагосодержание, %	27,2	10	27,0
Определяющий размер, мм	10,9	8,2	10	8,2
Расчетное значение $Ar \cdot 10^{-5}$	500,2	271	258	78,4
Расчетное значение $Re_{кр}$	1160,27	707	1082	761
Показатели	Продукт Айва		Продукт Барбарис	
	Расчетное значение $U_{кр}$ ф, м/с	7,1	6,3	6,8
Экспериментальные значения $U_{кр}$ ф, м/с	5,7	4,9	5,8	5,0
Средняя ошибка, %	58	82	54,3	59
Экспериментальное значение $Re_{кр}$	719	374	700	480
Отношение $Re_{д}/Re_{ф}$	0,62	0,53	0,65	0,63

Критерием оценки степени соответствия расчетной формулы и экспериментальных данных служила величина средней ошибки Δ , которая определялась по формуле:

$$\Delta = \frac{100}{n} \sum \frac{y_{ф} - y_{д}}{y_{д}}, \quad \% \quad (6)$$

где n – количество экспериментальных данных;

$y_{ф}$ – значение параметра, вычисленного по формуле;

$y_{д}$ – исследуемое значение параметра.

Отношение значений критерий Рейнольдса $Re_{крд}$ для образцов айвы кубической формы и ягод барбариса эллипсоидной формы, определенных экспериментальным путем, к значениям критерия Рейнольдса $Re_{крд}$, вычисленных по формуле(1.8) для округлых тел, равняется 0.55...0.65.

Таким образом, для рассмотренных продуктов можно использовать зависимость(5) с поправочным коэффициентом 0.6, то есть

$$Re = \frac{0,6Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (7)$$

Разницу в значениях критерия Рейнольдса, определенных по формуле и экспериментально, можно объяснить тем, что эта формула не учитывает влагосодержание продукта, их склонность к адгезии и когезии, а также удельную нагрузку на газораспределительную решетку.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для определения критической скорости псевдооживления, можно использовать известную зависимость между критериями Рейнольдса и Архимеда с поправочным коэффициентом 0,6.

Дальнейшие исследования переработки дикорастущего сырья, с использованием сушки в псевдооживленном слое, необходимо провести с целью определения рациональных параметров проведения процесса с обязательным учетом сохранения исходных биологически активных веществ продукта.

Литература

1. Комарова Н.А. Влияние методов обработки дикорастущих и культивируемых ягод Сибири на физико-химические показатели и выход сока /Н.А. Комарова, С.С. Павлов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – N12/ - С. 63-65.
2. Гаврилов В.Я. Влияние температуры теплоносителя на кинетику сушки семян подсолнечника/ В.Я.Гаврилов, Л.М.Гуськов, А.М.Поперечный//Торговля и рынок Украины: темат. сб. науч. раб. по проблемам торговли и общественного питания. – Донецк: ДДКИ, 1994. – С. 158 – 159.
3. Поперечный А.Н. Сушка пищевого сырья в псевдооживленном слое: монография/ А.М. Поперечный, Н.М. Варварина, И.В.Жданов. – Донецк: ДонНУЭТ, 2012. – 303с.
4. Филоненко Г.К. Сушка пищевых растительных материалов: учеб. пособие для технолог. специальностей вузов. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 439с.
5. Гельперин Н.И. Основы техники псевдооживления: учебник. – М.: Химия. 1967. – 664с.
6. Забродский С.С. Высокотемпературные установки с псевдооживленным слоем: учебник. – М.: Энергия. 1971. – 328с.
7. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов/ А.С.Гинзбург. – М.: Пищевая пром-сть, 1973. – 528с.

УДК 664.8.047:635.8

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ СУШІННЯ ГРИБІВ ГЛИВИ

**Малежик І.Ф., д-р техн. наук, професор, Дубковецький І.В., канд. техн. наук, доцент,
Бурлака Т.В., аспірант, Стрельченко Л.В., магістрант
Національний університет харчових технологій, м. Київ**

Найбільш ефективним методом консервування харчових продуктів на сьогодні є сушіння. В той же час цей метод є і найдорожчим. Тому головним завданням процесу сушіння є добитися найвищої якості при мінімальних затратах електроенергії. Для зневоднення культивованих грибів з енергетичної точки зору найбільш доцільним є сушіння інфрачервоним випромінюванням, але даний метод не набув значного поширення через явище термодифузії. В статті наведені дослідження кінетики сушіння гливи інфрачервоним, конвективним і комбінованим способами.

The most effective method of food preservation today is dry. However, this method is also the most expensive. Therefore, the main objective of the drying process is to achieve the highest quality at a minimum cost of electricity. For dehydrated cultivated mushrooms from the energy point of view, the most appropriate drying by infrared radiation, but this method has not acquired a significant spread through thermal diffusion phenomenon. The article presents the study of the kinetics of drying oyster infrared, convection and combination methods.

Ключові слова: сушіння, гриби, комбінований метод, опромінення, енергозатрати, інфрачервоне сушіння.

Як відомо, при конвективному висушуванні носієм теплоти є повітря. Нами запропоновано комбінувати два способи підведення теплоти при сушінні – терморадіаційний і конвективний, що дозволить зменшити відносну вологість повітря і збільшити рушійну силу процесу в порівнянні з інфрачервоним сушінням.