

УДК 664.8.047

СНЕЖКИН Ю.Ф., ШАПАРЬ Р.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

За результатами експериментальних досліджень встановлено оптимальні параметри сушильного агента та розроблено ступінчасті режими зневоднення, які гарантують високий ступінь збереження пектинових та біологічних речовин.

В результате экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры сушильного агента и разработаны ступенчатые режимы обезвоживания, гарантирующие высокую степень сохранности пектиновых и биологически активных веществ.

On the basis of experimental study results we determined the optimal parameters of the drying agent and developed the stage-wise dehydration and providing high degree of conservation of pectin and bioactive substances.

d – влагосодержание теплоносителя;
 g – удельная нагрузка материала;
 t – температура теплоносителя;
 V – скорость теплоносителя;

W – влажность материала;
 $dW/d\tau$ – скорость сушки;
 τ – время.

Введение

Все растительные материалы можно разделить на группы по определенным доминирующим признакам, которые определяют выбор параметров ведения процесса сушки. К примеру, для таких сельскохозяйственных культур, как: яблоки, айва, столовая свекла, тыква – характерно высокое содержание пектиновых веществ. Поэтому процесс сушки таких материалов должен проходить при определенных тепловлажностных режимах, которые максимально сохраняют пектиновые вещества, повышают их желирующие способности и обеспечивают экономичность процесса.

С этой целью был проведен комплекс экспериментальных исследований, по результатам которых были оптимизированы параметры конвективной сушки пектиносодержащих материалов и разработана технология их переработки на сушеную продукцию. Результаты исследований, их графическая обработка приведены на примере яблок и столовой свеклы.

Результаты экспериментальных исследований

По химической природе пектиновые вещества представляют собой высокомолекулярные про-

изводные углеводов, которые существуют в растительном сырье в виде нерастворимого в воде протопектина и растворимого пектина [1]. При производстве сушеных продуктов из растительного сырья обязательным условием его переработки является гигротермическая обработка. В случае переработки пектиносодержащих материалов гигротермическая обработка паренхимных тканей является вдвойне обоснованной и необходимой для гидролиза нерастворимого пектина и, как следствие, повышения желирующей способности сушеных продуктов. Одновременно в процессе гигротермической обработки увеличивается клеточная проницаемость и интенсифицируется процесс удаления влаги. Такая обработка способствует лучшей сохранности сушеных пектиносодержащих продуктов за счет уменьшения их гигроскопичности и инактивации ферментной системы.

Оптимальный режим гигротермической обработки определяется структурно-механическими и физико-механическими характеристиками сырья. От длительности выбранного способа обработки зависят качество и пищевая ценность готового продукта, потери сухих (в т.ч. и пектиновых) веществ, расход энергии. Экспериментально ус-

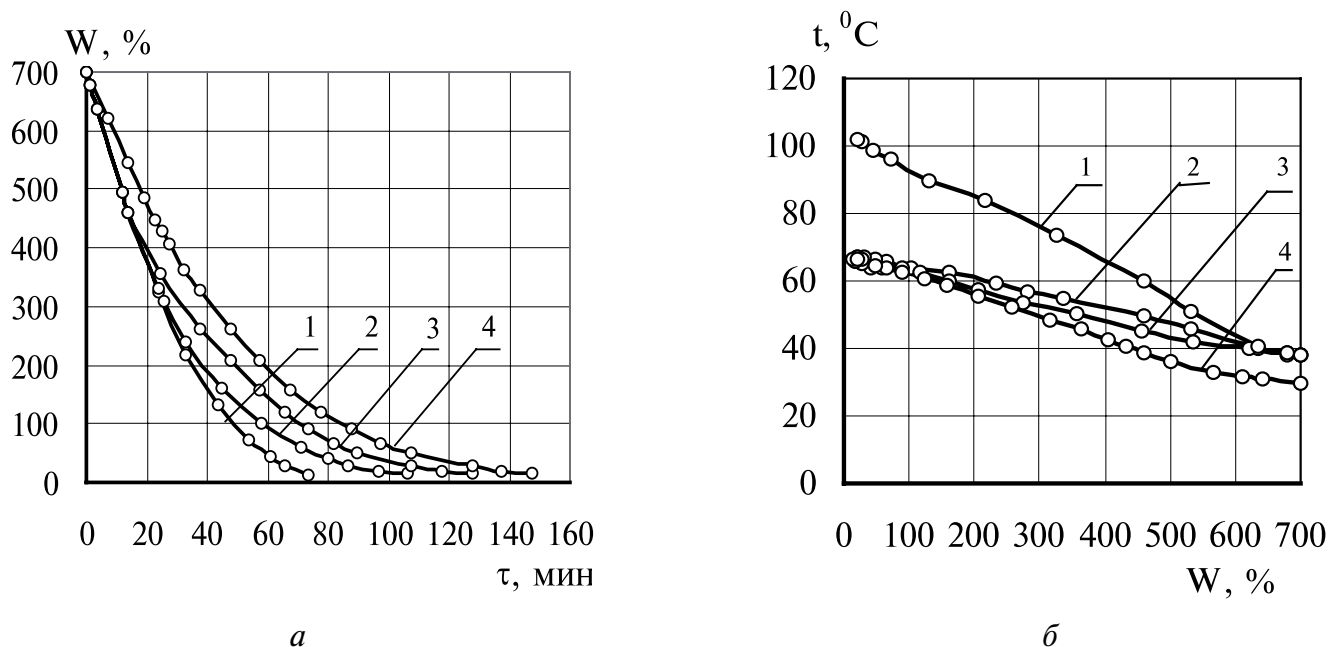


Рис. 1. Ступенчатый режим сушки столовой свеклы в обдуваемом слое:
а) кривые сушки $W = f(t)$; б) температурные кривые $t = f(W)$;
 $V = 1 \text{ м/с}$; $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха; $g = 6,3 \text{ кг/м}^2$;
1 – 120 °С; 2 – 120...100...80 °С; 3 – 120...80 °С; 4 – 80 °С.

тановлено, что необходимый эффект обработки достигается при температуре материала 80...88 °С с выдержкой, например, для яблок – 10...100 с, айвы – 30... 120 с, столовой свеклы – 60 ...300 с.

Результаты экспериментальных исследований показали, что повышенное содержание пектиновых веществ, обладающих способностью связывать и удерживать влагу, затрудняет процесс сушки и лимитирует температуру материала в процессе сушки. Получить продукт высокого качества с высокой степенью сохранности пектиновых и других биологически активных веществ возможно при условии, что температура материала в процессе сушки не превышает своего критического значения [2,3]. Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований показали, что такое условие достигается при ведении процесса сушки с переменными параметрами сушильного агента, что подтверждается данными, приведенными на рис. 1. Как видим (рис. 1б), на начальном этапе поддерживается температура теплоносителя 120 °С до достижения обезвоживаемым материалом влажности 400...370 % (рис. 1а), затем снижается до 80 °С. Температура материала (рис. 1 б) не превышает

предельно-допустимой величины, благодаря этому максимально сохраняются пектиновые вещества, сокращается длительность процесса и уменьшаются затраты на сушку. Расчеты показывают, что ведение процесса сушки по ступенчатым режимам способствует сокращению удельных энергозатрат на 1 кг испаренной влаги на 12...15 %.

На рис. 2 приведены кривые кинетики сушки $W = f(\tau)$ и скорости сушки $dW/d\tau = f(W)$ при обезвоживании пектиносодержащих материалов в режиме высоковлажного высокотемпературного теплоносителя, когда на первой стадии процесса температуру теплоносителя поддерживают равной 120 °С, его влагосодержание – 100 г/кг сухого воздуха в течение 40 мин. с дальнейшим снижением температуры до 80 °С и влагосодержания до 10 г/кг сухого воздуха (кривая 2). Обезвоживание в таком режиме приводит к сокращению длительности процесса до 20 % в сравнении с обезвоживанием при температуре теплоносителя 80 °С. К тому же, при обезвоживании исследуемых материалов в указанном режиме создаются благоприятные условия для гидролиза протопектина в растворимую форму. Два этапа технологи-

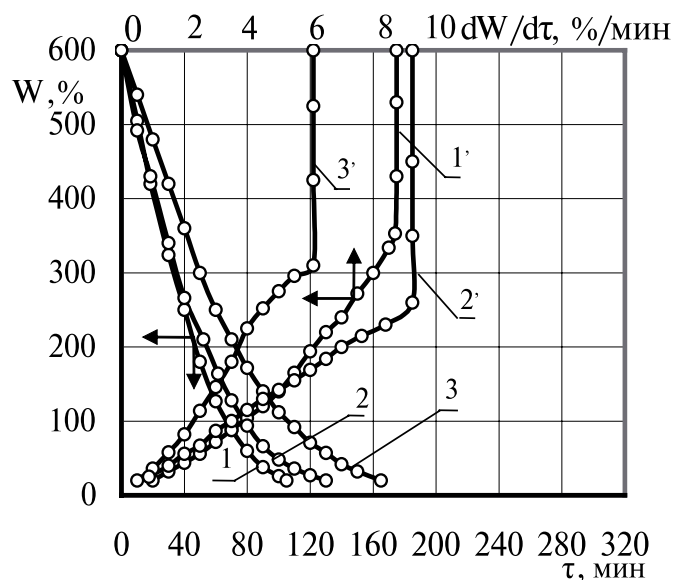


Рис. 2. Влияние температуры и влагосодержания теплоносителя на процесс сушки яблок

$$g = 36 \text{ кг/м}^2; V = 1 \text{ м/с};$$

$$1, 1' - t = 120^\circ \text{C}; 3, 3' - t = 80^\circ \text{C};$$

$$d = 10 \text{ г/кг сухого воздуха}; 2, 2' - t = 120 \dots 80^\circ \text{C};$$

$$d = 100 \dots 10 \text{ г/кг сухого воздуха}.$$

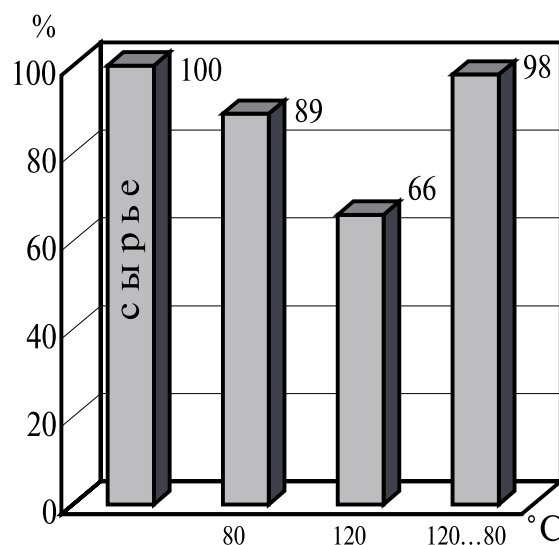


Рис. 3. Влияние режима обезвоживания на степень сохранности пектиновых веществ.

ческой переработки: гигротермическая обработка и сушка объединены в один процесс. Происходит увеличение растворимого пектина с 35 до 60 %, в результате чего желирующая способность пектиносодержащих порошков увеличивается на 25...30 %. Максимальная степень сохранности пектиновых веществ 98 % (рис. 3) достигается при использовании ступенчатых режимов обезвоживания.

Химический состав, как один из критериев оценки качества конечного продукта, показывает, что полученные по разработанным режимам сушеные продукты характеризуются высоким содержанием пектиновых веществ: в яблочных продуктах они составляют — 7,0...12,0 %, свекольных — 6,0...10,0 %. Для сравнения, например, в жидком пектиновом экстракте содержание пектиновых веществ составляет 0,5...3,5 %, в пектиновом концентрате — 2,5...3,5 % [4].

На основе результатов экспериментальных исследований разработана и внедрена технология переработки пектиносодержащих растительных материалов на сушеные продукты, которая реализуется на разработанных сушильных установ-

ках ленточного и туннельного типа. Конструктивные особенности обеих сушильных установок позволяют интенсифицировать процесс обезвоживания пектиносодержащих материалов, реализовать разработанные режимы сушки.

Выводы

На основе результатов экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры сушильного агента и разработаны ступенчатые режимы обезвоживания пектиносодержащих растительных материалов, приводящие к сокращению длительности процесса до 20 %, экономии энергоносителей до 15 %, гарантирующие высокую степень сохранности пектиновых и других биологически активных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пектин*. Производство и применение / Н.С. Карпович, Л.В. Донченко, В.В. Нелина и др. / под ред. Н.С. Карповича. — К.: Урожай, 1989. — 88 с.
2. *Снежкин Ю.Ф.* Создание и перспективы развития ресурсосберегающих технологий производства пищевых порошков на Украине / 1-я межд. научн.-практ. конф. "Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и

термовлажностная обработка материалов). Труды конф. – т. 3, М.: – 2002. – С. 49 – 53.

3. Патент Украины, № 68312 МКІ7 А23 В 7/02, F26 В3/06 Спосіб одержання пектиновмісного порошку з рослинної сировини/ Ю.Ф. Снежкін, О.О. Хавін, Р.О. Шапар, Л.А. Боряк. Заявл.16.12.2003, опубл. 15.07.2004, Б. № 7.

4. Крапивницкая И.А., Воинова С.Н. Важное направление в современной консервной промышленности // Продукты питания. – 2004. – № 2. – С. 28.

Получено 09.11.2005 г.

УДК 532.516:536.24

НИКИТЕНКО Н.И., СНЕЖКИН Ю.Ф., СОРОКОВАЯ Н.Н.

Институт технической теплофизики НАН Украины

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СЛОЯ ДИСПЕРГИРОВАННОГО КОЛЛОИДНОГО КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Наведено математичну модель та чисельний метод розрахунку динаміки і кінетики зневоднення шару диспергованого колоїдного капілярно-пористого матеріалу. Отримано формули для об'ємної інтенсивності випаровування рідини з врахуванням об'єму та площі зовнішньої поверхні гранул диспергованого пористого тіла. Розглянуто режим сушіння термолабільних матеріалів, що дозволяє звести до мінімуму час сушіння і скоротити енерговитрати без погіршення якості готового продукту. Наведено результати зіставлення розрахункових та експериментальних даних.

Представлена математическая модель и сеточный метод расчета динамики и кинетики обезвоживания слоя диспергированного коллоидного капиллярно-пористого материала. Получены формулы для объемной интенсивности испарения жидкости с учетом объема и площади внешней поверхности гранул диспергированного пористого тела. Рассмотрен режим сушки термолабильных материалов, который позволяет свести к минимуму время сушки и сократить энергозатраты, не ухудшая качества готового продукта. Приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

The mathematical model and numerical method of calculation of dynamics and kinetics of dewatering of a layer of a dispersed colloid capillary – porous material are stated. The formulas for volumetric intensity of evaporation of a liquid in view of volume and the area of an external surface of granules of dispersed a porous body are received. The mode of drying of thermolabile materials which allows to reduce time of drying to a minimum and to reduce electric power inputs not worsening quality of a ready product is considered. The results of comparison settlement and experimental data are resulted.

A – энергия активации;
 c – удельная изобарная теплоемкость;
 d – влагосодержание;
 D – коэффициент диффузии;
 f – коэффициент конденсации;
 $F(r)$ – дифференциальная функция распределения пор по размерам;
 h – постоянная Планка.
 h_k, l – размеры шагов разностной сетки по пространственной координате x_k ($k = 1, 2, 3$) и времени;

H – толщина;
 I_w – мощность источников субстанции;
 J_w – плотность потока субстанции;
 k – постоянная Больцмана;
 L – удельная теплота фазового перехода жидкости в пар;
 m, n – порядковые номера шагов разностной сетки по пространственной координате и времени;
 n – плотность частиц;
 N_A – число Авогадро;
 P – давление;