Национальный университет
пищевых технологий, 01601, Украина,
г. Киев, ул. Владимирская, 68.
Тел. (044) 287-93-33,
e-mail: info@nuft.edu.ua

SUMMARY

V.V. Kornienko, L.N. Melnik, V.M. Taran

APPARATUS DESIGN FOR THE DEHYDRATION PROCESS OF THE OF FERMENTATION MIXTURE DISTILLATE BY MORDENITE TO OBTAIN FUEL ETHANOL

The authors analyzed the scientific literature on the existing methods of dehydration of water-alcohol solutions with a view to their future use as fuel ethanol, and presented examples of requirements for the bioethanol composition of the world standards. The paper demonstrates using dehydrated ethanol as a gasoline additive to the advantage of the environment. For the first time the distillate of fermentation mixture as a source of dehydrated ethanol is proposed. The authors studied the process of dehydrating distillate of fermentation mixture by natural mineral zeolite – mordenite, and proposed a two-stage method of absorbing water from the vapor by adsorbent. The paper demonstrates that major groups of impurities in alcohol are absorbed by mordenite in parallel with water sorption.The authors designed the apparatus technological scheme of the stepwise dehydration of the fermentation mixture distillate, which allows to obtain not only ethyl alcohol with concentration of 99.8 % wt (weight percents), but also industrial alcohol of «B» category. In the paper the authors described principles of the plant operation and proposed methods for regenerating mordenite when producing fuel ethanol and industrial alcohol of «B» category. The paper also makes assumption of probability to use other zeolites for absorbing water from water-alcohol solutions.

Fuel, stepwise dehydration, water-alcohol solutions, mordenite, the distillate of fermentation mixture.

References

1. Akumov N.I., Judaev V.F. *Ispol'zovanie spirtobenzinovoj smesi v kachestve motornogo topliva* [The use of alcohol-gasoline mixture as motor fuel]. *Manufacture of alcohol liqueur and vodka products*, 2004, no.4, p. 31.
2. Lavrov E. *Toplivo budushhego* [Fuel of the Future]. *Food and processing industry*, 2004, no.12, pp.4-6.
3. Larchenko K.A., Morgun B.V. *Biojetanol kak al'ternativnyj vozobnovljaemyj istochnik jenergii* [Bioethanol as an alternative renewable energy source]. *Biotechnology journal*, 1, no.4, pp. 18-28.
4. Cygankov S.P. *Biojetanol* [Bioethanol]. Kiev, 2010.160 p.
5.Mank, V.V. *Obezvozhivanie vodno-spirtovyh rastvorov ceolitami* [Dehydration of water-alcohol solutions by zeolites].*Ukrainian Chemistry Journal*, 2004, 70, no.12, pp. 91-94.
6. Kornienko V.V., Melnik L.M., Taran V.M. *Ustanovka dlja proizvodstva spirta jetilovogo tehnicheskogo i toplivnogo jetanola* [Plant for the production of industrial alcohol and fuel ethanol]. Patent UA, no. 77814, 2013.

National University of Food Technologies,
68, Volodymyrska St., Kyiv-01601, Ukraine.
Tel. (044) 287-93-33, e-mail: info@nuft.edu.ua

Дата поступления: 07.07.2014

УДК 634.738:66.047.2

И.А. Короткий, А.Н. Расщепкин, Д.Е. Федоров, О.Н. Буянов

РАСЧЕТ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ОБЛЕПИХИ В ФЛЮИДИЗАЦИОННОМ СЛОЕ

Конвективная сушка в флюидизационном слое является перспективным методом консервирования плодово-ягодного сырья в продукты длительного хранения. Эффективность данного технологического процесса зависит от многих параметров, одним из которых является скорость движения воздуха для обеспечения флюидизации. Данная работа направлена на определение допустимых скоростей движения воздуха в процессе конвективной сушки облепихи. Объектом исследования служили следующие сорта облепихи: «Маслич-

ная», «Дар Катуни», «Чуйская», «Золотой Початок», «Пантелеевская». Расчетным путем определены критические скорости движения воздуха для свежей ягоды при различной температуре. Установлено, что для облепихи скорость начала флюидизации составляет от 1,66 до 2 м/с, а скорость, при которой возможен унос продукта, – 15,1÷18,1 м/с для различных сортов в диапазоне температур от 50 до 80 °С. Экспериментально установлено изменение размера ягод облепихи в процессе конвективной сушки. Определены зависимости критических скоростей движения воздуха в процессе обезвоживания при температурах воздуха от 50 до 80 °С. По результатам исследований установлено, что в процессе конвективной сушки облепихи критические скорости движения воздуха снижаются в среднем на 17÷28 % от первоначального значения. На основании проведенных исследований рекомендован допустимый диапазон скоростей движения воздуха при конвективной сушке облепихи. В общем случае гарантированные значения скоростей воздуха, при которых будет наблюдаться флюидизация без уноса продукта в температурном диапазоне от 50 до 80 °С, составляет 3÷8 м/с для всех исследованных сортов облепихи.

Конвективная сушка, критические скорости, флюидизация, облепиха.

Введение

Для организации здорового питания населения большое значение приобретает вовлечение в пищевое производство местных природных ресурсов, особенно дикорастущих ягод, которые являются богатым источником биологически активных веществ: витаминов, минеральных веществ, органических кислот, азотистых веществ и т.д. Роль физиологического влияния употребляемых в пищу ягод трудно переоценить. Дикорастущее сырье всегда являлось важной составляющей рациона питания населения нашей страны. Ввиду неблагоприятной экологической обстановки в ряде регионов России вопрос об использовании дикорастущих ягод как источника биологически ценного сырья приобретает особое значение [1].

Широкие перспективы показывает использование такого представителя ягодной культуры, как облепиха. Данный вид ягоды является ценным природным источником пектинов, каротиноидов, биофлавоноидов и многих витаминов (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав ягод облепихи [2]

Показатель	Знач.	Показатель	Знач.
Сухие вещества, %	14,1	Каротин, мг%	7,8
Сумма сахаров, %	4,48	Масло, мг%	3,4÷8,2
Манноза, %	4,25	Азот, мг%	312,8
Сахароза, %	0,7	Витамин Е, мг%	3,8÷17,7
Пектиновые вещества, %	0,39	Витамин B_1, мг%	0,1
Витамин С, мг%	40÷123	Витамин B_2, мг%	0,05
Биофлавоноиды, %	75÷100	Витамин B_6, мг%	Следы
Флавонолы, мг%	313÷365	Витамин РР, мг%	0,12÷1,67
Катехины, мг%	36,7÷151	Витамин К, мг%	1,5
Лейкоантоцианы, мг%	143÷380	Витамин D, мг%	Следы

Облепиха является поливитаминным продуктом. По количественному и качественному составу биологически активных веществ облепиха превосходит многие ягодные культуры [3–6]. В облепихе наряду с черной смородиной содержится наибольшее количество витамина С среди всех дикорастущих плодов и ягод Сибирского региона.

Специфика климатических условий северных регионов нашей страны ограничивает возможность употребления свежих плодов и ягод круглый год. Для повышения сроков хранения плодово-ягодной продукции используют широкий спектр различных технологий, одной из которых является конвективная сушка [7]. Данный способ обезвоживания заключается в удалении влаги из продукта путем его омывания сушильным агентом, в качестве которого используется нагретый воздух или парогазовая смесь. В конвективных сушильных установках широко используются тепловые насосы компрессионного типа, которые характеризуются достаточно высоким коэффициентом преобразования теплоты, составляющим от 1,2 до 4,5 в зависимости от температуры кипения хладагента. Поэтому применение таких тепловых насосов в конвективной сушке дает возможность сократить энергопотребление по сравнению с традиционными системами [8, 9].

При разработке технологических режимов конвективной сушки плодов и ягод в первую очередь необходимо обращать внимание на качество обезвоженного продукта. Параметры сушки должны подбираться таким образом, чтобы обеспечить максимальную степень сохранности термолабильных компонентов дикорастущего сырья. При конвективной сушке для более равномерного прогрева и удаления влаги из продукта используют сушку в подвешенном слое (флюидизацию). При этом скорость движения воздуха должна соответствовать значениям, при которых имеет место флюидизация, но отсутствует унос продукта из камеры, то есть находится в диапазоне критических скоростей. Данные значения зависят от многих параметров и расчитываются индивидуально для каждого продукта.

Таким образом, данная работа посвящена определению допустимых скоростей движения воздуха при флюидизации в процессе конвективной сушки облепихи.

Объект и методы исследования

Объектом исследований служили такие сорта облепихи, как «Масличная», «Дар Катуни», «Чуй-

ская», «Золотой початок», «Пантелеевская», с содержанием влаги соответственно 88,0; 87,3; 87,9; 82,8 и 87,5 %. Объемные и массовые характеристики ягод облепихи представлены в табл. 2.

Таблица 2

Объемные и массовые характеристики ягод облепихи [10]

Сорт	Масса единичного продукта, г	Плотность продукта, кг/м^3	Диаметр единичного продукта, мм
Чуйская	0,6	943	10÷12
Дар Катуни	0,6	957	9÷12
Масличная	0,4	932	9÷11
Золотой початок	0,7	960	11
Пантелеевская	0,8	968	10÷15

Для определения критических скоростей движения воздуха использовалась методика, представленная в работе [10].

Первая критическая скорость движения воздуха $w'_{кр}$, характеризующая начало флюидизации, определялась по формуле

$$w'_{кр} = \frac{\nu_в}{d_{экв}} \cdot \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1)$$

где $\nu_в$ – кинематическая вязкость воздуха, м^2/с; $d_{экв}$ – диаметр сферической части продукта.

Диаметр сферической части продукта рассчитывался как среднее арифметическое значение наибольших и наименьших диаметров ягоды.

Число Архимеда рассчитывалось по формуле

$$Ar = \frac{g \cdot d_{экв}^{\ 3} \cdot (\rho_{пр} - \rho_в)}{\nu_в^2 \cdot \rho_в}, \quad (2)$$

где g=9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения; $\rho_{пр}$, $\rho_в$ – плотность соответственно продукта и воздуха.

Вторая критическая скорость движения воздуха $w''_{кр}$, характеризующая скорость, при которой возможен унос продукта, определялась по формуле

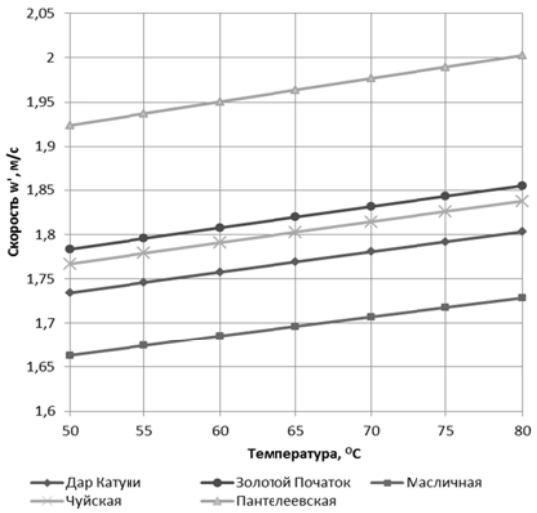
$$w''_{кр} = \frac{\nu_в}{d_{экв}} \cdot \frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}} \quad (3)$$

Изменение размера ягод определяли путем макросъемки 10 образцов ягоды с последующей компьютерной обработкой изображения и сравнения с контрольными образцами. Конечное значение определялось как среднее арифметическое из данной серии образцов.

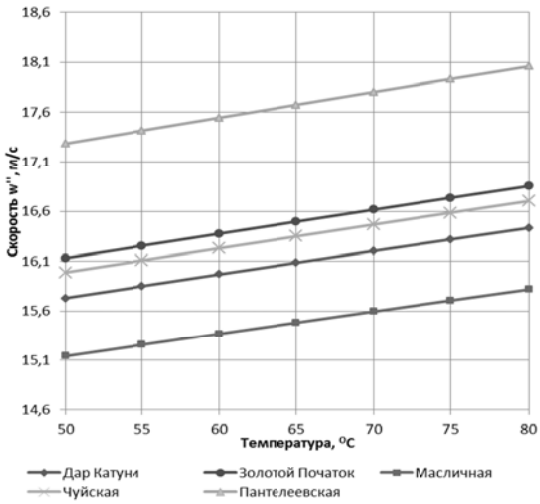
Данные результатов исследований обрабатывались в программе MS Excel.

Результаты и их обсуждение

По формулам (1)–(3) были рассчитаны критические скорости движения воздуха для свежей ягоды облепихи при различной температуре, результаты представлены в виде графиков на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Критические скорости движения воздуха для свежей облепихи:
а – скорость начала флюидизации;
б – скорость, при которой возможен унос продукта

При повышении температуры воздуха наблюдается линейное увеличение критических скоростей движения воздуха. Это обусловлено тем фактом, что с ростом температуры снижается плотность воздуха и, соответственно, число Архимеда также уменьшается. Установлено, что в диапазоне температур воздуха от 50 до 80 °С скорость движения воздуха, при которой начинается процесс флюидизации, составляет от 1,66 до 2,0 м/с для различных сортов облепихи (рис. 1а). Скорость движения воздуха, при которой может происходить унос ягоды, составляет от 15,1 до 18,1 м/с (рис. 1б). Существенное влияние на критическую скорость оказывает размер ягоды: наиболее высокие значения критических скоростей наблюдались для облепихи сорта «Пантелеевская», которая характеризуется наибольшим диаметром из всех исследуемых сортов.

В процессе конвективной сушки происходит значительная усадка продукта и изменение плотности, что в свою очередь также влияет на критические скорости воздуха. Для учета данных факторов были проведены эксперименты по конвективной сушке облепихи при температурах воздуха 50, 60, 70 и 80 °С. Сушку проводили до содержания влаги в продукте 5–7 %. Продолжительность обезвоживания облепихи при этом составляла 14, 10, 7 и 5 часов при температуре воздуха 50, 60, 70 и 80 °С соответственно. Скорость движения воздуха была установлена в 6 м/с. В ходе сушки каждый час фиксировалось изменение диаметра ягоды и ее плотности. На рис. 2 представлен относительный размер ягоды в данный момент времени сушки к начальному значению при температуре воздуха 50 °С.

Обнаружено, что в процессе конвективной сушки при температуре воздуха 50 °С наибольшая скорость изменения параметров ягоды приходится на первые 3 часа сушки, после чего скорость изменения параметров уменьшается на протяжении всего дальнейшего процесса обезвоживания. Характер кривых, представленных на рис. 2, зависит от исходного влагосодержания, размера и плотности продукта. Сорт «Золотой початок» из всех исследуемых сортов характеризовался наименьшим влагосодержанием, поэтому через 10 часов скорость изменения размера данной ягоды значительно снизилась вследствие завершения процесса сушки. Через 14 часов конвективной сушки размер ягоды составил от 57,5 (сорт «Пантелеевская») до 68,9 % (сорт «Золотой початок») от исходного размера.

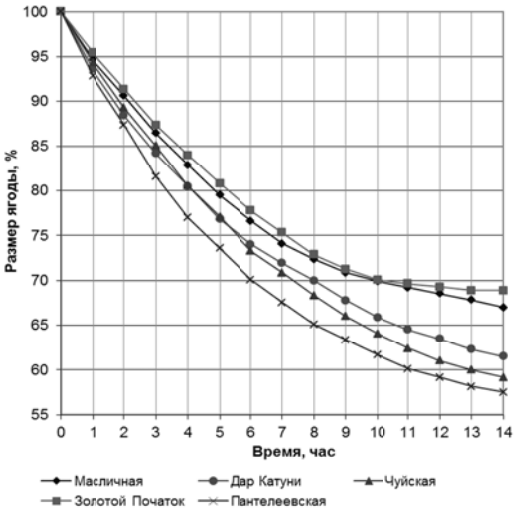
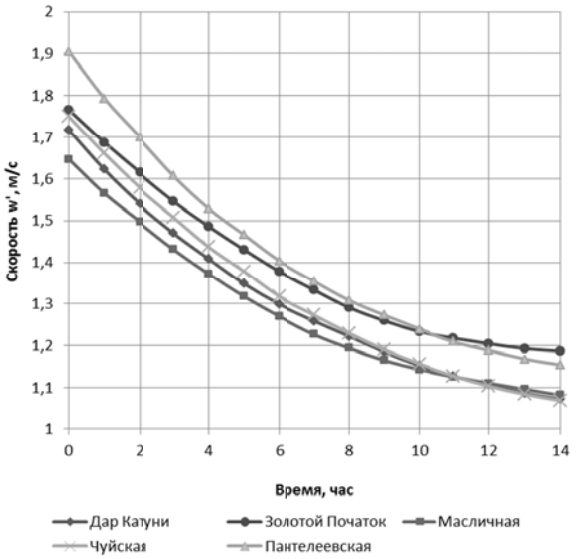
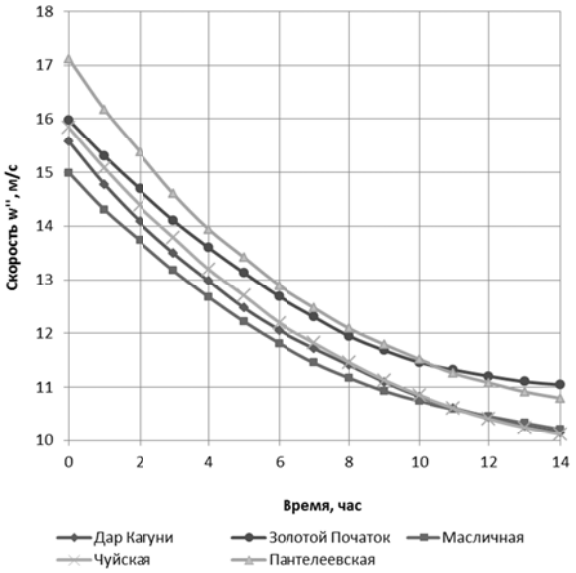


Рис. 2. Изменение размера ягоды в процессе конвективной сушки облепихи при температуре воздуха 50 °С

Плотность ягоды в процессе конвективной сушки снижалась на 30÷35 % от первоначального значения. По полученным данным были рассчитаны критические скорости движения воздуха в процессе конвективной сушки. На рис. 3 представлены критические скорости при конвективной сушке облепихи с температурой воздуха 50 °С.



а

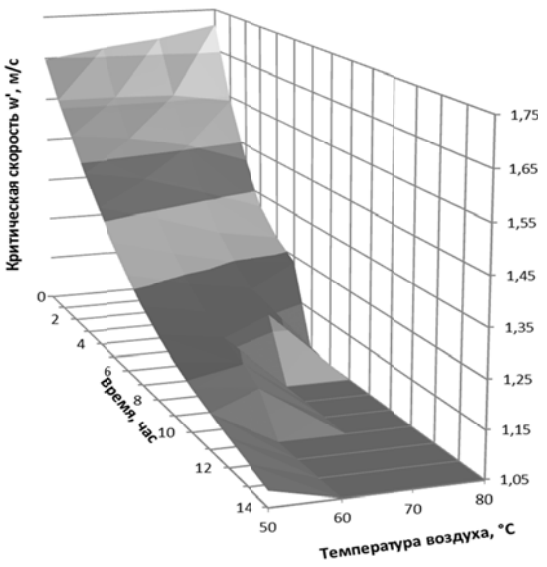


б

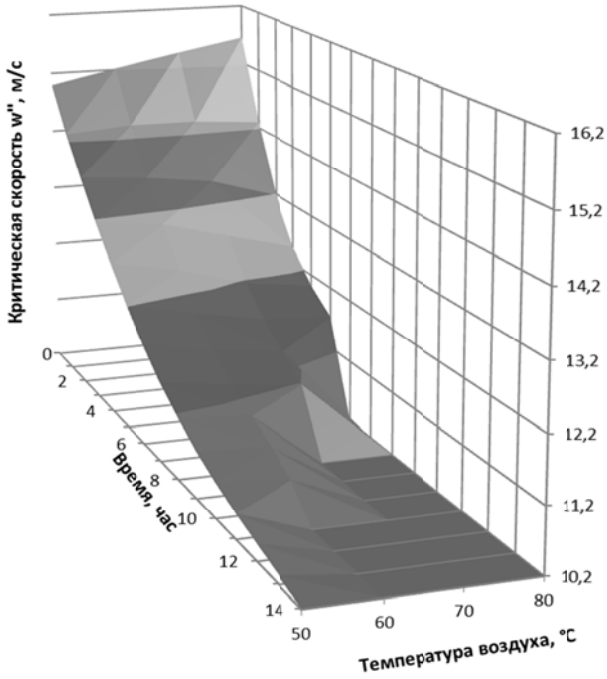
Рис. 3. Критические скорости движения воздуха в процессе конвективной сушки облепихи при температуре 50 °С:
а – скорость начала флюидизации; б – скорость, при которой возможен унос продукта

В процессе конвективной сушки с температурой воздуха 50 °С критическая скорость начала флюидизации через 14 часов снижается в среднем на 32÷40 % от первоначального значения. Критическая скорость, при которой возможен унос продукта, через 14 часов сушки снижается на 30÷37 % для различных сортов облепихи. Падение критических скоростей по мере обезвоживания пропорционально объемной усадке и изменению плотности продукта.

Аналогичным образом были рассчитаны критические скорости воздуха при остальных температурах воздуха. На рис. 4 представлены поверхности зависимости критических скоростей от температуры воздуха и продолжительности конвективной сушки облепихи сорта «Масличная».



а



б

Рис. 4. Зависимость критических скоростей движения воздуха от температуры и продолжительности конвективной сушки облепихи сорта «Масличная»:
а – скорость начала флюидизации;
б – скорость, при которой возможен унос продукта

При сушке с большей температурой воздуха характер изменения критических скоростей в процессе обезвоживания имеет более резкий характер. Для облепихи сорта «Масличная» к концу процесса сушки первая и вторая критические скорости снижаются до 1,08÷1,23 и 10,2÷11,7 м/с соответственно в зависимости от температуры воздуха.

Подобным образом были также рассчитаны зависимости критических скоростей от температуры и времени сушки для других сортов ягод облепихи. В табл. 3 приведены данные по изменению критических скоростей на протяжении всего процесса сушки при различных температурах воздуха для остальных сортов облепихи. Поскольку данные по температуре воздуха 50 °С уже были приведены (рис. 3), в данную таблицу они не включались.

Таблица 3

Изменение критических скоростей воздуха в процессе конвективной сушки ягод облепихи

Сорт	Температура воздуха, °С		
	60	70	80
Первая критическая скорость w', м/с			
Чуйская	1,79÷1,08	1,81÷1,09	1,84÷1,10
Дар Катуни	1,76÷1,08	1,78÷1,09	1,8÷1,11
Золотой початок	1,81÷1,20	1,83÷1,22	1,85÷1,23
Пантелеевская	1,95÷1,17	1,98÷1,18	2,0÷1,20
Вторая критическая скорость w'', м/с			
Чуйская	16,22÷10,27	16,46÷10,42	16,7÷10,56
Дар Катуни	15,97÷10,3	16,2÷10,45	16,43÷10,60
Золотой початок	16,37÷11,21	16,61÷11,37	16,85÷11,53
Пантелеевская	17,54÷10,95	17,8÷11,11	18,05÷11,27

Для сортов облепихи «Чуйская», «Дар Катуни», «Золотой початок» и «Пантелеевская» снижение первой и второй критических скоростей к концу процесса сушки составляет соответственно 32,8÷39,7 и 30,9÷37,0 % от первоначального значения.

Для выбора конкретной скорости движения воздуха при флюидизации необходимо придерживаться определенного запаса, поскольку в реальных условиях имеют место различные технологические факторы, в том числе определенные отклонения в размере ягод от среднего значения. Поэтому, исходя из результатов исследований, рекомендованы следующие допустимые диапазоны скоростей движения воздуха при конвективной сушке облепихи всех исследованных сортов: при температуре воздуха 50 °С в течение первых 6 часов – от 2,1 до 10,0 м/с, в течение последующего периода сушки – от 1,6 до 8,5 м/с; при температуре воздуха 60 °С в течение первых 4 часов – от 2,1 до 10,2 м/с, в течение последующего периода сушки – от 1,6 до 8,7 м/с; при температуре воздуха 70 °С в течение первых 3 часов – от 2,2 до 10,1 м/с, в течение последующего периода сушки – от 1,6 до 8,8 м/с; при температуре воздуха 80 °С в течение первых 2 часов – от 2,2 до 10,5 м/с, в течение последующего периода сушки – от 1,6 до 8,9 м/с.

Таким образом, в результате проведенной работы были установлены допустимые значения скоростей движения воздуха при конвективной сушке облепихи в флюидизационном слое. В общем слу-

чае гарантированные значения скоростей воздуха, при которых будет наблюдаться флюидизация без уноса продукта в температурном диапазоне от 50 до 80 °С, составляют 3÷8 м/с для всех исследованных сортов облепихи. Полученные результаты исследований могут использоваться при разработке соответствующих технологий обезвоживания данного вида ягодного сырья.

Список литературы

1. Федоров, Д.Е. Концентраты сибирских ягод – источник энергии в условиях современного антропогенного развития человечества / Д.Е. Федоров, Г.А. Масленникова // Экологические проблемы природных и антропогенных территорий. – Чебоксары, 2010. – С. 165–166.

2. Царегородцева, С.Р. Разработка и исследование технологии производства кисломолочных десертов с продуктами переработки облепихи и черной смородины: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Царегородцева Светлана Ростиславна. – Кемерово, 1999. – 150 с.

3. Юнусова, Ф.М. Влияние экологических факторов на биохимический состав масла из плодов облепихи / Ф.М. Юнусова, А.Ш. Рамазанов, К.М. Юнусов // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2007. – № 4. – С. 66–69.

4. Царёва, Е.А. Изучение физико-химических свойств облепихи Красноярского края / Е.А. Царёва // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 5. – С. 236–241.

5. Короткая, Е.В. Исследование физико-химических показателей свежих и замороженных плодов облепихи / Е.В. Короткая, И.А. Короткий // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008. – № 1. – С. 116–117.

6. Короткий, И.А. Теплофизические характеристики ягод облепихи / И.А. Короткий // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 2. – С. 287–290.

7. Rahman, Sh. (Ed.) Handbook of Food Preservation / edited by M. Shafiur Rahman // CRC Press. – L.; N. Y., 2007. – 1088 p.

8. Снежкин, Ю.Ф. Обезвоживание коллоидных капиллярнопористых материалов в условиях высоковлажной окружающей среды / Ю.Ф. Снежкин, Д.М. Чалаев, Н.А. Дабижа // Труды V Минского международного форума по тепломассообмену. – Минск: ГНУ «ИТМО им. Лыкова» НАНБ, 2004. – 11 с.

9. Strommen, I. Optimum design and enhanced performance of heat pump dryers / I. Strommen, T.M. Eikevik, O. Alves-Filho // Proceedings of First Asian-Australian Drying Conference (ADC'99). – Bali, Indonesia, 1999.

10. Короткий, И.А. Исследование и разработка технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодово-ягодного сырья Сибирского региона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Короткий Игорь Алексеевич. – Кемерово, 2009. – 410 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

I.A. Korotkiy, A.N. Raschepkin, D.E. Fedorov, O.N. Buyanov

CALCULATION OF AIR SPEEDS AT CONVECTION DRYING OF SEA-BUCKTHORN IN FLUIDIZED LAYER

Convective drying in the fluidized layer is a promising method for canning of fruit raw materials into long-keeping products. The efficiency of this process depends on several parameters, one of which is air speed necessary for fluidization. This research aims at determining the allowable air speed in convection drying of sea buckthorn. The objects of the researches are the following sea-buckthorn varieties: «Olive», «Gift of Katun», «Chuyskaya», «the Gold Ear», «Panteleevskaya». Critical air speeds for fresh berry at various temperatures have been calculated. It is established that for sea-buckthorn the speed at the beginning of fluidization is 1,66– 2 m/s, and the speed at which ablation of a product is possible is 15,1÷18,1 m/s for different varieties at 50 – 80 °C. The change of the berry size in the course of convection drying is experimentally established. Dependences of critical air speeds during dehydration at air temperatures of 50–80 °Care defined. By research results, it is established that during convection drying of sea-buckthorn critical air speeds decrease on the average by 17÷28 % of initial value. Based on the conducted researches, the admissible range of air speeds during convection drying of sea-buckthornis recommended. Generally, guaranteed values of air speeds at which fluidization without product ablation at 50 – 80 °C will be observed are 3÷8 m/s for all studied sea-buckthorn varieties.

Convection drying, critical speeds, fluidization, sea-buckthorn.

References

1. Fedorov D.E., Maslennikova G.A. *Kontsentraty sibirskikh yagod – istochnik ehnergii v usloviyakh sovremennogo antropogennogo razvitiya chelovechestva* [Concentrates of the Siberian berries – a power source in the conditions of modern anthropogenous development of humanity].*Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «EHkologicheskie problemy prirodnykh i antropogennykh territorij»* [Materials of the Interuniversity scientific and practical conference «Environmental problems of natural and anthropogenic areas»], 2010, pp. 165-166.

2. TSaregorodtseva S.R. *Razrabotka i issledovanie tekhnologii proizvodstva kislomolochnykh desertov s produktami pererabotki oblepikhi i chernoj smorodiny*. Diss. kand. tekh. nauk [Development and research of the production technology of sour-milk desserts with products of processing of a sea-buckthorn and black currant: Cand. tech. sci. diss.]. Kemerovo, 1999. 150 p.

3. Yunusova F.M., Ramazanov A.Sh., Yunusov K.M. *Vliyanie ehkologicheskikh faktorov na biokhimicheskij sostav masla iz plodov oblepikhi* [Influence of ecological factors on biochemical composition of oil from sea-buckthorn fruits]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007, no. 4, pp. 66-69.

4. TSaryova E.A. *Izuchenie fiziko-khimicheskikh svojstv oblepikhi krasnoyarskogo kraya* [Study of physico-chemical properties of sea buckthorn Krasnoyarsk region]. *Vestnik KrasGAU*, 2007, no. 5, pp. 236-241.

5. Korotkaja E.V., Korotkij I.A. *Issledovanie fiziko-himicheskih pokazatelej svezhih i zamorozhennyh plodov oblepihi* [Research of physical and chemical indicators of the fresh and frozen fruits of a sea-buckthorn]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija*, 2008, no. 1, pp. 116-117.

6. Korotkij I.A. *Teplofizicheskie harakteristiki jagod oblepihi* [Heatphysical characteristics of berries of a sea-buckthorn]. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 2, pp. 287-290.

7. Rahman Sh. (Ed.) Handbook of Food Preservation / Edited by M. Shafiur Rahman // CRC Press, London, New York, 2007. – 1088 p.

8. Snezhkin YU.F. *Obezvozhivanie kolloidnykh kapillyarnoporistykh materialov v usloviyakh vysokovlazhnoj okruzhayushhej sredy* [Dehydration colloidal the kapillyarnoporistykh of materials in the conditions of high-damp environment]. *Trudy V Minskogo mezhdunarodnogo foruma po teplomassoobmenu* [Proc. of the V Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer], 2004, pp. 11.

9. Strommen I., Eikevik T.M., Alves-Filho O. Optimum design and enhanced performance of heat pump dryers // Proceedings of First Asian-Australian Drying Conference (ADC'99). Bali, Indonesia, 1999.

10. Korotkiy I.A. *Issledovanie i razrabotka tekhnologij zamorazhivaniya i nizkotemperaturnogo khraneniya plodovo-yagodnogo syr'ya Sibirskogo regiona*. Diss. dokt. tekh. nauk [Research and development of technologies of freezing and low-temperature storage of fruit and berry raw materials of the Siberian region. Dr. tech. sci. diss.]. Kemerovo, 2009, 410 p.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7 (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 21.05.2014

УДК 579.8

В.А. Марьин, Д.В. Харитонов

ЛИНЕЙНЫЙ РОСТ И ПАССИВАЦИЯ АКТИВНЫХ КЛЕТОК РАСТУЩЕЙ КУЛЬТУРЫ МИКРООРГАНИЗМОВ

Линейный рост микроорганизмов недостаточно изучен микробиологами. Основным характерным признаком линейного роста принято считать постоянство (неизменность) скорости роста культуры на протяжении нескольких часов. Такая характеристика линейного роста является однобокой, недостаточной и неточной, её необходимо пересмотреть. Цель публикации – дать объективную детальную и всестороннюю характеристику линейного роста микроорганизмов. В результате теоретических и экспериментальных исследований нами установлено, что режим линейного роста – это естественный, а не аномальный режим роста микроорганизмов; рост микроорганизмов в период лаг-фазы протекает в режиме линейного роста; скорость линейного роста культуры ступенчато изменяется в процессе культивирования; после ступенчатого (скачком) изменения скорости роста до нового неизменного уровня она снова остаётся неизменной в границах новой ступени до очередного ступенчатого изменения скорости роста; продолжительность каждой следующей ступени линейного роста (с новой постоянной скоростью роста), как правило, короче, чем предыдущей, и может составлять несколько минут, а не часов. Кроме этого, установлено, что режим линейного роста реально является режимом ступенчатого роста, линейным (с неизменной скоростью роста) рост культуры остаётся только в границах каждой отдельной ступени роста. Теоретически обоснован механизм роста и пассивации активных клеток культуры, растущей в режиме линейного роста, а также новый механизм активации пассивных клеток этой же культуры. Предложен новый способ определения концентрации активных (растущих) клеток лактобактерий в культуральной среде по скорости кислотообразования культуры. Впервые определены концентрации активных и пассивных (покоящихся) клеток *Lac. lactis* в культуральной среде на всех стадиях культивирования.

Фаза линейного роста, лактобактерии, активные и пассивные клетки, скорость кислотообразования.