

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ

УДК 634.738:66.047.2

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

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ФЛЮИДИЗАЦИИ ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

В данной работе проводятся исследования по определению допустимых скоростей движения воздуха при флюидизации в процессе конвективной сушки различных сортов ягод черной смородины.

**Ключевые слова:** черная смородина, флюидизация, конвективная сушка.

I.A. Korotkiy, A.N. Rastschepkin, D.E. Fedorov

### THE DETERMINATION OF FLUIDIZATION MODES IN THE CONVECTIVE DRYING OF BLACK CURRENT

The research on the determination of the admissible air movement rates in the fluidization in the course of the convective drying of the black currant berry various sorts is conducted.

**Key words:** black currant, fluidization, convective drying.

**Введение.** Ценность дикорастущих плодов и ягод определяется их пищевыми, вкусовыми, ароматическими и целебными свойствами [1]. В состав дикорастущего сырья входят такие полезные компоненты, как белки, витамины, незаменимые аминокислоты, ферменты, минеральные элементы и другие вещества, необходимые для здорового функционирования организма человека. Особое значение потребление данных продуктов приобретает в регионах с неблагоприятными экологическими условиями [2].

Черная смородина является одной из наиболее полезных ягодных культур, поскольку в ней содержится большое количество пектиновых веществ, органических кислот, сахаров и микроэлементов [3–5]. Кроме существенного содержания аскорбиновой кислоты, в состав черной смородины также входят витамины K, D, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>, Р-активные вещества и т.д.

Несмотря на высокую биологическую ценность, ягоды характеризуются высоким влагосодержанием, что обуславливает необходимость в разработке эффективных технологий их переработки в продукты длительного хранения. Особенно это касается северных регионов, где ввиду особых климатических условий отсутствует возможность потребления свежих плодов и ягод круглый год. При этом в первую очередь необходимо стремиться к максимальному сохранению термолабильных компонентов данного вида сырья в процессе консервирования. Поэтому большое внимание уделяется исследованию характера изменений в ходе консервирования и определению технологических режимов обработки дикорастущего сырья [6].

Одной из традиционных и перспективных технологий является конвективная сушка, которая широко используется в различных отраслях пищевой промышленности. Принцип конвективной сушки основан на омыании продукта сушильным агентом, в качестве которого, как правило, используется нагретый воздух. Для интенсификации процесса конвективной сушки используют обезвоживание в подвешенном слое (флюидизацию). При этом одним из важных параметров является скорость движения воздуха, которая должна подбираться таким образом, чтобы обеспечить флюидизацию и исключить унос продукта.

Таким образом, целью настоящей работы является определение критических скоростей флюидизации при конвективной сушке ягод черной смородины.

В качестве **объекта исследования** была выбрана ягода черной смородины следующих сортов: Память Лисавенко, Сеянец голубки, Память Шукшина, Черный жемчуг, Краса Алтая и Пушистая.

Для расчета критических скоростей необходимы данные о свойствах продукта, которые представлены в таблице 1 [7].

Таблица 1

## Массовые и объемные характеристики ягод черной смородины

Сорт	Масса единично-го продукта, г	Плотность продукта, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр единичного продукта, мм
Память Лисавенко	1,4	1067	741	13÷14
Сеянец голубки	1,1	1082	751	12÷13
Память Шукшина (Олимпийская)	0,9	1070	743	11÷12
Черный жемчуг	1,7	1075	746	14÷15
Краса Алтая	1,1	1059	735	12÷13
Пушистая	0,8	1063	738	11÷12

Расчет критических скоростей проводился по методике, представленной в работе [8].

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

$$w'_{kp} = \frac{\nu_e}{d_{\text{сф}}^2} \times \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1)$$

где  $\nu_e$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  
 $d_{\text{сф}}$  – диаметр сферической части продукта.

Число Архимеда определялось по формуле

$$Ar = \frac{g \cdot d_{\text{сф}}^3 \cdot (\rho_{np} - \rho_e)}{\nu_e^2 \cdot \rho_e}, \quad (2)$$

где  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  
 $\rho_{np}$ ,  $\rho_e$  – плотность продукта и воздуха соответственно.

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

$$w''_{kp} = \frac{\nu_e}{d_{\text{сф}}^2} \times \frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}}. \quad (3)$$

Результаты расчетов критических скоростей для свежей смородины в диапазоне температур воздуха от 45 до 90°C представлены на рисунке 1.

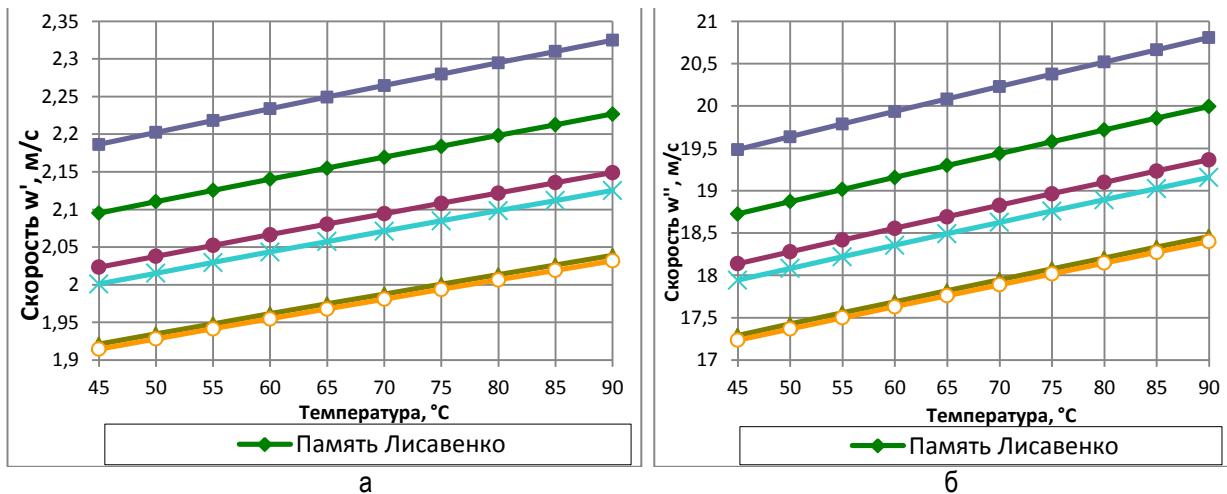


Рис. 1. Критические скорости движения воздуха при флюидизации свежей ягоды черной смородины:  
 а – скорость начала флюидизации; б – скорость, при которой возможен унос продукта

Таким образом, критические скорости начала флюидизации в зависимости от температуры и сорта ягоды черной смородины находятся в диапазоне от 1,9 до 2,3 м/с. Скорость воздуха, при которой возможен унос продукта, составил от 17,2 до 20,8 м/с в диапазоне температур от 45 до 90°C. С повышением плотности продукта и его размера, а также с повышением температуры воздуха критические скорости также увеличиваются.

Применительно к конвективной сушке черной смородины вышеуказанные показатели справедливы лишь в начале процесса обезвоживания. По мере сушки происходит значительная усадка продукта и изменение плотности, что в свою очередь также влияет на критические скорости движения воздуха. Для учета этого были проведены эксперименты по конвективной сушке черной смородины при температуре воздуха 60°C в течение 16 часов во флюидизационном слое. Данная температура была выбрана исходя из требований по сохранности биологически активных веществ. При таком режиме сухая ягода характеризуется содержанием влаги от 4 до 7 % в зависимости от сорта.

На рисунке 2 представлено изменение линейного размера продукта в процессе конвективной сушки, которое рассчитывалось как процентное соотношение диаметра ягоды в данный момент времени к начальному значению.

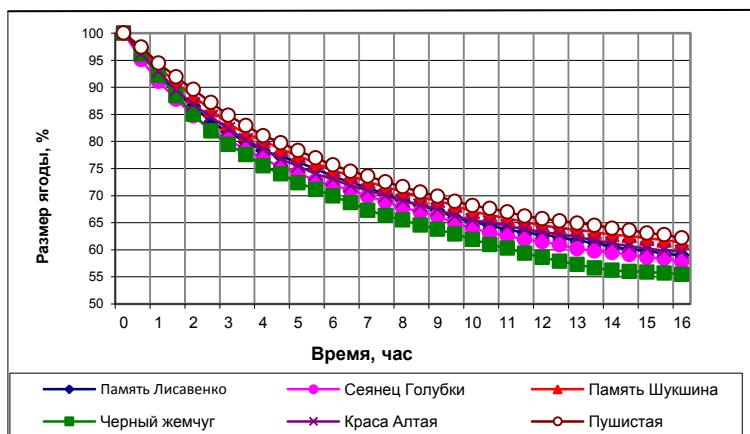


Рис. 2. Изменение линейного размера ягод черной смородины в процессе конвективной сушки

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что наибольшая скорость изменения размера ягод черной смородины приходится на первые 3 часа, после чего скорость объемной усадки снижается. Через 16 часов обезвоживания линейный размер ягод составил от 55 до 62 % от первоначального значения в зависимости от сорта. Наибольшее изменение размера (55% от первоначального размера) наблюдалось для сорта Черный жемчуг. Плотность ягоды на протяжении всего процесса обезвоживания снижалась в среднем на 25÷30 %. По полученным данным была рассчитана критическая скорость ягод в процессе конвективной сушки при температуре воздуха 60°C. Результаты представлены на рисунке 3.

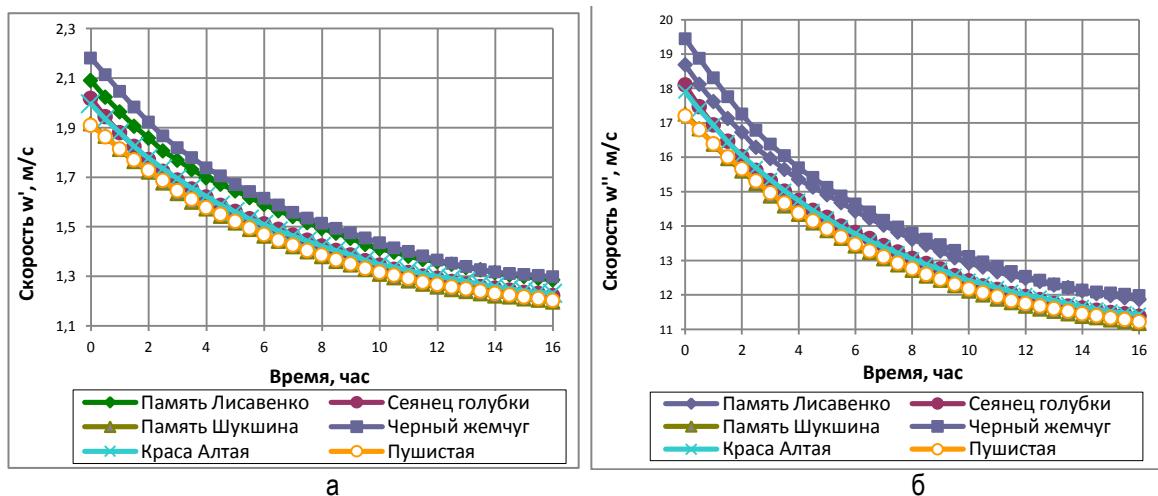


Рис. 3. Критические скорости движения воздуха при флюидизации ягоды черной смородины в процессе конвективной сушки при температуре 60°C: а – скорость начала флюидизации; б – скорость, при которой возможен унос продукта

Изменение критических скоростей движения воздуха пропорционально объемной усадке и изменению плотности. Из полученных результатов следует, что в процессе конвективной сушки черной смородины скорость движения воздуха, соответствующая началу флюидизации, снижается от 1,9÷2,2 до 1,2÷1,3 м/с (рис. 3,а). Для второй критической скорости через 16 часов сушки это значение снижается от 17,3÷19,6 до 11,2÷12,0 м/с (рис. 3,б) для различных сортов. Было обнаружено сходство значений критических скоростей между сортами Пушистая и Память Шукшина, а также между сортами Краса Алтая и Сеянец голубки, что обусловлено схожим размером самих ягод.

Графики критических скоростей, представленные на рисунке 3, можно описать уравнениями, представленными в таблице 2.

Полученные уравнения показывают высокую достоверность аппроксимации – от 0,995 до 0,998.

Таблица 2

**Уравнения регрессии критических скоростей при конвективной сушке черной смородины  
при температуре 60°C**

Сорт	Уравнение	R <sup>2</sup>
Скорость начала флюидизации w', м/с		
Черный жемчуг	$w' = 0,0034\tau^2 - 0,1063\tau + 2,135$	0,995
Память Лисавенко	$w' = 0,0029\tau^2 - 0,093\tau + 2,046$	0,996
Краса Алтая, Сеянец голубки	$w' = 0,003\tau^2 - 0,0913\tau + 1,956$	0,996
Память Шукшина, Пушистая	$w' = 0,0027\tau^2 - 0,085\tau + 1,89$	0,998
Скорость, при которой возможен унос продукта w'', м/с		
Черный жемчуг	$w'' = 0,0294\tau^2 - 0,902\tau + 19,06$	0,995
Память Лисавенко	$w'' = 0,025\tau^2 - 0,794\tau + 18,32$	0,996
Краса Алтая, Сеянец голубки	$w'' = 0,0251\tau^2 - 0,775\tau + 17,59$	0,996
Память Шукшина, Пушистая	$w'' = 0,023\tau^2 - 0,721\tau + 17,03$	0,998

Примечание.  $\tau$  – время от начала процесса сушки, час;  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

При выборе скоростей движения воздуха необходимо придерживаться определенного резерва, поскольку в реальных условиях имеют место множество технологических факторов, включая отклонения в размере ягод от среднего значения. Поэтому при конвективной сушке черной смородины при температуре 60°C скорость движения воздуха в течение первых 7 часов рекомендуется принимать от 2,4 до 11 м/с. На протяжении оставшегося периода сушки скорость движения воздуха должна составлять от 1,9 до 9 м/с. В случае, когда скорость движения воздуха должна поддерживаться неизменной на протяжении всего процесса сушки, можно рекомендовать диапазон скоростей от 3 до 9 м/с. Данные значения обеспечивают явление флюидизации при отсутствии уноса продукта из камеры.

Обобщая результаты исследований можно сделать вывод о том, что при конвективной сушке черной смородины в флюидационном слое скорость движения воздуха должна составлять от 3 до 9 м/с. При возможности ступенчатого регулирования скорости движения воздуха эта величину можно варьировать в пределах 2,4÷11 м/с в течение первых 7 часов и 1,9÷9 м/с в течение последующего периода сушки.

### Литература

1. Боряев В.Е. Товароведение дикорастущих плодов, ягод и лекарственно-технического сырья: учеб. – М.: Экономика, 1991. – 207 с.

2. Федоров Д.Е., Масленникова Г.А. Концентраты сибирских ягод – источник энергии в условиях современного антропогенного развития человечества // Экологические проблемы природных и антропогенных территорий. – Чебоксары, 2010. – С. 165–166.
3. Короткая Е.В., Короткий И.А. Изменение физико-химических показателей ягод черной смородины при замораживании // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2008. – № 2–3. – С. 36–37.
4. Расщепкин А.Н., Короткий И.А., Короткая Е.В. Влияние режимов низкотемпературной обработки на качественные показатели ягод черной смородины // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1 (32). – С. 101–105.
5. Короткий И.А., Короткая Е.В. Теплофизические характеристики ягод черной смородины // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 4. – С. 32–35.
6. Короткий И.А. Исследование влияния режимов замораживания и низкотемпературного хранения на качественные показатели ягод черной смородины // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 2. – С. 291–294.
7. Короткий И.А. Исследование и разработка технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодово-ягодного сырья Сибирского региона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. – Кемерово, 2009. – 410 с.
8. Сборник примеров расчетов и лабораторных работ по курсу «Холодильное технологическое оборудование» / М.М. Голянд, Б.Н. Малеванный, М.З. Печатников [и др.] // Легк. и пищ. пром-сть. – М., 1981. – 168 с.



УДК 664.68:582.37

*Н.Н. Типсина, Е.В. Мельникова*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОШКА ПАПОРОТНИКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕСОЧНОГО ПЕЧЕНЬЯ И БИСКВИТНОГО ПОЛУФАБРИКАТА**

Представлены рецептуры производства песочного печенья и бисквитного полуфабриката с добавлением порошка папоротника, которые позволят повысить их пищевую ценность и снизить калорийность.

**Ключевые слова:** порошок папоротника, рецептура, песочный полуфабрикат, бисквитный полуфабрикат.

*N.N. Tipsina, E.V. Melnikova*

### **THE FERN POWDER USE IN THE PRODUCTION OF SHORTBREAD AND SPONGE CAKESEMI-FINISHED PRODUCT**

*The production formulations of the shortbread and sponge cake semi-finished product with the addition of the fern powder that will allow to improve their nutritional value and to lower the calorie content are presented.*

**Key words:** fern powder, formulation, shortbreadsemi-finished product, sponge cake semi-finished product.

---

**Введение.** На сегодняшний день рацион питания населения страны во многом не отвечает требованиям, предъявляемым к сбалансированному питанию. В Концепции здорового питания прослеживается приоритетная тенденция к увеличению потребления населением растительной пищи, богатой ценными питательными веществами. Как известно, за последние годы уровень потребления белка существенно снизился, что естественно сказалось на состоянии здоровья населения. По данным Института питания Российской академии медицинских наук, дефицит потребления населением России белка в настоящее время превысил 40 % рекомендуемой нормы. Улучшить существующее положение может введение в рацион питания дикорастущих растений, таких как папоротник орляк.