

неры и конкуренты. – 2003, № 3. С. 29–33.

3. Вышемирский, Ф. А. Производство масла из коровьего молока в России / Ф. А. Вышемирский. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 284 с.

4. Горлов, И. Ф. Повышение биологической ценности молока / И. Ф. Горлов, А. А. Короткова, В. Н. Храмова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №1. – С. 60–63.

5. Молоко и молочная продукция. Определение жирно-кислотного состава жировой фазы методом газовой хроматографии: ГОСТ 32915-2014. – Введ. 01.05.2017. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 12с.

6. Fontecha J. Use of changes in triacylglycerols during ripening of cheeses with high lipolysis levels for detection of milk fat authenticity / J. Fontecha, I. Mayo, G. Toledano, M. Juárez // International Dairy Journal: электронный журнал. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694606000021>. – Дата публикации: 14.12.2005. – DOI 10.1016/j.idairyj.2005.12.005.

7. Simopoulos P. The Importance of the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio in Cardiovascular Disease and Other Chronic Diseases / P. Simopoulos // Biomedicine & Pharmacotherapy: электронный журнал. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0753332202002536>. – Дата публикации: 11.09.2002. – DOI 10.1016/S0753-3322(02)00253-6.

УДК 664.34:637.144

А. Н. Никитенко, доц., канд. техн. наук;  
В. Д. Потоцкая, студ.; А. А. Гелахова, студ. (БГТУ, г. Минск);  
П. В. Акулич, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр.;  
Д. С. Слижук, науч. сотр., канд. техн. наук (ИТМО, г. Минск)

### **ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РЕЖИМОВ ИК-КОНВЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

Растительное сырьё в питании человека традиционно занимает важное место, как источник углеводов, органических кислот, витаминов и др. веществ, необходимых для нормального функционирования организма. Фрукты и овощи обладают способностью укреплять иммунитет человека, защищать организм от различных заболеваний за счет содержания антиоксидантов и других биологически активных веществ. Растительное сырьё должно являться основой рациона человека для обеспече-

ния нормального функционирования организма. Согласно практическим рекомендациям ВОЗ по поддержанию здорового питания, количество потребляемых фруктов и овощей должно составлять не менее 400 г в сыром или переработанном виде [1].

Особый интерес среди растительного сырья вызывает сельдерей. Растение стоит на первом месте в списке продуктов для похудения, называется продуктом с «отрицательной калорийностью», поскольку для его переваривания затрачивается больше калорий, чем содержит растение: 100 г клубня сельдерея в среднем содержит 42 ккал; 1,5 г белка; 0,3 г жира; 2,1 г углеводов, витамин К, до 40 % суточного потребления витамина С; клетчатку и др. Доказано влияние сельдерея на снижение уровня холестерина и сахара в крови, что является профилактикой атеросклероза, сахарного диабета и сердечно-сосудистых заболеваний. Сельдерей полезен людям с воспалительными заболеваниями суставов: артритом, артрозом, ревматизмом. Вещества, входящие в состав сельдерея, обладают мочегонным действием. Пищевые продукты, содержащие сельдерей хорошо усваиваются, ускоряют метаболизм, способствуют выведению лишней жидкости [2].

Для перерабатывающих производств при дегидратации растительного сырья весьма важным является энергосбережение. Наибольшее внимание исследователей в последнее время направлено на изучение энергоэффективных способов обработки объектов, среди которых наиболее востребованы комбинированные способы подвода энергии: нестационарные ИК-конвективные, конвективно-микроволновые, вакуумные, сублимационные с электромагнитным излучением. Особое внимание уделяется ступенчатым режимам теплового воздействия, так как они обеспечивают создание мягких условий обработки сырья.

В связи с этим цель работы – определить влияние конвективного и ИК-конвективного подвода энергии в неподвижном и виброкипящем слое на изменение физико-химических показателей корневого сельдерея.

В качестве объекта исследований использовали свежий корневой сельдерей без листьев, *Apium graveolens var. rapaceum (Mill.) Gaudin*, первого товарного сорта по ГОСТ 34320. Образцы для проведения испытаний отбирали согласно требований ГОСТ 34110, подготовку проб продукта выполняли по ГОСТ 26671. После высушивания объекты хранили в темном месте при температуре не превышающей  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и влажности (70) %. Определение физико-химических показателей качества сырого и обезвоженного корневого сельдерея проводили с использованием следующих стандартных методов: активность воды – по ISO 21807; массо-

вую долю сухих веществ высушиванием навески продукта при температуре 105 °С до постоянной массы – по ГОСТ 28561; массовую долю витамина С – по ГОСТ 24556; массовую долю титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750.

Для создания условий эксперимента использовали установку с виброкипящим слоем и ИК-конвективным энергоподводом, которая включала: теплоизолированную камеру 1, расположенную на нижнем газоходе 2, калорифер 3, вентилятор 4 и верхний газоход 5. В камере 1 был расположен источник инфракрасного (ИК) излучения 6, высоту положения которого изменяли относительно контейнера с материалом 7, в который загружали исследуемый материал в виде дисперсного слоя. Контейнер крепили на подвижной раме, установленной на пружинных опорах 10. Рама с контейнером приводилась в колебательное движение виброприводом 11. Частоту колебаний контейнера регулировали посредством изменения числа оборотов двигателя в диапазоне  $f = 5 - 20$  Гц. Амплитуда колебаний менялась за счет смещения расположения оси шатуна вибропривода. В эксперименте она составила  $A = 2$  мм и 3 мм. Контейнер в процессе дегидратации периодически извлекался из камеры и взвешивался на электронных весах.

Для реализации режима циклического воздействия ИК-излучения на исследуемый материал камера 1 была оборудована поворотной заслонкой 8 с приводом 9. Заслонка с отражателем позволяет на короткое время исключать воздействие лучистого потока на материал (см. рис. 1).

В результате исследований получены кинетические зависимости дегидратации корня сельдерея для различных режимов (см. рис. 2).

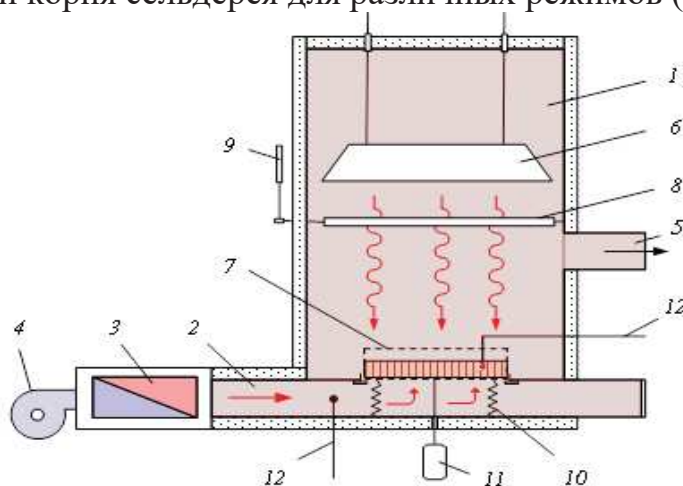
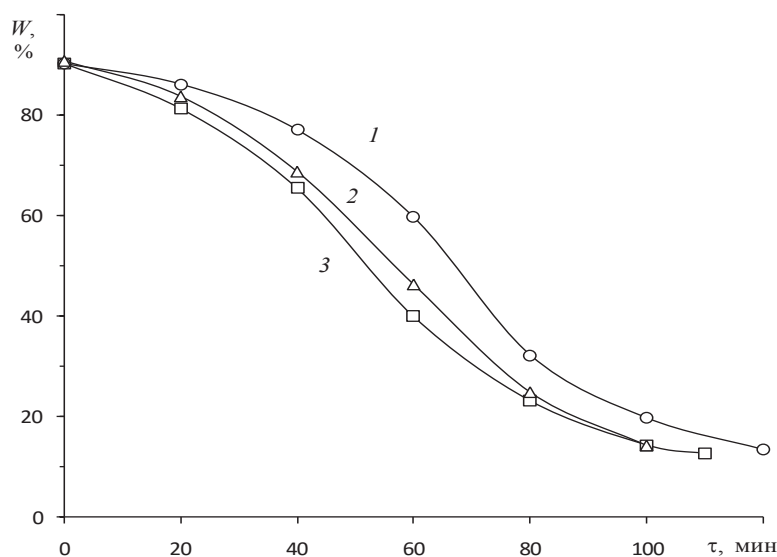


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки с виброкипящим слоем и радиационно-конвективным энергоподводом



**Рисунок 2 – Кинетические зависимости дегидратации частиц корня сельдерея в виброкипящем слое при ступенчатом ИК-конвективном энергоподводе**

( $h_0 = 32$  мм;  $v_0 = 0.2 - 0.3$  м/с;  $A = 3$  мм;  $f = 9 - 10$  Гц);

1 – конвективный:  $0 < \tau \leq 80$  мин,  $t_1 = 80$  °С;  $80 < \tau \leq 120$ ,  $t_1 = 60$  °С;

2 –  $0 < \tau \leq 20$  мин,  $t_{\text{изл}} = 700$  °С,  $t_1 = 80$  °С;  $20 < \tau \leq 50$ ,  $t_{\text{изл}} = 400$  °С,  $t_1 = 70$  °С;

$50 < \tau \leq 100$ ,  $t_{\text{изл}} = 300$  °С,  $t_1 = 60$  °С;

$\tau > 100$ ,  $t_{\text{изл}} = 250$  °С,  $t_1 = 60$  °С;

3 –  $0 < \tau \leq 20$  мин,  $t_{\text{изл}} = 700$  °С,  $t_1 = 70$  °С;  $20 < \tau \leq 40$ ,  $t_{\text{изл}} = 400$  °С,  $t_1 = 70$  °С;

$40 < \tau \leq 60$ ,  $t_{\text{изл}} = 300$  °С,  $t_1 = 65$  °С;  $\tau > 60$  конвективный при  $t_1 = 65$  °С

Определено, что воздействие виброкипящего слоя интенсифицировало обезвоживание материала по сравнению с неподвижным слоем, особенно при удалении свободной и слабосвязанной влаги.

Физико-химические показатели корневого сельдерея после обработки приведены (номера образцов соответствуют кривым 1–3 на рис. 2). Можно заметить, что режимы ступенчатого облучения инфракрасным излучением виброкипящего слоя не интенсифицировали разрушение витамина С более, чем конвективный способ тепловой обработки. Ступенчатый ИК-конвективный режим, соответствующий параметрам кривой 3 на рис. 2, обеспечивал увеличение содержания органических кислот на 18 %. Содержание влаги и величина активности воды обезвоженных образцов свидетельствовали, что используемые режимы способствовали последующей их сохранности.

**Таблица – Физико-химические показатели сельдерея, подвергнутого обработке  
(параметры режимов соответствуют кривым 1-3 рис.2)**

Режим обработки	$a_w$	Массовая доля влаги, %	Массовая доля кислот, %	Массовая доля витамина С, %
Сырье	90,4	0,86	0,28	0,03
1	13,6	0,59	1,52	0,20
2	12,7	0,59	1,53	0,22
3	13,9	0,55	1,80	0,20

Таким образом, в результате исследований показана возможность интенсификации процесса дегидратации растительных материалов, на примере корневого сельдерея, сокращения продолжительности его сушки в виброкипящем слое при рациональном ИК-конвективном подводе теплоты со ступенчатым уменьшением плотности лучистого потока во времени. Физико-химические показатели качества продукта свидетельствуют о том, что исследованные нестационарные ИК-конвективные режимы дегидратации способствуют сохранению органических кислот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Практические рекомендации по поддержанию здорового питания. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>. Дата доступа: 01.03.2024.
2. Храмова Е. А. Целебные свойства фруктов и овощей / Е. Храмова – Санкт-Петербург: Издательство Литагент «Олма Медиа», 2012. – 181 с.

УДК 676.044:665.947.2

Я. В. Боркина, мл. науч. сотр.;  
В. Л. Флейшер, зав. кафедрой ХПД, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

#### **АМФИФИЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

Амфифильные вещества (иначе дифильные) – вещества, обладающие одновременно лиофильными (в частности, гидрофильными) и лиофобными (гидрофобными) свойствами.

К применяемым при производстве бумаги и картона амфифильным веществам относят ПАВы и проклеивающие вещества. ПАВы входят в состав крепирующих смесей, пеногасителей; являются эмульгаторами проклеивающих веществ, флотореагентами.