

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

И.В. Попова, А.И. Маринин, А.И.Украинец, Г.А. Лезенко, В.П. Васылив,  
Ю.А. Дашковский, В.В. Олишевский

## ПОЛУЧЕНИЕ ФРУКТОЗО-ОЛИГОСАХАРИДНЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Национальный университет пищевых технологий,  
ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01033, Украина*

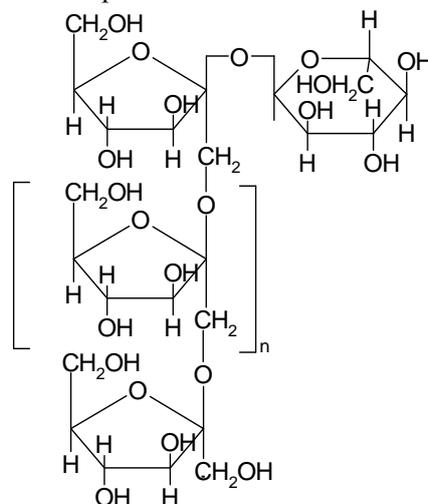
В последнее время большое внимание уделяется обработке пищевых продуктов и сырья электромагнитными полями [1–3]. Этот интерес вызван тем, что пищевые продукты и полупродукты обладают электромагнитными свойствами, а также электропроводностью, диэлектрической и магнитной проницаемостью и при их электро- и магнитной обработке происходят изменения в системе распределения электрических зарядов среды, что вызывает изменения физико-химических свойств продуктов [4].

Среди различных методов воздействия электромагнитными полями на пищевое сырье и продукты перспективным представляется применение электрогидравлической обработки (ЭГО).

Из опубликованных в научной литературе результатов прикладных исследований заслуживает внимания работа [5], в которой показано, что электрический импульсный разряд комплексно воздействует на растительное сырье в процессе его обработки. Ударная волна, возникающая при электрическом пробое среды, интенсивно перемешивает систему. Кроме того, создавая растягивающие усилия в жидкости, она вызывает образование кавитационных пустот, благоприятствующих диспергированию частиц. Тепловые процессы в канале разряда приводят к образованию паро-газовой полости, пульсации которой интенсифицируют процессы массообмена.

Кроме того, использование данного метода благоприятствует подавлению, или ингибированию, микрофлоры пищевых продуктов без существенных изменений их органолептических свойств.

Нами исследовано влияние электрогидравлической обработки суспензий инулина – полисахарида (молекула которого построена из остатков  $\beta$ -D-фруктопиранозы), на процесс его частичного и полного гидролиза, приводящий к образованию фруктозо-олигосахаридных смесей, имеющих применение в различных отраслях пищевой промышленности:



Аналогичное исследование было проведено для цикория (одного из распространенных инулиноносителей, то есть растений с высоким содержанием инулина), используемого в определенных объемах в пищевой промышленности, однако заслуживающего более широкого применения вследствие его многопланового благотворного влияния на человеческий организм.

Наиболее распространенным способом гидролиза инулина является обработка его растворов или суспензий минеральными либо органическими кислотами, в большинстве случаев – при нагревании [6]. При этом продукты гидролиза – фруктоза и олигосахариды более низкой степени полимеризации, чем инулин (так называемые фруктаны), как правило, загрязнены продуктами дегидратации, разложения, последующей конденсации фруктозы и образующимися в результате других побочных процессов красящими веществами.

Известное из научной литературы применение энзимов для получения инулоолигосахаридных сиропов также имеет ряд существенных недостатков, в частности, кроме жесткого соблюдения кислотности среды и температурных параметров, необходима дополнительная очистка целевого продукта как от ферментного препарата, так и от образующихся при этом красящих веществ.

Использование электроимпульсной обработки для осуществления гидролиза инулина обеспечивает нейтральную реакцию исходной реакционной среды, отсутствие добавок иных химических агентов, а значит, и чистоту образующихся фруктозо-олигосахаридных смесей по сравнению с традиционными способами гидролиза.

Для проведения гидролиза готовили растворы или суспензии инулина в воде с содержанием сухих веществ от 2 до 30%. Порошки для приготовления суспензий предварительно замачивали в воде на 72 часа для набухания зерен полисахарида, что в дальнейшем способствовало наиболее полному гидролизу образцов. Приготовленные растворы или суспензии подвергали электроимпульсной обработке при напряжении на электродах 35–40 кВ и от 5 до 75 импульсных разрядов.

За счет электрогидравлического эффекта и других физических явлений, которые возникают во время высоковольтного разряда в жидкости, происходит механический разрыв молекул инулина по месту гликозидных связей между фруктозными структурными единицами с дальнейшим присоединением элементов молекул воды, то есть частичный гидролиз молекул инулина. При этом определенная часть молекул инулина преобразуется в конечный продукт полного гидролиза – фруктозу. Эффект гидролиза достигается в нейтральной среде, без добавления каких-либо химических реагентов и не сопровождается образованием окрашенных побочных продуктов.

Содержание сухих веществ (СВ) в реакционной смеси определяли рефрактометрически. А для контроля содержания фруктозы в гидролизате использовали классический метод Мюллера для определения редуцирующих веществ.

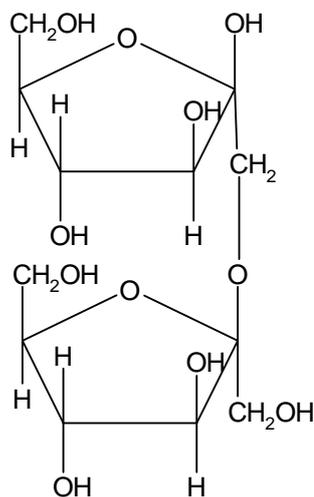
Оптимальное количество импульсов в процессе электроискровой обработки устанавливали относительно максимального содержания редуцирующих веществ в гидролизате, свидетельствующего о наиболее полном гидролизе инулина.



Рис. 1. Зависимость содержания редуцирующих веществ в гидролизате от количества высоковольтных импульсов

На рис. 1 в качестве примера приведены результаты одного из проведенных опытов по установлению оптимального количества высоковольтных импульсов для достижения наибольшего относительного содержания фруктозы в конечном продукте гидролиза.

По всей вероятности, возрастание количества импульсов выше оптимального значения создает условия для рекомбинационных процессов, при которых образовавшиеся на первоначальных этапах гидролиза молекулы D-фруктозы (моносахарида) не переходят в более термодинамически стойкую  $\beta$ -пиранозную форму (как это происходит в условиях обычного гидролиза – без применения электроимпульсной обработки), а взаимодействуют друг с другом, образуя димеры, в первую очередь 1-( $\beta$ - D-фруктофуранозил)-  $\beta$ - D-фруктофуранозу, то есть инулобиозу:



а также тримеры, тетрамеры и другие фруктаны меньшей степени полимеризации, чем инулин, т.е. инулоолигосахариды.

В таблице приведен ряд опытов, в которых были установлены оптимальные параметры электроискровой обработки растворов и суспензий инулина.

Поскольку цикорий представляется более перспективным для практического применения в пищевой промышленности по сравнению с чистым инулином, то аналогичное исследование зависимости степени гидролиза от параметров электроимпульсной обработки было проведено для мелкоизмельченных свежих клубней цикория, а также порошков из высушенных и обжаренных клубней цикория. (Для исследования были взяты промышленные образцы порошков производства Славутского цикориеосушительного комбината, Хмельницкая обл., Украина.)

Перспективность применения цикория обусловлена, с одной стороны, экономической выгодностью: выделение чистого инулина из инулиноносителей является достаточно сложным процессом и требует ощутимых дополнительных затрат. С другой стороны, корень цикория, наряду с основным компонентом – инулином, содержит другие биологически активные вещества лечебно-профилактического действия, введение которых в пищевые продукты в составе цикория весьма желательно.

Для порошков высушенного и обжаренного цикория были проведены исследования, аналогичные чистому инулину, и установлены оптимальные режимы электроимпульсной обработки, практически совпадающие с режимами обработки инулина.

Кроме того, методом светового рассеивания лазерного луча частицами порошков цикория были определены размеры таких частиц на разных этапах электроимпульсной обработки.

Исследуемый промышленный образец порошка цикория в основном состоит из частичек диаметром  $\sim 200 \mu\text{m}$ , содержит значительное количество частичек диаметром  $\sim 100\text{--}50 \mu\text{m}$  и практически не имеет частичек с диаметром, равным или меньшим  $1 \mu\text{m}$ .

При электрогидравлической обработке в режиме 35 кВ, 10 импульсов (рис. 2,б) содержание частиц диаметром  $\sim 200 \mu\text{m}$  уменьшается вдвое по сравнению с исходной суспензией, при этом резко возрастает содержание меньших частиц (от 10 до  $5 \mu\text{m}$ ) – в 3–4 раза, что с очевидностью свидетельствует о фрагментации макромолекулы в результате гидролиза под воздействием электрогидравлической обработки, образовании из нее фрагментов олигоинулидов более низкой степени полимеризации и соответственно с меньшим диаметром частиц. При этом появляется заметное количество частиц диаметром  $1,0\text{--}0,5 \mu\text{m}$ .

Определение режимов электроимпульсной обработки водных растворов и суспензий инулина

№ опыта	Напряжение, кВ	Количество импульсов	Содержание СВ, %	Содержание фруктозы в полученной смеси, %	Степень гидролиза, %	Выводы
1	35	5	2,01	0,22	22,1	Недостаточное количество импульсов для процесса гидролиза инулина
2	40	10	2,05	1,47	48,6	Содержание редуцирующих веществ в полученной смеси возрастает
3	35	20	2,07	2,60	53,9	Достаточное количество импульсов для процесса частичного гидролиза инулина
1	2	3	4	5	6	7
5	35	50	2,2	1,55	44,5	Содержание редуцирующих веществ уменьшается, а степень полимеризации инулоолигосахаридов возрастает
6	35	75	2,21	2,95	41	Степень полимеризации инулоолигосахаридов еще возрастает за счет рекомбинационных процессов, увеличение количества импульсов нецелесообразно

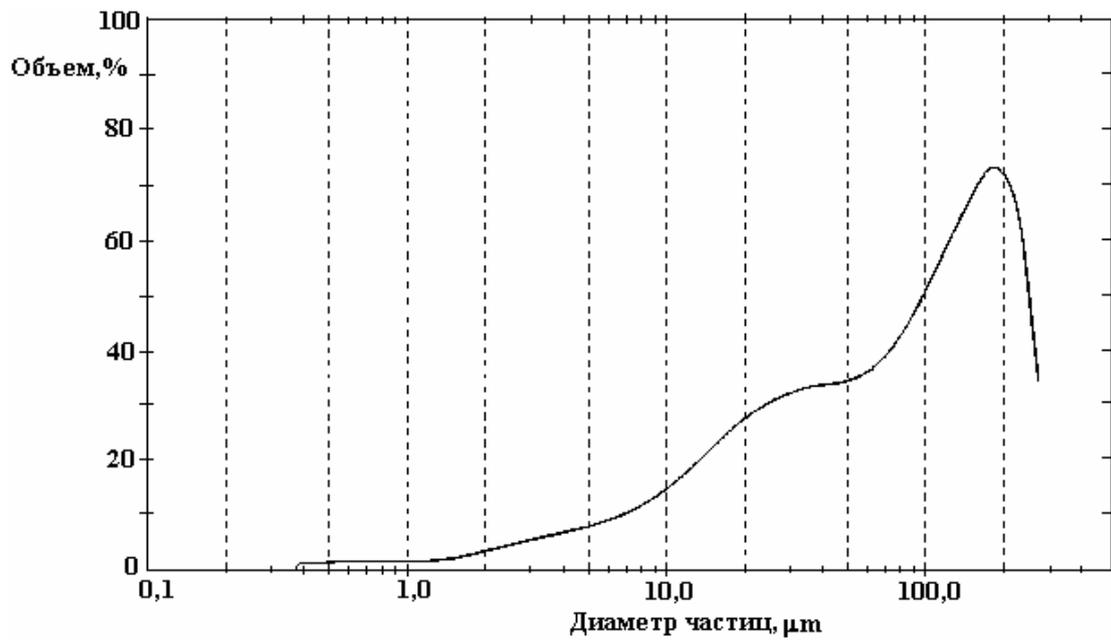
При увеличении количества импульсов до 20 (рис. 2,в) такая тенденция сохраняется: относительное содержание больших частиц снижается, а малых (<1,0  $\mu\text{m}$ ) еще более возрастает. Таким образом, в этих условиях продолжается процесс гидролиза, приводящий к образованию олигомеров инулина низкой степени полимеризации, а также фруктозы.

Дальнейшее увеличение количества искровых разрядов до 30 и более практически не изменяет количество крупных и мелких частиц цикория (рис. 2,г).

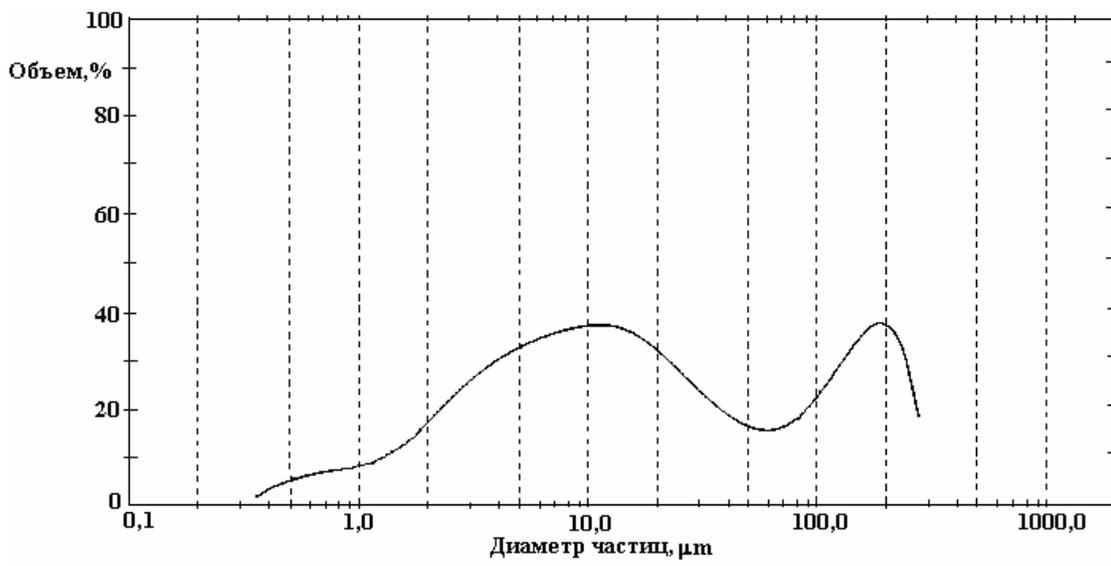
Поведение инулина и инулинсодержащих материалов в условиях электрогидравлической обработки можно объяснить следующим образом.

Известно, что применение электромагнитных полей в значительной степени изменяет магнитные свойства воды [4, 7, 8, 9]. Значит, уже только этот отдельно взятый фактор должен изменить условия протекания гидролиза органических соединений, то есть взаимодействия с водой, в частности, такого биополимера, как полисахарид инулин.

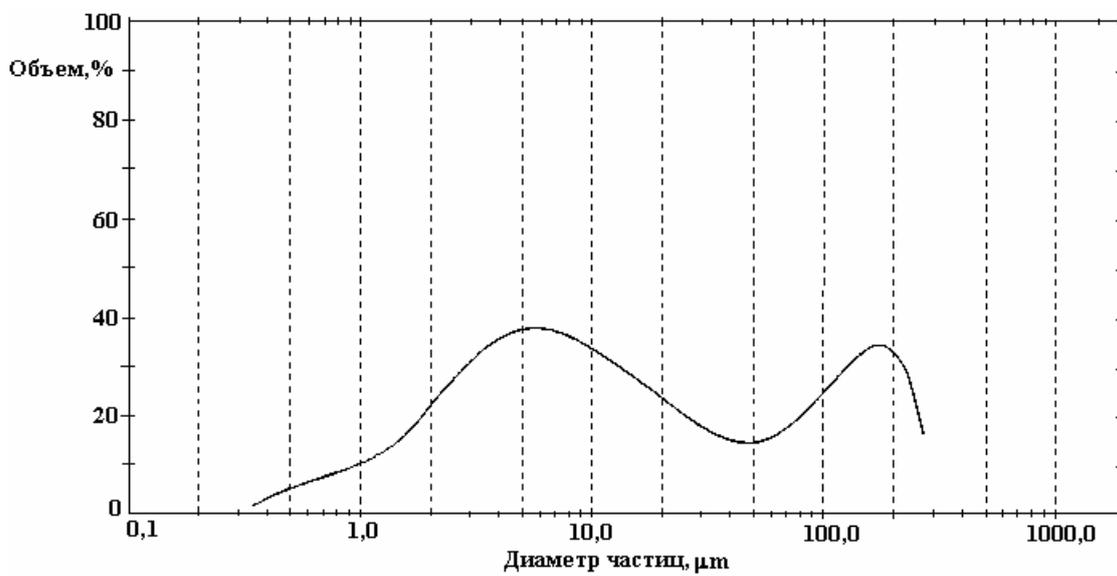
Установлено, что под действием магнитного поля происходит поляризация химических связей в молекулах [10]. При этом молекулы воды, имеющие постоянный дипольный момент, ориентируются относительно частоты магнитного поля, причем повороты дипольных молекул под действием переменного магнитного поля соответствуют частоте изменений такого поля [11]. Подобное явление наблюдается и для органических молекул, например белка.



*a*



*б*



*в*

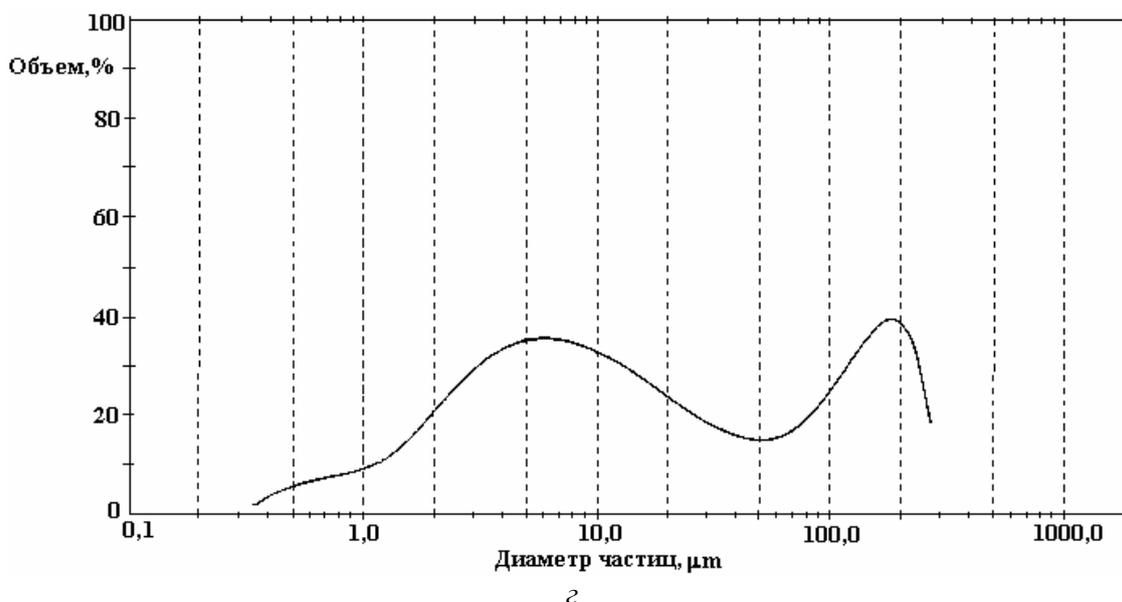


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в исходной суспензии порошка цикория и его гидролизатах после электрогидравлической обработки (ЭГО).  
*а* – исходная суспензия до обработки; *б* – режим ЭГО: 35 кВ, 10 импульсов;  
*в* – режим ЭГО: 35 кВ, 20 импульсов; *г* – режим ЭГО: 35 кВ, 30 импульсов

Но белок по своей природе биполярен, а изучаемый нами биополимер – полисахарид инулин имеет отличную от белка природу. Однако в нативной молекуле инулина существует определенное распределение электронной плотности, в частности на атомах кислорода, образующих гликозидные связи между отдельными фруктозными звеньями в полимерной молекуле инулина, от атомов кислорода в составе первичных и вторичных спиртовых групп. Очевидно, что воздействие электромагнитного поля должно обусловить перераспределение электронной плотности в молекуле полисахарида, в том числе изменение значений плотности эффективных зарядов на мостиковых атомах кислорода. А это в свою очередь должно привести к изменению реакционной способности гликозидных связей в реакции гидролиза инулина.

По-видимому, изменение режимов электрогидравлической обработки влечет за собой перераспределение эффективных зарядов на атомах молекул инулина и продуктов его гидролиза, а это в свою очередь приводит к смещению равновесия в системе либо в сторону образования продуктов гидролиза, либо к рекомбинации низкомолекулярных продуктов в олигомеры более высокой степени полимеризации.

#### **Выводы**

1. Изучены процессы электрогидравлической обработки (ЭГО) растворов и суспензий инулина и инулиноноса цикория с целью получения фруктозо-олигосахаридных смесей.
2. Установлен оптимальный режим ЭГО (35 кВ, 20 импульсов) для получения смеси с максимальным содержанием фруктозы и инулоолигосахаридов низкой степени полимеризации.
3. С помощью классического метода Мюллера для определения содержания редуцирующих веществ, а также метода рассеивания лазерного излучения доказано протекание в условиях ЭГО двух противоположных процессов – гидролиза инулина и рекомбинации низкомолекулярных инулидов, при этом смещение равновесия в системе «инулин – низкомолекулярные инулиды» зависит от конкретных режимов ЭГО.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мікрохвильові технології в народному господарстві: Впровадження. Проблеми. Перспективи: зб. ст. / Ред. Акад. МАІ Калінін Л.Г. Міжнародн. Акад. Інформ.; Півден. Філ. Від-ня пром. Радіоелектроніки МАІ; Мінмашпром України. Одеса: ОКФА, 1996. 108с.
2. Глазырин Б.Н., Литков Б.К., Картов А.В. Технология микроволновой энергии в пищевых отраслях // Пищ. пром-сть. М., 1992. № 3. С. 12–13.
3. Romaswanny H., Voort F. R. Van de. Microwave applications in food processing // Can. Eust., Food Sci. Am Technol. Y. 1990. V. 23. № 1. P. 17–21.

4. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О., Мирончик В.Г., Українець А.І. Обладнання підприємств переробної в харчовій промисловості. В.: Нова книга, 2001. 576 с.
5. Алексеева Т.И., Барская А.В., Лобанова Г.Л. О диспергировании торфа электрическими импульсными разрядами // Тез. докл. VIII научной школы „Физика импульсных разрядов в консервированных средах”. Николаев, 1997. С.112.
6. ПАТ. 218369 Россия. МПК<sup>6</sup> С13К 11/00. Способ получения фруктозосодержащего продукта из топинамбура / Самохин И.И., Заблицева Н.С., Компанцев В.А. Опубл. 13.10.00. Бюл. №43.
7. Миненко В.И., Петров С.М., Миц М.Н. Магнитная обработка воды. Харьков, 1962. 40 с. с граф.
8. Ремпель С.И. и др. Разработка метода и прибора для определения оптимального режима магнитной обработки // Новая техника жилищно-коммунального хозяйства. Водоснабжение и канализация. 1964. Вып. 3. Сер. IV. С. 18–21.
9. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике (вопросы теории и практики). Х.: Вища школа, 1981. 95 с.
10. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
11. Могда В.П. Влияние магнитных полей на электропроводность молока // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1970. № 3. С. 27–30.

*Поступила 07.09.06*

### Summary

The article gives an analysis of the usage of electro-hydraulic effect to obtain the fructose and oligo-saccharide mixtures. Based on the presented material, we made the proved conclusion about the perspectives of electro-hydraulic procession of inulin and chicory suspensions in comparison with the other methods of procession.

---

А.С. Лупашко, Г.К. Дикусар, О.Ф. Лупу

## КИНЕТИКА СУШКИ ЯДЕР АБРИКОС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЧ

*Технический университет Молдовы,  
Бул. Штефана чел Маре, 168, MD-2004, г. Кишинев, Республика Молдова*

На предприятиях консервной промышленности вторичные продукты (отходы) составляют в среднем 21% от массы перерабатываемого сырья.

В общем объеме перерабатываемого сырья значительное место занимают косточковые плоды, отходы которых отличаются высокими технологическими качествами и являются весьма ценным видом вторичного сырья.

До настоящего времени применяется в основном воздушно–солнечная сушка косточек плодовых на неприспособленных открытых площадках. Для интенсификации процесса сушки, сохранения биологических свойств продукта, повышения экономической эффективности и улучшения экологических условий предложена сушка ядер косточек абрикос конвективным и комбинированным с использованием токов высокой частоты (ТВЧ) методами.

Исследования проводились на описанной в [1] экспериментальной установке. Сушке подвергались ядра косточек абрикос сорта «Краснощекий» с начальным влагосодержанием  $U^0 = 146\%$ .

Для регистрации убыли массы использовали механические весы типа ВНЦ – 200. Скорость воздуха, подаваемого в сушильную камеру, поддерживалась постоянной автоматически и составляла

---

© Лупашко А.С., Дикусар Г.К., Лупу О.Ф., Электронная обработка материалов, 2007, № 2, С. 66–70.  
1,1 м/с. Определяли параметры воздуха до (начальную температуру  $t_0$  и относительную влажность  $\phi_0$ ) и после калорифера ( $t_1$ ).