

*Ивкина Александра Павловна*

магистрант

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский  
университет информационных технологий,  
механики и оптики»  
г. Санкт-Петербург

*Демидов Сергей Федорович*

канд. техн. наук, доцент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский  
университет информационных технологий,  
механики и оптики»  
г. Санкт-Петербург

*Пелевина Лидия Федоровна*

директор

Техникум пищевой промышленности  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
экономический университет»  
г. Санкт-Петербург

*Нестеренко Екатерина Александровна*

заместитель директора

Техникум пищевой промышленности  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
экономический университет»  
г. Санкт-Петербург

## **ИНФРАКРАСНАЯ СУШКА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ЦВЕТНОЙ КАПУСТЫ**

*Аннотация: в данной статье изложены результаты экспериментальной деятельности авторов в области сушики с применением инфракрасного излучения заданной длины волны 1,5–3,0 мкм крупцц цветной капусты, позволяющие сохранить входящие в них группы витаминов, микроэлементов.*

**Ключевые слова:** исследование, инфракрасное излучение, влагосодержание, капуста, сушка, плотность теплового потока.

На сегодняшний день проблема снабжения человечества растениеводческими продуктами питания с большим количеством питательных элементов и комплекса биологических веществ по-прежнему остается первостепенной. Для решения данной задачи перерабатывающей деятельности должен стать постоянно растущим и развивающимся комплекс по внедрению, изучению и оценки продуктивности инноваций. Улучшение технологий по сбережению ресурсов, направленных на уменьшение длительности процессов переработки без негативного влияния на качество выходного сырья, можно причесть к инновациям.

Актуальным направлением растениеводческой перерабатывающей промышленности является усовершенствование методов сушки растительной продукции с высоким качеством готового сырья и сохранения питательных веществ, содержащихся в первоначальном материале [1]. Такой сухой продукт можно реализовать в регионах крайнего севера нашей страны, в армии, в местах, где нет возможности хранения большого количества растительного сырья в исходном виде.

Сушка растительного продукта -это продолжительный и достаточно энергоемкий процесс. Главным требованием к процессам сушки растительного сырья является установление пределов по температуре теплоносителей. Воздействие высокотемпературных режимов сушки приводят к тому что происходит денатурация белков, распад липидов, к снижению витаминов и комплекса активных биологических веществ, к изменению цвета, запаха и вкуса, присущих для свежего растительного продукта [2; 3].

Критерием термоустойчивости растениеводческой продукции принято считать предельно возможную температуру нагрева продукта в процессе сушки. Из литературных источников [4; 5] известно, что при конвективной сушке температура предмета сушки не должна превышать 60 °C, а температура движущей среды теплопереноса с учётом тепловых потерь не больше 70–80 °C.

Нужно учесть не только предельно возможную температуру продукта, но и скорость его нагрева до необходимой температуры, время выдержки продукта при этой температуре. Скорость нагрева и обезвоживания сырья при имеющемся многообразии технологий сушки зависит от теплофизических, массообменных параметров продуктов, а так же от движущей силы процесса. Движущей силой влагопереноса могут стать концентрационные градиенты влаги, температуры, избыточного гидростатического давление, всецелого давления внутри тела и другие. Процесс сушки может быть интенсифицирован благодаря повышению кинетических коэффициентов и количества движущих сил.

Одним из методов интенсификации процесса сушки растительного продукта является использование инфракрасного излучения заданной длины волны, позволяющего не допустить возможность перегрев сырья и осуществлять процесс сушки в более «мягком» температурном режиме, который позволит, обеспечить сохранение всех природных свойств и качества продукта. Это совершается из-за понижения температуры испарения влаги при инфракрасном излучении [6].

Процесс сушки измельченной цветной капусты ИК-излучением можно провести как в непрерывном, так и дискретном режиме энергоподвода. При непрерывно энергоподводе инфракрасный излучатель постоянно включен на протяжении всего времени сушки. При дискретном энергоподводе идет череда включения и отключения нагревательного элемента, можно регулировать среднее значение мощности ИК-нагревателя и распоряжаться процессом в зависимости от необходимых критериев и закономерностей тепломассопереноса. В данной работе мы используем режим постоянно включённого ИК-излучателя.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса сушки измельченной цветной капусты инфракрасным излучением в штатном режиме и в осциллирующем.

Для исследования процесса сушки измельченной цветной капусты был использован экспериментальный стенд, состоящий из: сушильной камеры, в кото-

рой установлены два линейных кварцевых ИК-излучатели с отражателями расположены сверху и снизу относительно слоя продукта, сетчатый поддон, измеритель температуры ИТ-2 в комплекте с преобразователями плотности теплового потока и термопары, компьютер для вывода результатов, осевой вентилятор ВН-2МиРОО для обдува слоя измельченной цветной капусты, аналитические весы GF-600, для измерения начальной и конечной влажности использовался влагомер ЭЛВИЗ-2 [7].

Проведены экспериментальные исследования процесса сушки слоя предварительно измельченной цветной капусты в виде мелких крупиц с эквивалентным диаметром 1 и 2 мм и начальным влагосодержанием 773 кг/кг. Слой толщиной 10 мм однородно распределили на сетки поддона из нержавеющей стали в сушильной камере, и при задаваемых нами параметрах, слой цветной капусты подвергался ИК – обработке с двух сторон. Длительность процесса инфракрасной сушки выделенной длиной волны при плотности теплового потока 3.55, 3.9 кВт/м<sup>2</sup> устанавливается временем достижения необходимого влагосодержания продукта 13–14 кг/кг, а также температуры в центре слоя и в верхней части слоя цветной капусты 55–57 °С. В результате выполненных нами опытных исследований было установлено, что процесс сушки мелко нарезанной цветной капусты толщиной слоя 10 мм до среднего влагосодержания  $\bar{U} = 13,5$  кг/кг оканчивается при достижении температуры на поверхности слоя продукта 57–58 °С.

На рисунке 1 представлены графики зависимости среднего влагосодержания измельченной цветной капусты высотой слоя 10 мм и эквивалентным диаметром 1 и 2 мм от времени сушки в штатном режиме.

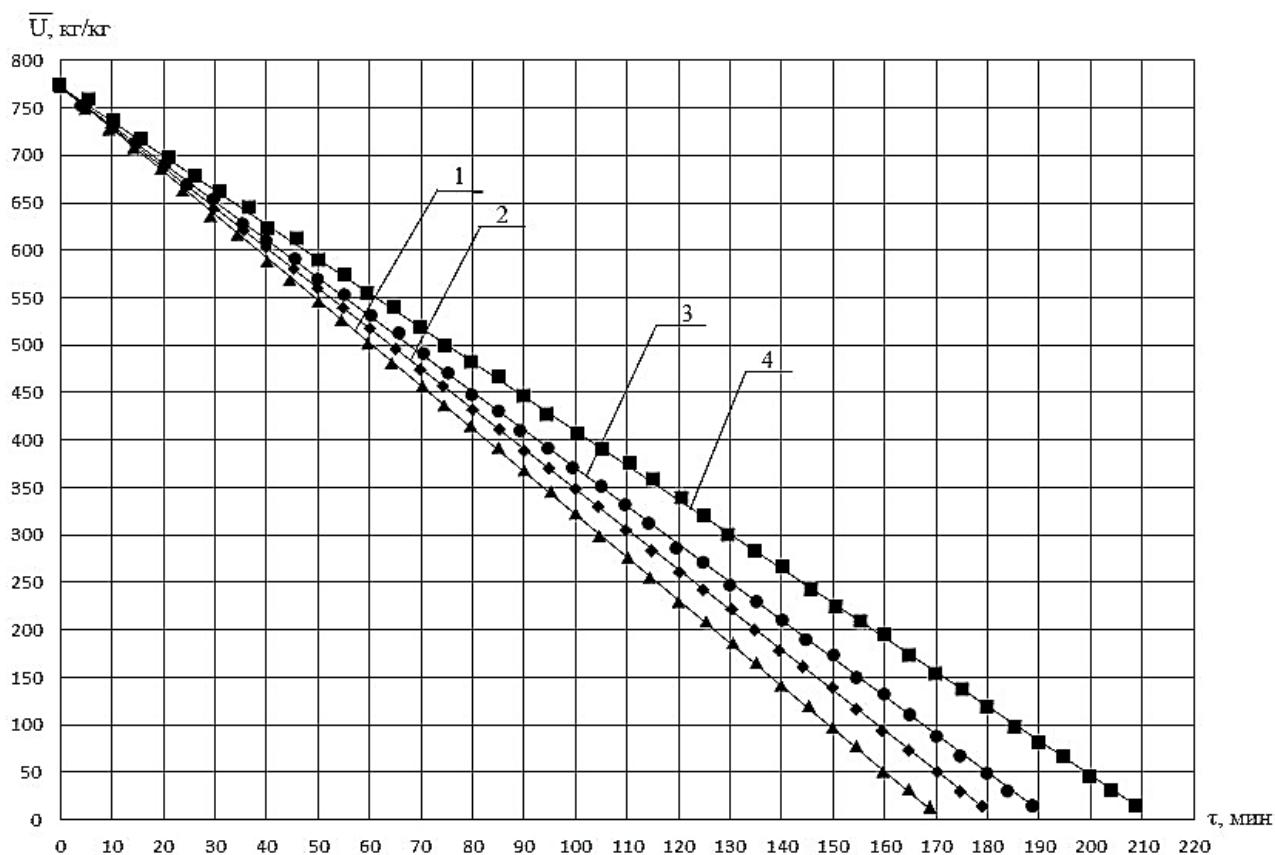


Рис. 1. График процесса сушки измельченной цветной капусты инфракрасным излучением высотой слоя 10 мм и эквивалентным диаметром 1 мм (кривая 1) и 2 мм (кривая 2) при плотности теплового потока  $3,9 \text{ кВт}/\text{м}^2$ , эквивалентным диаметром 1 мм (кривая 3) и 2 мм (кривая 4) при плотности теплового потока  $3,55 \text{ кВт}/\text{м}^2$

Процесс сушки измельченной цветной капусты толщиной слоя 10 мм и диаметром крошки 1 и 2 мм в штатном режиме происходит в периоде неизменной скорости. Время процесса в большой мере задается высотой слоя и диаметром крошки исследуемого продукта. Анализ кривых выявил, что время инфракрасной сушки цветной капусты от начального до конечного влагосодержания при плотности теплового потока  $3.55 \text{ кВт}/\text{м}^2$ , высоте слоя 10 мм и эквивалентном диаметре 1 и 2 мм увеличивается на 18–20 мин., а при плотности теплового потока  $3,9 \text{ кВт}/\text{м}^2$ , высоте слоя 10 мм и эквивалентом диаметре 1–2 мм увеличивается на 10–11 мин [8].

На рисунке 2 представлены графики зависимости среднего влагосодержания измельченной цветной капусты высотой слоя 10 мм и эквивалентным диаметром крошки 1–2 мм от времени сушки в осциллирующем режиме.

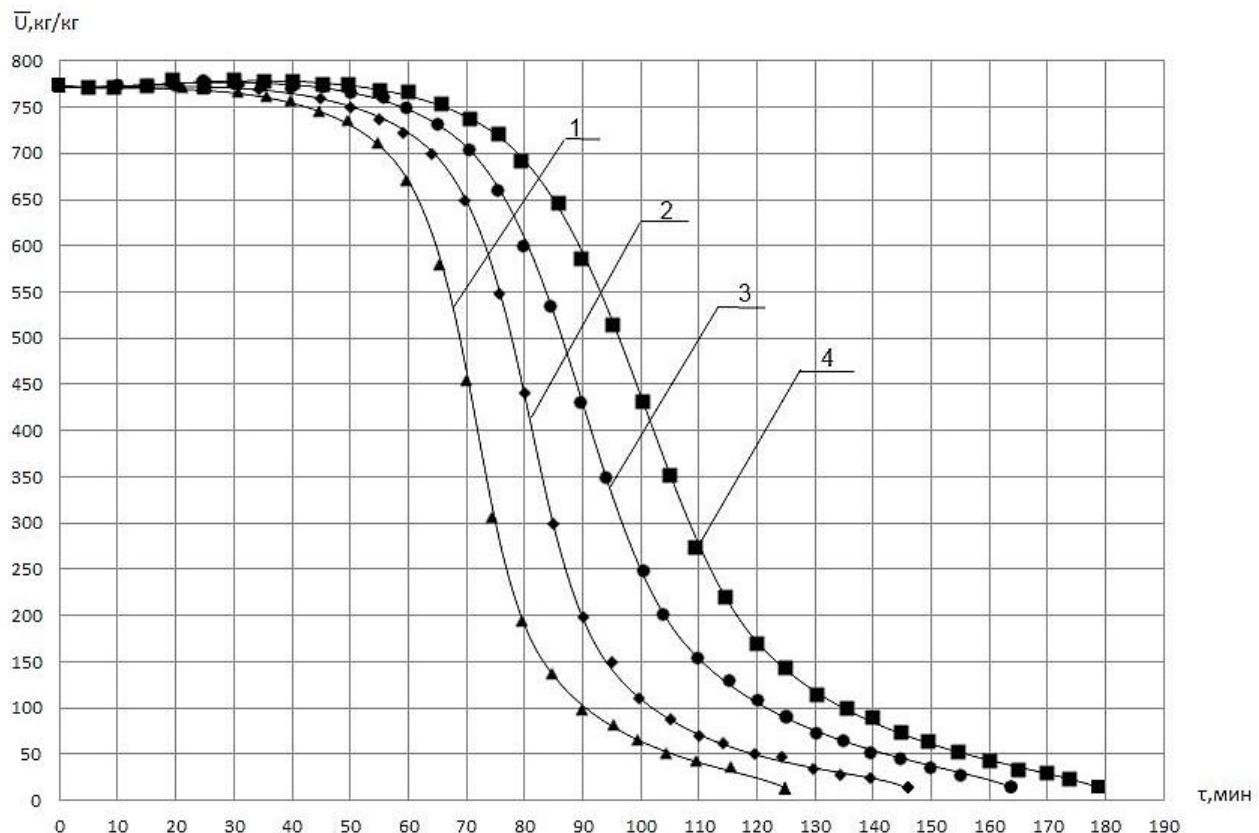


Рис. 2. График процесса сушки измельченной цветной капусты инфракрасным излучением в осциллирующем режиме с высотой слоя 10 мм и эквивалентным диаметром 1 мм (кривая 1) и 2 мм (кривая 2) при плотности теплового потока  $3,9 \text{ кВт}/\text{м}^2$ , эквивалентным диаметром 1 мм (кривая 3) и 2 мм (кривая 4) при плотности теплового потока  $3,55 \text{ кВт}/\text{м}^2$  и скорости воздуха обдува  $0,25\text{--}0,35 \text{ м}/\text{с}$

Нагрев продукта ИК – излучателями совершается непрерывно в течение всего процесса сушки. Высота слоев обрабатываемого материала составила 10 мм, а эквивалентный размер крошки 1–2 мм. Тепловой поток ИКИ –  $3,55\text{--}3,9 \text{ кВт}/\text{м}^2$ . Когда температура на поверхности слоя измельченной цветной капусты достигает значений  $54\text{--}55^\circ\text{C}$  включается вентилятор на 20 секунд для продувки исследуемого сырья, скорость воздуха  $0,35 \text{ м}/\text{с}$ , продукт успевает остывть до температуры  $42\text{--}43^\circ\text{C}$ .

Обработка данных исследований показала, что процесс сушки измельченной цветной капусты в осциллирующем режиме при заданных нами условиях протекает быстрее, чем в штатном режиме на 33–45 мин при высоте слоя 10 мм, эквивалентным диаметром 1 мм и 2 мм и плотности теплового потока 3,9 кВт/м<sup>2</sup> и на 26–30 мин при высоте слоя 10 мм, эквивалентным диаметром 1 мм и 2 мм и плотности теплового потока 3,55 кВт/м<sup>2</sup>.

Во время цикла охлаждения в слое исследуемого сырья возникает движущая сила теплопереноса между центром и поверхностью слоя измельченной цветной капусты, из-за чего возникает термический градиент, который устремлен из центра слоя цветной капусты к внешней части слоя. Что соответствует направлению вектора выхода несвязанной влаги из сырья на его поверхность. Чем больше движущая сила между центром и поверхностью слоя, тем больше термический градиент, тем интенсивнее напор высвобождения несвязанной влаги из глубины на поверхность слоя цветной капусты [2] Это говорит о том, что было достигнуто условие интенсификации процесса обезвоживания и приобретение продукта с высокими показателями по сохранению витаминов. В период охлаждения рационально использовать низкотемпературный интервал сушки равный 30–35 °С, но выбор такого интервала температур приводит к росту времени процесса сушки и к энергозатрат на нагрев продукта до максимальной температуры.

Результаты исследований будут использованы для составления технического регламента процесса сушки измельченной цветной капусты в промышленных условиях.

### ***Список литературы***

1. Дьяченко В.С. Овощи и их пищевая ценность. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 159 с.
2. Мелякова О.А. Энергоэкономичные режимы сушки овощей в конвективно-радиационной сушилке: Диссертация. – Тюмень, 2001.
3. Чернышев С.А. Разработка и научное обоснование технологии сушеных томатов [Текст]: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01 / С. Чернышев. – Кишинев, 2011. – 126 с.

4. Данилов О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. – М.: Энергоиздат, 1986. – 136 с
5. Проничев С.А. Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна диссертация. – М., 2007.
6. Ильясов С.Г. Методы определения оптических и терморадиационных характеристик пищевых продуктов / С.Г. Ильясов, В.В. Красников. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 175 с.
7. Демидов С.Ф. Источники инфракрасного излучения с электроподводом для термообработки пищевых продуктов: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) / С.Ф. Демидов, А.С. Демидов, С.С. Беляева [и др.]; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – №1. – март 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.open-mechanics.com/journals>
8. Демидов С.Ф. Некоторые кинетические закономерности процесса сушки измельченной цветной капусты инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, А.П. Ивкина // Новое слово в науке: перспективы развития – 2016. – №2 (8). – С. 111–113.
9. Касаткин В.В. Сушка термолабильных материалов на установках непрерывного действия / В.В. Касаткин, И.Ш. Шумилова // Пищевая промышленность. – 2006. – №10. – С. 12–13.
10. Киселева Т.Ф. Технология сушки: Учебно-методический комплекс / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2007. – С. 117.
11. Демидов С.Ф. Исследование температурного поля инфракрасной нагревательной системы для сушки зародышей зерна пшеницы и ржаных отрубей [Текст]: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) / С.Ф. Демидов, Б.А. Вороненко, С.С. Беляева, В.И. Марченко; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет

ситет низкотемпературных и пищевых технологий». – №1. – март 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.open-mechanics.com/journals> свободный.

12. Демидов А.С. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением / А.С. Демидов, Б.А. Вороненко, С.Ф. Демидов // Новые технологии. – 2011. – Вып. №3. – С. 25–30.

13. Демидов С.Ф. Кинетика инфракрасной сушки шинкованной капусты / С.Ф. Демидов, Е.В. Москвичева, А.Г. Новоселов, А.П. Ивкина // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 17–20 ноября 2015 г.): Материалы конференции. – 2015. – №2. – С. 40–42.

14. ГОСТ 1683–71, ГОСТ 7586–71, ГОСТ 7589–71, ГОСТ 16729–71, ГОСТ 16732–71. Овощи сушеные. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1988.