

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КАРТОФЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

Д.С. Слижук, И.В. Жавнерко, П.В. Акулич

Лаборатория сушильно-термических и биотепловых процессов, ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова», Национальная Академия наук, Беларусь

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производство хрустящих продуктов из картофеля столкнулось с необходимостью уменьшения содержания жира в готовом продукте. Кроме того, современные технологии обжарки резко повышают требования к качеству растительного масла, в котором происходит термообработка картофельных продуктов. Широкую популярность получил хрустящий пищевой продукт, полученный на основе смеси сухого картофельного пюре и крахмалсодержащих добавок, путем формования смеси в пластинки, их сушкой с последующей жаркой в масле при определенной температуре в течение определенного времени [1]. Однако, обжарка в масле приводит к высокому содержанию в конечном продукте жира (до 50%) и вредных для человека акриламидов, что, естественно, ухудшает качество чипсов и хрустящих картофельных продуктов..

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследований являлась разработка технологии термообработки картофельных продуктов, полученных на основе сухого картофельного пюре, без процесса обжарки в масле.

Перспективным, на наш взгляд, является замена обжарки в масле нагревом с помощью СВЧ излучения. Поскольку преобразование энергии СВЧ излучения в теплоту происходит не на поверхности, а в объеме материала, можно добиться более интенсивного нарастания температуры при большей равномерности нагрева [2–5].

В задачу исследований входило определение режимных параметров термообработки картофельных продуктов с помощью СВЧ излучения, разработка технологии процесса и определение основных показателей установки.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ И КАРТОФЕЛЬНОГО ПРОДУКТА

3.1. Экспериментальная установка

Исследования проводились на лабораторной экспериментальной установке малой мощности периодического действия. В качестве источника излучения применялся магнетрон с выходной мощностью 850 Вт и рабочей частотой 2450 МГц, охлаждение магнетрона воздушное. Обработываемые продукты размещались в цилиндрической коаксиальной камере с наружным диаметром 200 мм, внутренним диаметром 120 мм и высотой стенки 30 мм. Камера выполнена из фторопласта и помещена на стеклянный вращающийся поддон. В общем защитном кожухе размещены также источник питания магнетрона и пульт управления.

Применение цилиндрической коаксиальной вращающейся камеры для размещения обрабатываемого продукта обусловлено требованием равномерной термообработки

продукта. Данные конструктивные особенности позволяют моделировать процесс термообработки, характерный для установки с непрерывным циклом работы.

3.2. Методика исследований

Методика экспериментальных исследований позволяла определить режимные параметры процесса термообработки (вспенивания) картофельных продуктов. Основным критерием оценки качества являлись высокие органолептические показатели готового продукта, такие как вкус, хрупкость, аромат, а также цвет продукта. Важным показателем считалось также энергопотребление технологического процесса вспенивания.

Первый этап исследований заключался в определении влияния на процесс термообработки продукта мощности источника СВЧ излучения, времени термообработки и использованной энергии СВЧ излучения. Для решения данной задачи проводилась термообработка различного количества исходного сырья при заданной максимальной мощности излучения. Определялись диапазоны удельной мощности источника излучения $P_{уд} = P_{max}/m$ и времени термообработки, в которых качество готового продукта удовлетворяло поставленным условиям. Следующим этапом исследования являлось определение качества вспенивания исходного сырья. С этой целью была разработана методика определения объемов исходного и вспененного сырья. Качество вспенивания картофельных продуктов оценивалось по коэффициенту увеличения объема единицы массы продукта до и после термообработки:

$$K_v = \frac{V_{уд}}{V'_{уд}}, \quad (1)$$

где $V'_{уд}$, $V_{уд}$ – удельный объем исходного и вспененного продукта.

Отдельно оценивалось влияние влажности исходного сырья на процесс его термообработки, т.к. количество влаги в материале влияет на скорость его нагрева в поле СВЧ излучения, а, следовательно, на качество вспенивания.

4. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА НА КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ПРОДУКТА

4.1. Мощность и энергия излучения

При условии равномерного распределения излучения по объему обрабатываемого материала наиболее удобной в использовании оказывается величина удельной мощности источника СВЧ излучения $P_{уд}$. Показателем, влияющим на качество термообработки, является удельная затраченная энергия источника СВЧ излучения $E_{уд}$, которая кроме мощности излучения учитывает и время термообработки τ .

$$E_{уд} = P_{уд} \cdot \tau \quad (2)$$

Экспериментальные данные для всех образцов картофельных продуктов свидетельствуют о прямой зависимости качества вспенивания от удельной мощности излучения. Графики зависимости коэффициента увеличения объема от относительной мощности $K_v = f(P')$ для исследуемых образцов приведены на рис. 1. Величина P' является отношением удельной мощности излучателя на единицу массы образца к ее максимальному значению, определенному экспериментально:

$$P' = \frac{P_{уд}}{P_{уд}^{max}} \quad (3)$$

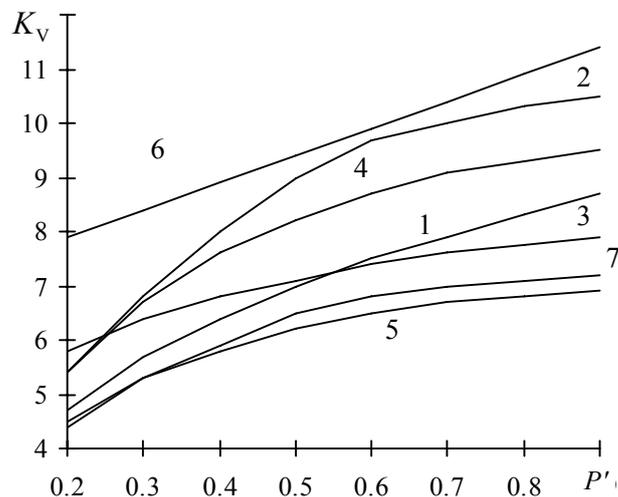


Рис.1. Зависимость коэффициента увеличения удельного объема образца от относительной мощности излучения: 1–7 – номера исследованных образцов

Аналогичный характер для исследованных картофельных продуктов носят зависимости коэффициента увеличения объема K_v от затраченной удельной энергии СВЧ излучения. Теоретический расчет энергии, необходимой для вспенивания картофельных продуктов, позволяет сделать вывод, что энергия СВЧ излучения в экспериментальной установке используется на нагрев продукта в неполной мере. Иллюстрацией данного явления может служить расчетная зависимость, приведенная на рис. 2.

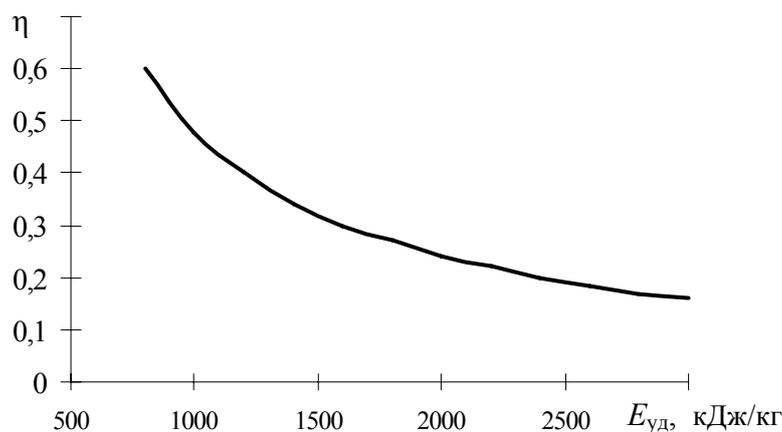


Рис.2. Эффективность использования энергии СВЧ излучения для вспенивания картофельных продуктов

Величина η , представляющая собой коэффициент полезного использования энергии, равна отношению теоретически необходимой энергии на вспенивание к затраченной энергии в процессе термообработки:

$$\eta = \frac{E'_{уд}}{E_{уд}}, \quad (4)$$

где $E'_{уд}$ – удельная энергия, необходимая для вспенивания материала, полученная из теплового баланса, кДж/кг; $E_{уд}$ – удельная энергия, затраченная источником СВЧ излучения на процесс вспенивания, кДж/кг.

Как видно из рис. 2, с увеличением удельной затраченной энергии СВЧ излучения в процессе термообработки, эффективность ее использования снижается.

4.2. Время термообработки

Большое значение для высококачественного вспенивания имеет время проведения процесса. Для большинства образцов нами экспериментально получена зависимость времени термообработки от удельной мощности излучения. Процесс вспенивания можно представить в виде трех различных периодов нагрева обрабатываемого продукта.

Первый период заключается в нагреве материала до температуры 100°C , при этом большая часть воды в продукте находится в жидком состоянии. В этот период влагосодержание материала изменяется незначительно, что обусловлено быстрым нагревом и низким коэффициентом массопереноса, характерным для капиллярно-пористых материалов с такими характеристиками, как у исследованных картофельных продуктов.

Во втором периоде температура материала значительно превышает температуру кипения воды, происходит интенсивное образование пара и увеличение объема продукта.

Третий период характеризуется дальнейшим ростом температуры материала, но с меньшей скоростью, т.к. большая часть влаги, которая воспринимает энергию СВЧ излучения, уже удалена. Длительность этого периода ограничена ухудшением органолептических показателей продукта.

4.3. Влажность

Как уже отмечалось, для процессов нагрева материала в поле СВЧ излучения, характерна передача энергии в первую очередь молекулам воды, поэтому влажность нагреваемого материала играет существенную роль в процессе термообработки.

Наиболее высокими качественными показателями обладают термообработанные картофельные продукты, полученные из сырья, имеющего оптимальную влажность. Увеличение влажности продукта не приводит к увеличению его удельного объема. Уменьшение влажности ниже оптимальной ухудшает качество вспенивания картофельного продукта. Важную роль в процессе вспенивания играет скорость удаления влаги. На рис. 3 представлена зависимость скорости удаления влаги $\Delta W/\tau$ от относительной мощности действующего излучения P' для различных образцов материала. Как следует из приведенных зависимостей увеличение скорости удаления влаги связано с увеличением мощности СВЧ излучения. Аналогичная зависимость существует и для коэффициента увеличения объема продукта K_v от скорости удаления влаги $\Delta W/\tau$, что следует из графиков, представленных на рис. 3.

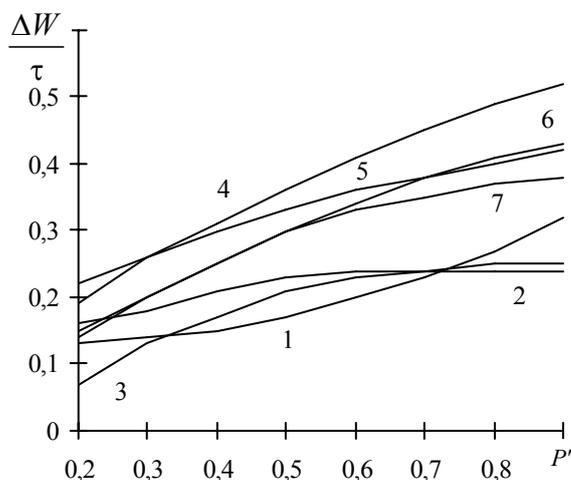


Рис.3. Зависимость скорости удаления влаги от относительной мощности: 1–7 – номера исследованных образцов

Разница в положении кривых и их углов наклона на рис. 1 и рис. 3 обусловлена различным составом исследуемых образцов. Характеристика исследованных образцов картофельного продукта приведена в табл. 1.

Таблица 1.

№ образца	Название образца	Исходная влажность, %	Состав образца	Толщина образца, мм	Коэф-т увеличения объема $k=V_k/V_n, \%$
1	Пластинка 	9,5	Картофельная мука	0,6	7,7
2	Луковые кольца 	5,6	Картофельно-пшеничная мука с добавлением лукового порошка	1,5–1,7	10,5
3	Модерн 	5,9	Картофельно-пшенично-ржаная мука	1,2 – 1,5	7,3
4	Решетка 	6,9	Пшеничная мука	2,3–3,0	8,9
5	Рыбка 	5,3	Картофельно-пшеничная мука	1,8 – 2,0	6,2

					
6	Бриз 	5,6	Картофельно-пшеничная мука	1,7–1,8	10,6
7	Треугольник 3Д 	6,7	Рисовая мука	1,9 – 2,3	6,4

Для процесса вспенивания исследованных образцов картофельного продукта характерно удаление более половины имеющейся в материале влаги. Остаточная влага в материале связана с сухим веществом на более высоком энергетическом уровне и на качество вспенивания не влияет.

5. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА

Для успешного проведения вспенивания важнейшими показателями являются: удельная мощность источника излучения $P_{уд}$, время термообработки τ , исходная влажность продукта W_n . Нами определены диапазоны оптимальной влажности материала и диапазоны изменения $P_{уд}$ и τ , в которых качество готового продукта для исследованных образцов наилучшее.

Существенное влияние на качество готового продукта оказывает состав сырья и способы его производства. Для иллюстрации качества вспенивания картофельных продуктов в табл. 1 приведены фотографии готового продукта после термообработки в поле СВЧ излучения.

6. РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ СВЧ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ

Схема промышленной установки представлена на рис. 4. Источником СВЧ излучения является магнетрон 2 выходной мощностью 50 кВт. Электропитание магнетрона обеспечивается источником питания 1. Поток электромагнитного излучения поступает в камеру термообработки 5 по волноводу 3. Обработываемый продукт перемещается через камеру термообработки с помощью транспортера 7, имеющего

регулируемую скорость. Мощность излучения магнетрона также регулируется. Установка снабжена системой вентиляции 4 камеры термообработки для удаления испаренной влаги. Установка удовлетворяет существующим санитарным нормам и правилам, в том числе и по защите обслуживающего персонала от высокочастотного электромагнитного излучения. Производительность установки до 50 кг/ч.

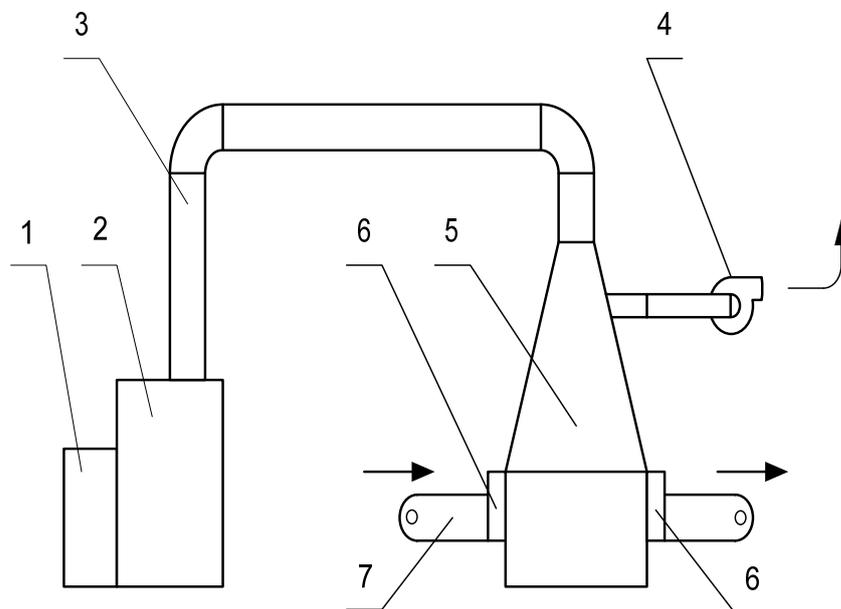


Рис. 4. Схема опытной промышленной установки для термообработки картофельных продуктов: 1 – источник питания магнетрона, 2 – магнетрон, 3 – волновод, 4 – вентилятор, 5 – камера термообработки, 6 – система поглощения излучения, 7 – транспортер

Основным преимуществом предложенной технологии является возможность получать хрустящий картофельный продукт без жира или с низким (желаемым) его содержанием. Технология позволяет регулировать количество масла, которое можно наносить до или после термообработки, или не использовать вообще.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным преимуществом предложенной технологии является возможность получать хрустящий картофельный продукт без жира или с низким (желаемым) его содержанием. Технология позволяет регулировать количество масла, которое можно наносить до или после термообработки, или не использовать вообще.

Проведенные исследования позволили определить основные закономерности процесса термообработки картофельных продуктов с помощью СВЧ излучения. Наиболее существенную роль в данном процессе играют удельная мощность источника излучения, удельная энергия СВЧ излучения, влажность продукта и его состав. Полученные данные позволили разработать промышленную технологию термообработки (вспенивания) картофельных продуктов на основе сухого картофельного пюре и крахмалсодержащих добавок без обжарки в масле, а также промышленную установку для ее осуществления производительностью 50 кг/ч по исходному продукту.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

$E_{уд}$ – удельная энергия, кДж/кг; K_v – коэффициент увеличения объема; $P_{уд}$ – удельная мощность, кВт/кг; P' – относительная мощность; m – масса продукта, кг; $V_{уд}$ – удельный объем, м³/кг; $\Delta W/\tau$ – скорость удаления влаги, с⁻¹; η – коэффициент полезного использования энергии; τ – время, с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **А.с. №1650066**, SU. Способ производства пищевого продукта из картофеля типа чипсов / Акулов В.А., Субоч Ф.И., Мазур А.М. и др.
2. **Рогов И.А., Некрутман С.В.** Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.
3. **Адамович А.Л., Гринчик Н.Н., Кундас С.П., Терехов В.И.** Моделирование неізотермического тепло- и влагопереноса в капиллярнопористых средах при микроволновом нагреве // Теплофизика и аэромеханика. т. 2. № 2. 2004.
4. **Гринчик Н.Н., Акулич П.В., Адамович А.Л., Куц П.С., Кундас С.П.** Моделирование неізотермического тепло- и влагопереноса в капиллярнопористых средах при периодическом микроволновом нагреве // ИФЖ. 2007. Т. 80. № 1. С. 3–12.
5. **Максимов В.М.** Устройства СВЧ: Основы теории и элементы тракта. М.: Мир, 2002.