

УДК 664. 661.039.51

ББК 36.822

Э-41

Демидов Сергей Фёдорович, кандидат технических наук, доцент кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, demidovserg@mail.ru, т.: (812)7648161;

Вороненко Борис Авсеевич, доктор технических наук, профессор кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, borisvoronenko@mail.ru, т.: (812)7648161;

Беляева Светлана Сергеевна, аспирант кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, т.: (812)7648161;

Демидов Андрей Сергеевич, аспирант кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, т.: (812)7648161.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ВОЗВРАТНОГО ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ (рецензирована)

Проведено экспериментальное исследование процесса сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба инфракрасным излучением с выделенной длиной волны. Получено уравнение времени процесса сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба на тефлоновой ленте от начального влагосодержания до конечного влагосодержания 11 % в зависимости от технологических и конструктивных параметров.

Ключевые слова: сушка, экспериментальное исследование, инфракрасное излучение, измельчённый пшеничный хлеб.

Demidov Sergey Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of Meat and Dairy Industries of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering, demidovserg@mail.ru, tel: (812) 7648161;

Voronenko Boris Avseevich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Technology of Meat and Dairy Industries of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering, borisvoronenko@mail.ru, tel: (812) 7648161;

Belyaeva Svetlana Sergeevna, postgraduate student of the Department of Technology of Meat and Dairy Industries of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering, tel: (812) 7648161;

Demidov Andrew Sergeevich, postgraduate student of the Department of Technology of Meat and Dairy Industries of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering, tel: (812) 7648161.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE RETURN WHEAT BREAD DRYING BY INFRARED RADIATION (reviewed)

An experimental study of the drying process of the return crushed wheat bread by infrared radiation

with a detached wavelength has been conducted. The equation of time of drying return crushed wheat bread on Teflon tape from the initial moisture content to the final moisture content of 11%, depending on the technological and design parameters has been obtained.

Keywords: drying, pilot study, infrared radiation, crushed wheat bread.

Хлебобулочные изделия, отбракованные на хлебозаводе или возвращенные из торговой сети, подлежат переработке. Такие изделия называют возвратными отходами (возвратным хлебом). Объемы возвратного хлеба могут достигать 20% от общего объема выпечки. К возвратным отходам относятся доброкачественные в пищевом отношении изделия, без признаков микробиологической порчи или посторонних включений. Такие отходы необходимо перерабатывать быстро, чтобы избежать их плесневения. Перед переработкой возвращенные хлебобулочные изделия тщательно осматривают, срезают горелые корки, удаляют загрязненные части. Хлебобулочные изделия перерабатывают и добавляют в тесто: хлебную крошку, сахарную муку [1, 2].

Нормы добавления хлебной крошки 8% к массе муки в тесте для хлеба ржаного обойного 5%, хлеба ржано-пшеничного 5%, хлеба пшеничного обойного 3%.

Существующие способы переработки этих отходов путём разрезания на ломтики и сушки в конвективных тоннельных и камерных сушилках периодического действия, что затрудняет механизацию и интенсификацию процесса [3].

Предлагаемая технология и оборудование для переработки возвратного хлеба с использованием сушки ИК- излучением с выделенной длиной волны.

Цель данного этапа работы – исследовать зависимость времени процесса сушки измельчённого возвратного хлеба на тефлоновой ленте ИК-излучением с выделенной длиной волны до конечного влагосодержания 11 % от толщины слоя продукта, плотности теплового потока, расстояния от ИК-излучателя до слоя продукта и начального влагосодержания продукта.

Эксперименты проводились по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) [4] на трёх уровнях типа 3^4 (табл. 1) на лабораторной установке, на которой в качестве источника излучения использовались линейные кварцевые излучатели с керамической функциональной оболочкой.

Таблица 1 - Значение уровней изучаемых факторов ПФЭ при сушке измельчённого возвратного пшеничного хлеба

Факторы в явном виде	Наименования факторов	Уровни эксперимента		
		+1	0	–1
Z1	Плотность теплового потока ИК-излучения, кВт/м ²	8,11	6,7	5,28
Z2	Высота слоя отрубей ржаных на тефлоновой ленте, мм	10	7,5	5
Z3	Расстояние от ИК-излучателя до слоя измельчённого возвратного пшеничного хлеба, мм	65	55	45

ИК-излучатели с отражателями установлены сверху относительно поддона с подложкой из тефлона. Измерение плотности теплового потока осуществлялось при помощи термоэлектрических датчиков плотности теплового потока ДТП 0524-Р-О-П-50-50-Ж-О [5].

Для регулировки плотности теплового потока, падающего на измельчённый возвратный хлеб, менялись значения сопротивления нихромовой спирали ИК-излучателя.

Для измерения напряжения на клеммах ИК-излучателей в диапазоне 210-220В использовался вольтметр.

Для измерения изменения массы измельчённого возвратного хлеба ($d_{\text{з}} = 2$ мм) в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Погрешность измерения не превышала $\pm 0,003$ г.

Для измерения влагосодержания измельчённого возвратного хлеба применялся анализатор

влажности ЭЛВИЗ-2 [6]. Погрешность измерения не превышала $\pm 0,1$ %.

Для снятия температурных полей в центре слоя измельчённого возвратного пшеничного хлеба и на подложке использовались хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термопары градуировки ХА₉₄, с диаметром проволоки $2,5 \cdot 10^{-4}$ м [7].

Многоканальный измеритель теплопроводности ИТ-2 [8] в комплекте с преобразователями плотности теплового потока и ТХА (ХА94) термопарами использовался в качестве устройства автоматизированного сбора и обработки информации. Результаты измерения (в мВ, Вт/м² или °С) записывались в файл и выводились на монитор ПК в виде таблицы.

Измерение температуры поверхности облучаемого материала производится при помощи дистанционного неконтактного инфракрасного термометра Raytek MiniTemp МТ6. Термометр данной модификации специально разработан для применения в пищевой промышленности.

Измельчённый возвратный хлеб с влагосодержанием 22,5 до 25,5 % подвергался ИК-обработке при переменных значениях факторов.

На рис. 1 представлен график зависимости времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба ($d_{\text{з}} = 2$ мм) от начального влагосодержания $Z_2 = 22,5\%$ при высоте слоя измельченного пшеничного хлеба $Z_3 = 10$ мм (кривая 1), $Z_3 = 5$ мм (кривая 2), расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_4 = 65$ мм (кривые 1 и 2), $Z_4 = 55$ мм (кривая 3 и 4) при плотности теплового потока ИК-излучателя $Z_1 = 5,28$ кВт/м².

На рис. 2 представлен график зависимости времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба ($d_{\text{з}} = 2$ мм) от начального влагосодержания $Z_2 = 22,5\%$ при высоте слоя измельченного пшеничного хлеба $Z_3 = 10$ мм (кривая 1), $Z_3 = 5$ мм (кривая 2), расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_4 = 65$ мм (кривые 1 и 2), $Z_4 = 55$ мм (кривая 3 и 4) при плотности теплового потока ИК-излучателя $Z_1 = 8,11$ кВт/м².

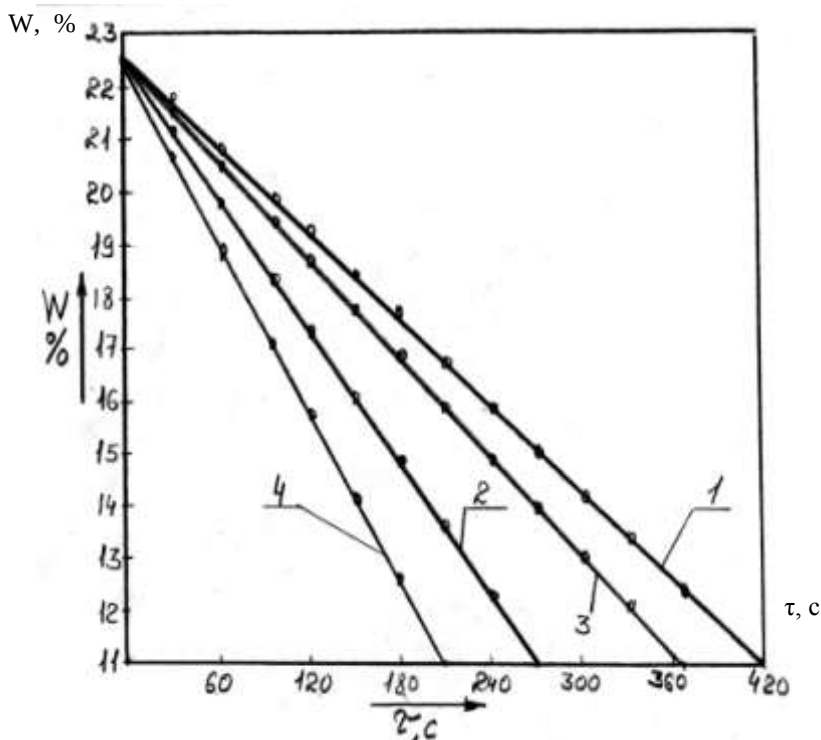


Рис. 1. Зависимость времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба от начального влагосодержания 22,5% до конечного влагосодержания 11% при плотности теплового потока ИК-излучателя 5,28 кВт/м²

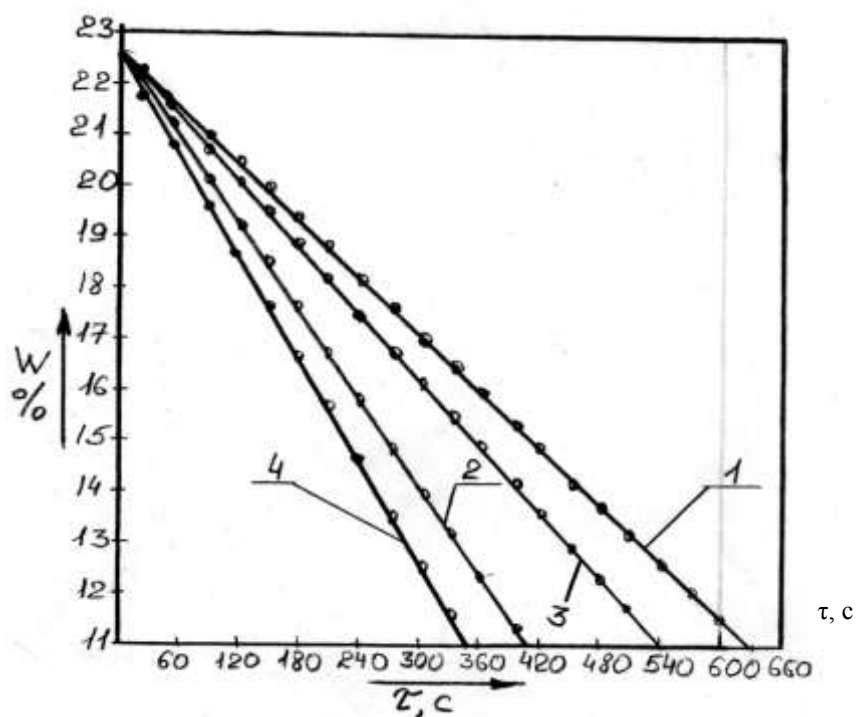


Рис. 2. Зависимость времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба от начального влагосодержания 22,5% до конечного влагосодержания 11% при плотности теплового потока ИК - излучателя 8,11 кВт/м²

На рис. 3 представлен график зависимости времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба ($d_z = 2$ мм) от начального влагосодержания $Z_2 = 25,5\%$ при высоте слоя измельченного пшеничного хлеба $Z_3 = 10$ мм (кривая 1), $Z_3 = 5$ мм (кривая 2), расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_4 = 65$ мм (кривые 1 и 2), $Z_4 = 55$ мм (кривая 3 и 4) при плотности теплового потока ИК-излучателя $Z_1 = 5,28$ кВт/м².

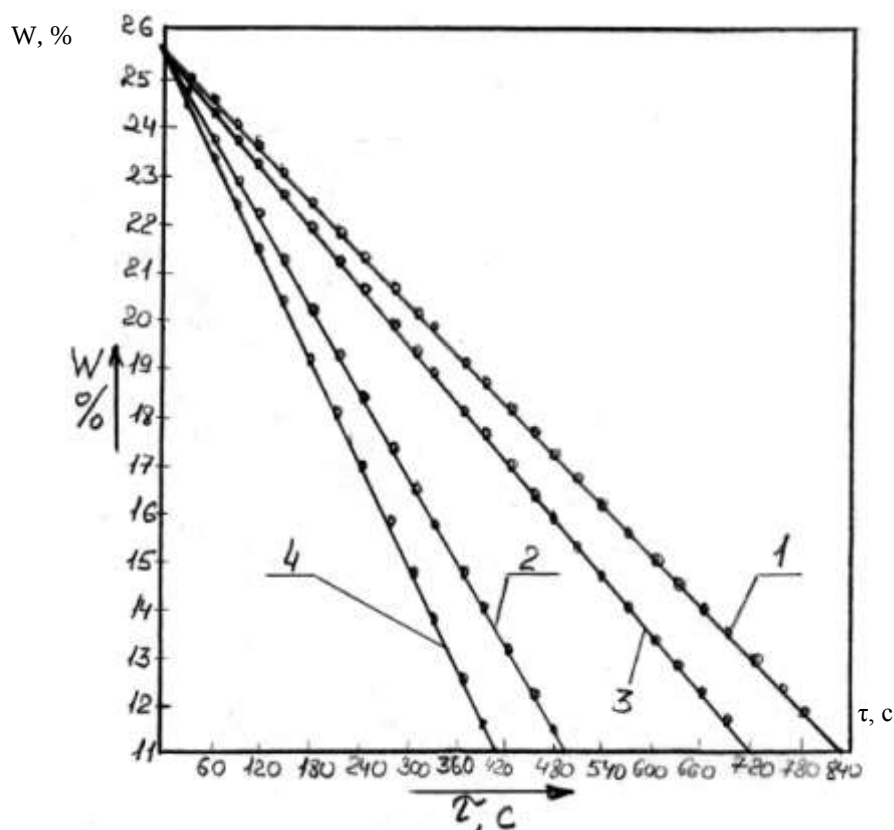


Рис. 3. Зависимость времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба от начального влагосодержания 25,5% до конечного влагосодержания 11% при плотности теплового потока ИК - излучателя 5,28 кВт/м²

На рис. 4 представлен график зависимости времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба ($d_z = 2$ мм) от начального влагосодержания $Z_2 = 25,5\%$ при высоте слоя измельченного пшеничного хлеба $Z_3 = 10$ мм (кривая 1), $Z_3 = 5$ мм (кривая 2), расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_4 = 65$ мм (кривые 1 и 2), $Z_4 = 55$ мм (кривая 3 и 4) при плотности теплового потока ИК-излучателя $Z_1 = 8,11$ кВт/м².

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость времени сушки измельченного возвратного хлеба на тефлоновой ленте блендером BOSCH до конечного влагосодержания 11%, обработанного ИК-излучением при действии выбранных факторов: Z_1 – плотность теплового потока ($q_t = 5,28 \div 8,11$ кВт/м²), кВт/м²; Z_2 – начальное влагосодержание продукта ($W = 22,5 \div 25,5\%$), %; Z_3 – высота слоя продукта ($h_{сл} = 5 \div 10$ мм), мм; Z_4 – расстояние от ИК-излучателя до продукта ($H = 55 \div 65$ мм), мм; y – время сушки продукта, с.

При аналитическом анализе экспериментальных данных было получено уравнение регрессии в явном виде:

$$Y = 1810,17 - 319,63Z_1 - 85,645Z_2 - 529,62Z_3 - 70,6Z_4 + 12,95Z_1 Z_2 + 69,22Z_1 Z_3 + 26,3Z_2 Z_3 - 3,24Z_1 Z_2 Z_3$$

Погрешность аппроксимации R^2 зависимость $Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$ составила не менее 0,995.

Проведенные экспериментально-аналитические исследования процесса сушки инфракрасным излучением с выделенной длиной волны позволили разработать техническое задание на сушилку с ИК-излучением производительность 100 кг/ч.

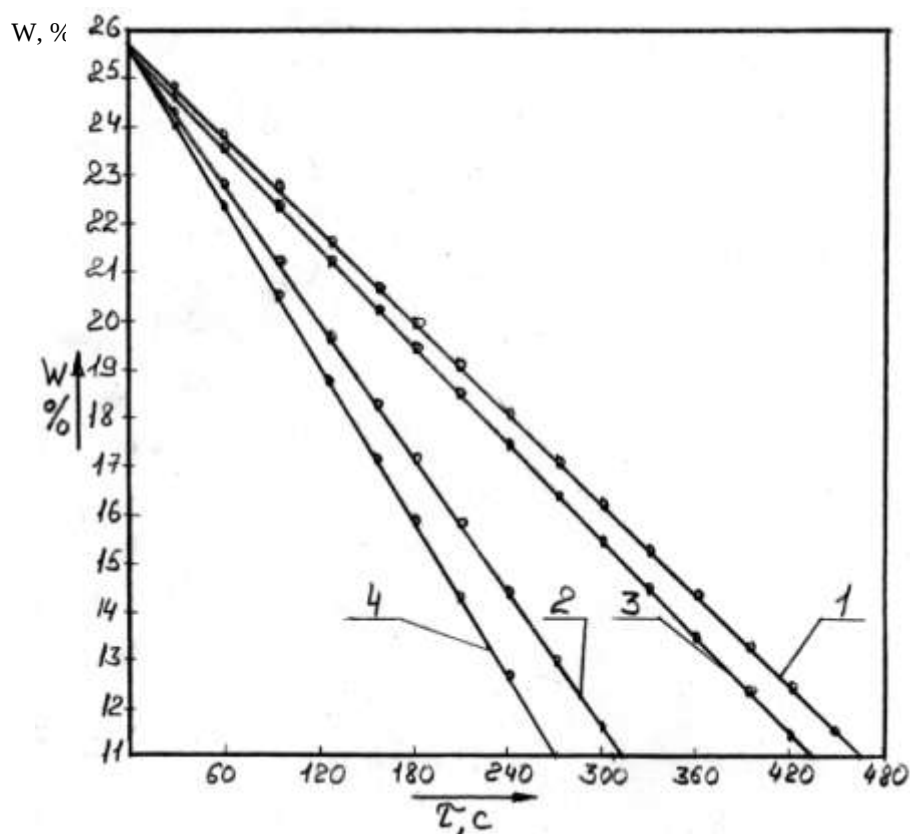


Рис. 4. Зависимость времени сушки измельчённого возвратного пшеничного хлеба от начального влагосодержания 25,5% до конечного влагосодержания 11% при плотности теплового потока ИК - излучателя 8,11 кВт/м²

Литература:

1. Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1975. №4.
2. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов: учеб. пособие. М.: Пищепромиздат, 1960. 683 с.
3. Ильясов С.Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 359 с.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии: учеб. пособие для химико-технол. вузов. М.: Высшая школа, 1978. 319 с.
5. Датчик плотности теплового потока ДТП 0924: паспорт: изготовитель ОАО НПП «Эталон», г. Омск.
6. Анализатор влажности «Элвиз-2». URL: <http://www.priborika.ru/katalog/vlagnost/kat/Elviz.pdf>
7. Преобразователи термоэлектрические ТХА-9419: паспорт ДДШ 0.282.006 ПС: разработчик и изготовитель ОАО НПП «Эталон», г. Омск.
8. Измеритель температуры и теплопроводности многоканальный ИТ-2: руководство по эксплуатации ДДШ 2. 393. 005 РЭ: изготовитель ОАО НПП «Эталон», г. Омск.

References:

1. *Bakery and confectionery industry*. 1975. №4.
2. Ginsburg A.S. *Drying of Food: a manual for food industry universities*. – M.: Pishchepromizdat, 1960. 683 p.
3. Ilyasov S.G., Krasnikov V.V. *Physical basis of infrared irradiation of food*. M.: Food Industry. 1976. 359 p.
4. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. *Optimization of experiments in chemistry and chemical technology: a manual for chemical and technological universities*. M.: High School, 1978. 319 p.
5. Heat flow density sensor HFS 0924: passport: JSC SPE "Etalon", Omsk.
6. Moisture Analyzer "Elviz-2." URL: <http://www.priborika.ru/katalog/vlagnost/kat/Elviz.pdf>
7. Thermoelectric converters TXA-9419: passport DDSH 0,282,006 PS. OAO NPP "Etalon", Omsk.
8. Multichannel thermal conductivity gauge TCG -2: user guide DDSH 2. 393. 005 RE. Omsk.