

УДК 664. 764.039.51

ББК 36.822

К-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;

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;

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;

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.

КИНЕТИКА СУШКИ РЖАНЫХ ОТРУБЕЙ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

(рецензирована)

Проведено экспериментальное исследование процесса сушки отрубей ржаных инфракрасным излучением с выделенной длиной волны. Получено уравнение регрессии процесса сушки отрубей ржаных на тефлоновой ленте от начального влагосодержания до конечного влагосодержания в зависимости от технологических и конструктивных параметров.

Ключевые слова: сушка, экспериментальное исследование, инфракрасное излучение, отруби ржаные.

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;

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;

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;

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.

KINETICS OF DRYING RYE BRAN BY INFRARED RADIATION

(reviewed)

An experimental study of the drying process of rye bran by infrared radiation with a detached wavelength has been conducted. The regression equation of the drying process of rye bran on the Teflon tape from the initial moisture content to the final moisture content depending on the technological and design parameters has been obtained.

Keywords: drying, pilot study, infrared radiation, rye bran.

Отруби – побочный продукт мукомольного производства, представляет собой твердую оболочку зерна. Рекомендуются в качестве дополнительного источника пищевых волокон и кальция. Употребление в сутки 65 г продукта обеспечивает 100% суточной потребности в пищевых волокнах. Недостаток в рационе питания клетчатки (пищевых волокон) приводит к дисбактериозу и является одной из причин заболевания кишечника. Отруби ржаные нашли широкое применение в пекарной, кондитерской и микробиологической промышленности в качестве витаминной добавки. Однако широкое использование

ржанных отрубей для производства продуктов питания сдерживается их нестойкостью при хранении из-за большого содержания в них ненасыщенных жирных кислот. Они быстро окисляются, что придаёт им неприятный вкус и запах. Для сохранения органолептических показателей необходимо сушить отруби ржанные до конечной влажности 6%.

В связи с опережающими темпами теплопереноса в сравнении со скоростью влаго-удаления традиционная сушка горячим воздухом не может обеспечить полную сохранность качества отрубей ржанных. Необходимо разрабатывать новые технологии сушки ржанных отрубей.

В СПбГУНиПТ ведутся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением с выделенной длиной волны [1, 2, 3].

Цель данного этапа работы — исследовать процесс сушки ржанных отрубей инфракрасным излучением с выделенной длиной волны в зависимости от динамических и конструктивных параметров.

Эксперименты проводились по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) [4] на трёх уровнях типа 3^3 (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 отрубей ржанных

Факторы в явном виде	Наименования факторов	Уровни эксперимента		
		+1	0	-1
Z1	Плотность теплового потока ИК-излучения, кВт/м ²	5,26	4,87	4,48
Z2	Высота слоя отрубей ржанных на тефлоновой ленте, мм	10	7,5	5
Z3	Расстояние от ИК-излучателя до слоя отрубей ржанных, мм	60	50	40

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

Для регулировки плотности теплового потока, падающего на отруби ржанные, менялись значения сопротивления нихромовой спирали ИК-излучателя.

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

Для измерения изменения массы ржанных отрубей в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Погрешность измерения не превышала $\pm 0,003$ г.

Для измерения влагосодержания отрубей ржанных применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ-2 [6]. Погрешность измерения не превышала $\pm 0,1$ %.

Для снятия температурных полей в центре слоя отрубей ржанных и на подложке использовались хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термодатчики 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) термодатчиками 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.

Отруби ржанные с влагосодержанием 13% подвергались ИК-обработке при переменных значениях факторов. Температура поверхности верхнего слоя ржанных отрубей составляла 60-65°С.

На рис. 1 представлены кривые сушки отрубей ржанных от начального влагосодержания 13% при расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта Z3 = 40 мм (кривые 2, 4), Z3 = 60 мм (кривые 1, 3) при высоте слоя продукта Z2 = 5 мм (кривые 3, 4), Z2 = 10 мм (кривые 1, 2), при плотности теплового потока ИК-излучателя Z1 = 5,26 кВт/м².

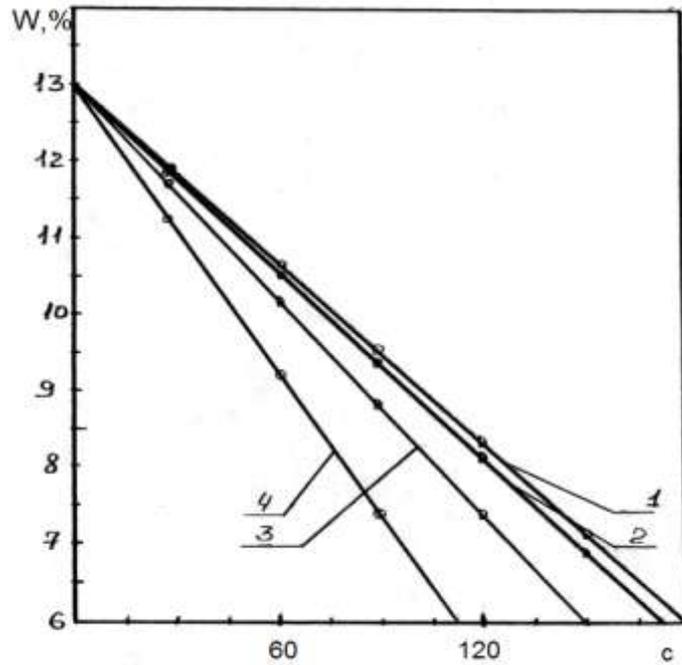


Рис. 1. Кривые сушки отрубей ржаных от начального влагосодержания 13% до конечного влагосодержания 6% при плотности теплового потока ИК-излучателя 5,26 кВт/м²

На рис. 2 представлены кривые сушки отрубей ржаных от начального влагосодержания 13% при расстоянии от ИК-излучателя до слоя продукта $Z_3 = 40$ мм (кривые 2, 4), $Z_3 = 60$ мм (кривые 1, 3) при высоте слоя продукта $Z_2 = 5$ мм (кривые 3, 4), $Z_2 = 10$ мм (кривые 1, 2), при плотности теплового потока ИК-излучателя $Z_1 = 4,48$ кВт/м².

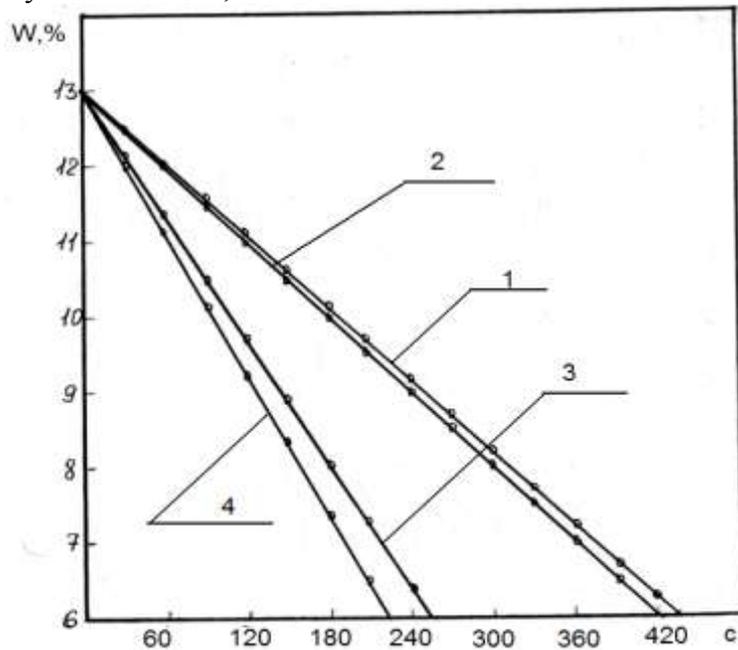


Рис. 2. Кривые сушки отрубей ржаных от начального влагосодержания 13% до конечного влагосодержания 6% при плотности теплового потока ИК-излучателя 4,48 кВт/м²

Как видно из рисунков 1 и 2, процесс сушки отрубей ржаных от начального влагосодержания 13% до конечного влагосодержания 6% протекает в периоде постоянной скорости сушки. Длительность процесса сушки в значительной мере определяется толщиной слоя отрубей ржаных и величиной облучённости. При уменьшении толщины слоя с 10 до 5 мм продолжительность процесса сушки уменьшается примерно в 1,2 раза. При увеличении плотности теплового потока с 4,48 до 5,26 кВт/м² продолжительность процесса сушки уменьшается примерно в 2 раза.

Из кривых рисунка 3 видно, что развитие температурных полей идёт интенсивно. Скорость прогрева ржаных отрубей на поверхности слоя составляет 20 град/мин, в середине слоя 12 град/мин.

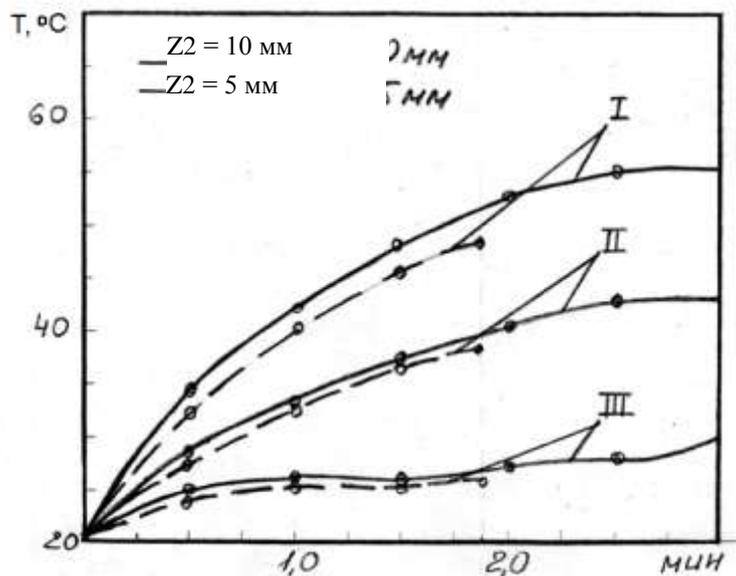


Рис. 3. Температурные кривые сушки ржаных отрубей инфракрасным излучением:
I - на поверхности слоя продукта, II - в центре слоя, III - на подложке

Превышение температуры на поверхности слоя отрубей ржаных уже вначале сушки над температурами нижележащих слоёв показывает, что инфракрасное излучение проникает на некоторую глубину, это и приводит к более интенсивному их прогреву. Отставание температурных кривых в центре слоя ржаных отрубей и на поверхности тефлоновой ленты связано с углублением зоны испарения.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость времени сушки ржаных отрубей на тефлоновой ленте от начального влагосодержания 13% до конечного влагосодержания 6%, обработанного ИК-излучением с выделенной длиной волны.

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

$$Y = -280,94 + 59,375Z_1 + 207,25Z_2 + 1,125Z_3 - 37,5Z_1 Z_2$$

Погрешность аппроксимации R^2 зависимости $Y = f(Z_1, Z_2, Z_3)$ составила не менее 0,95.

Разработано техническое задание на аппарат для сушки отрубей ржаных инфракрасным излучением с выделенной длиной волны производительностью 75 кг/ч.

Литература:

1. Способ сушки: пат. 2272338 Рос. Федерация / Демидов С.Ф., Остапенко Е.И., Демидов А.С.; опубл. 20.03.06, Бюл. №8.
2. Устройство для сушки электродов: пат. 2278451 Рос. Федерация / Демидов С.Ф., Остапенко Е.И., Демидов А.С.; опубл. 20.06.06, Бюл. №17.
3. Способ инфракрасной сушки семян: пат. 2433364 Рос. Федерация / Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Демидов А.С., Агеев М.В.; опубл. 10.11.11, Бюл. №31.
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. The method of drying: the RF patent № 2272338 / Demidov S.F., Ostapenko E. I., Demidov A.S. Published on 20.03.2006. Bull. № 8.
2. Device for drying electrodes: the RF patent № 2278451/ Demidov S.F., Ostapenko E.I., Demidov

A.S. Published on 20.06.2006, Bull. № 17.

3. Method of infrared drying of seeds: the RF patent № 2433364/ Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V., Demidov A.S., Ageev M.V. Published on 10.11. 2011, Bull. № 31.

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.