

**В.М. МИХАЙЛОВ**, д-р техн. наук, проф. ХГУПТ, Харьков;  
**Л.В. КИПТЕЛАЯ**, д-р техн. наук, проф. ХГУПТ, Харьков;  
**С.Ю. САЕНКО**, канд. техн. наук, доц. ХГУПТ, Харьков;  
**А.Н. ЗАГОРУЛЬКО**, аспирант. ХГУПТ, Харьков

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В ИК-СУШИЛКЕ**

В статье представлено усовершенствования структуры питания населения путем введения в рацион растительного плодоягодного сырья. Исследованиями доказано, что использование ИК-излучения в технологии сушки плодоягодного сырья, позволяет максимально сохранить БАВ в продукте. На основании результатов исследований спроектирована вертикальная ИК-сушилка, преимущества которой заключаются в: снижении продолжительности процесса сушки за счет вынужденной конвекции; повышении качества готового продукта за счет мягкого обогрева и низкого температурного режима; равномерном тепловом поле на приемной поверхности за счет цилиндрической формы ИК-сушилки; уменьшении геометрических размеров и простоты конструкции за счет прямоугольной формы карбонового ИК-нагревателя в рабочей камере; интенсификации процесса сушки за счет возможности контроля количества поступающего свежего воздуха в рабочую камеру и использования вторичного тепла в процессе ИК-сушки, а так же моделирование распределения теплового потока в рабочей камере с помощью компьютерной программы TracePro.

**Ключевые слова:** моделирование, распределение, проектирование, ИК-сушка.

**Постановка проблемы.** В связи с ухудшением экологического положения в Украине и в других Европейских странах главной задачей пищевой промышленности Украины, является усовершенствование и разработка технологических процессов, позволяющих сохранить максимальное количество биологически активных веществ (БАВ) в растительном сырье. [1]. Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что использование инфракрасной энергии для сушки растительного сырья позволяет сохранить БАВ в продукте, за счет мягкого температурного процесса (40...60 °С) и способу извлечения влаги из сырья [2].

© В.М. Михайлов, Л.В. Киптелея, С.Ю. Саенко, А.Н. Загорулько. 2014

**Цель работы.** Главной целью работы является исследование процесса ИК-сушки растительного сырья, а так же создание вертикальной ИК-сушилки и моделирование распределения теплового потока в рабочей камере с помощью компьютерной программы TracePro.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В результате литературного анализа процессов сушки растительного сырья с использованием ИК-излучения было предложено создать экспериментальную установку для исследования процессов сушки, с подбором актуального и энергоэффективного ИК-генератора, и возможностью дальнейшего компьютерного моделирования распространения ИК лучей в рабочей камере [3].

На сегодняшний день для создания ИК-сушилок предлагается использовать пленочной электронагреватель (ПЛЕН), который устойчив к температуре и влажности, а изоляционный материал PET Maker помогает выдерживать перепады напряжения. Нагреватель широко распространяется во всем мире, поскольку имеет простоту монтажа, легкость конструкции нагревателя и низкую энергоемкость. Двухлинейный шаг и конфигурация карбоновых полос нагревательной пленки, нейтрализует электромагнитное поле от нагревателей, а соединение их с медной шиной происходит с помощью защитного серебряного напыления, что препятствует нагреву медной шины и гарантирует ее долговечность. Основными технологическими параметрами нагревающей пленки являются: температура на поверхности ленты 45 °С; температура плавления пленки 256 °С; толщина 0,3 мм; длина волны ИК-излучателя составляет 10 мкм, а потребляемая мощность 210 Вт. Именно эти технологические данные позволяют использовать нагревающую карбоновую пленку для мягких процессов сушки плодоягодного сырья, при низких температурах.

**Результаты исследований.** Предложено создать экспериментальную вертикальную ИК-сушилку, позволяющую снизить энерго- и металлоемкость существующих конструкций (рис.1), а форма камеры обеспечивает максимальную равномерность теплового потока в рабочей камере и на лотках с продуктом.

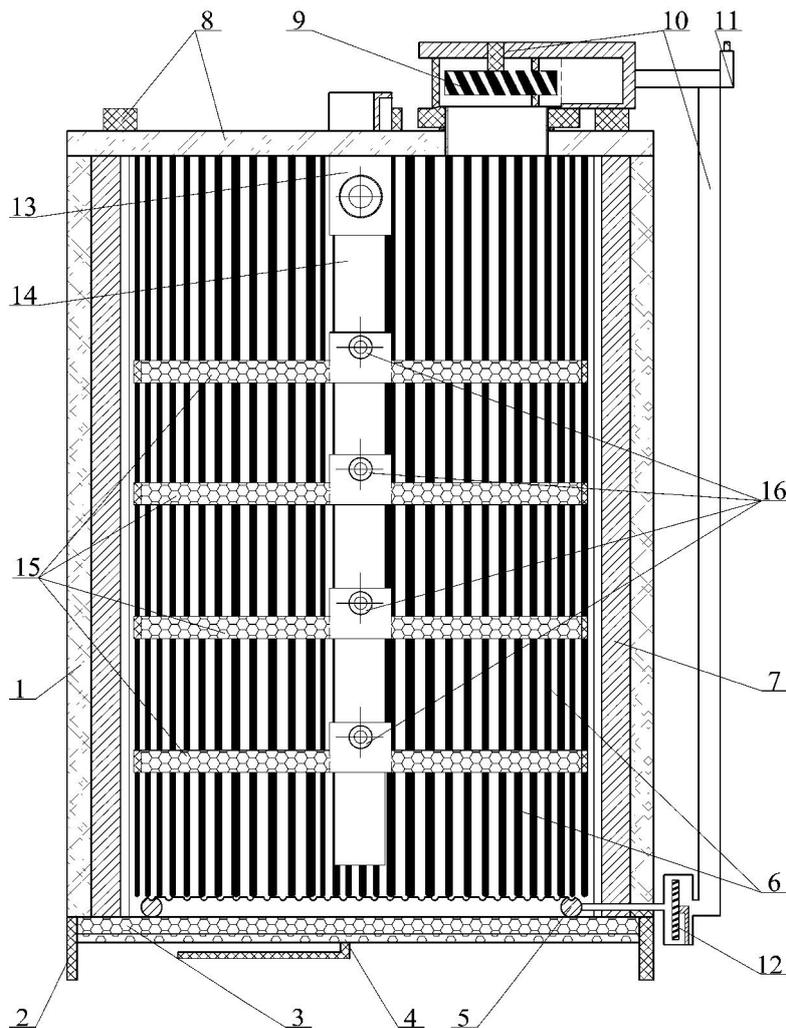


Рис. 1. Экспериментальная ИК – сушилка: 1 – вертикальная цилиндрическая рабочая камера; 2 – стойки; 3 – распределительная решетка; 4 – регулирующая задвижка; 5 – кольцевой барботер; 6 – продольные оси рабочей камере карбоновые прямоугольные ИК-излучатели; 7 – отражающая фольга с теплоизолирующим листовым алюфомом; 8 – крышка с затяжными фиксаторами; 9 – вытяжной вентилятор; 10 – канал; 11 – регулирующая задвижка; 12 – нагнетающий вентилятор; 13 – фиксаторы; 14 – штатив; 15 – сетчатые лотки; 16 – монтажные шпильки

Работа аппарата заключается в следующем: плодоягодное сырье загружается на сетчатые лотки 15, которые фиксируются с помощью монтажной шпильки 16 на штатив 14. После чего штатив с лотками устанавливается в фиксирующем устройстве 13 крышки 8 с затяжными фиксаторами и вытяжным вентилятором 9 и загружается в цилиндрическую вертикальную рабочую камеру сушилки 1, установленной на стойках 2, где сырье сушится при температуре 40...60 °С. Отработанный и подогретый воздух нагнетается вентилятором 9 в канал 10, где при открытой задвижке 11 нагретый вторичный воздух от нагнетающего вентилятора

12 поступает в кольцевой барботер 5, которой установлен у ИК-нагревателей, создавая в пристеночном слое турбулентный режим.

Для исследования распределения теплового потока в рабочей камере с установленными лотками использовали компьютерную программу TracePro [4]. Ее используют для моделирования процессов, которые описываются законами оптики и, в частности, тех, которые основываются на утверждении – угол падения луча равен углу отражения. Программа моделирует ход лучей в рабочей камере и позволяет задавать спектр потока и мощность ИК-излучателей, что дает возможность получить количественные характеристики тепловых потоков. Перед моделированием в TracePro сначала устанавливается необходимая мощность ИК-излучателей и длина волны. После чего программа случайным образом выбирает точки на поверхности излучателей и направление движения лучей и автоматически вычисляет их траекторию. На (рис. 2) представлено распределение теплового потока на приемной поверхности.

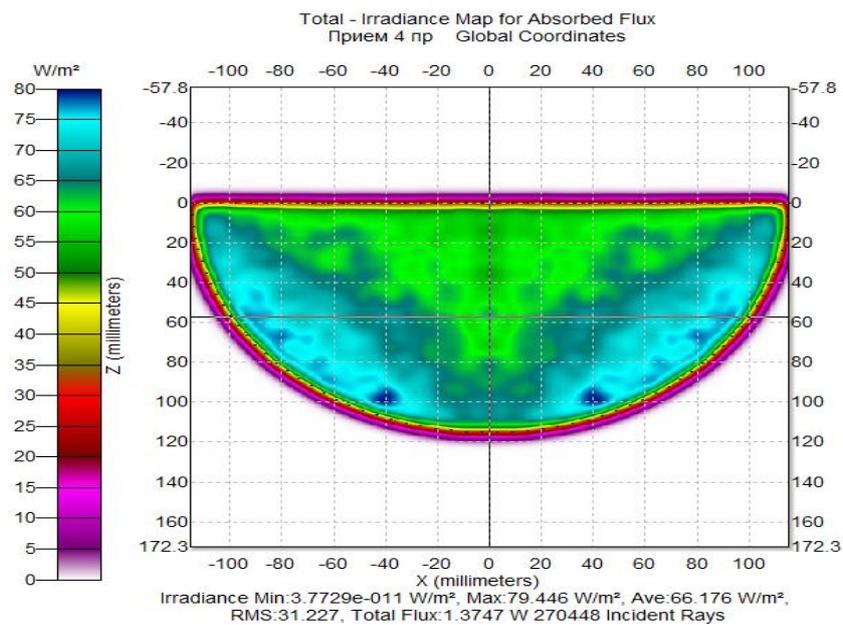


Рис. 2. Распределение теплового потока на приемной поверхности

Таким образом, констатируем, что все точки рабочей поверхности, как это и предсказывала теория, прогреваются равномерно, а незначительная неравномерность, которая изображается изменением цвета отдельных участков при переходе от одной точки рабочей поверхности к

другой, объясняется погрешностями метода вычислений, используемого программой TracePro.

**Выводы.** На основании результатов исследований спроектирована вертикальная ИК-сушилка, преимущества, которой заключаются в: снижении энерго- и металлоемкости, поскольку потребляемая мощность 210 Вт, а масса установки без загрузки – 5 кг; простоте конструкции и легкости в эксплуатации с минимальной автоматизацией, и использовании компьютерной программы TracePro позволяет представить распределение теплового потока в рабочей камере и на приемных поверхностях в зависимости от формы камеры конструкции и размещения карбоновых излучателей. На данную конструкцию сушилки получен патент Украины № 106461 – «ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини»

**Список литературы:** 1. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищ. промышл., 1973. – 528 с. 2. *Киптела Л.В.* ІЧ-сушіння рослинної сировини. Les problemes contemporains dela technosphere et dela formation des cadres d'ingenieurs. VII Conf. internationale scientifique et methodique du 8–17 octo-bre 2013 a Sousse (Tunisie). С. 138–140. / *Киптела Л.В., Загорулько А.М., Мольский О.С.* 3. *Кип-телая Л.В.* Влияние размещения рефлектора в ИК-сушилке на процессе сушки плодово-ягодного сырья. Межд. н-технол. конференция «Низкотемпературные и пище-вые технологии в XXI веке» / *Киптелая Л.В., Загорулько А.Н.* (СПб, 13–15 ноября 2013 г.). 321–323 с. 4. *Киптела Л.В.* Моделювання розповсюдження ІЧ-випромінювання в сушарках із циліндричною формою рефлектора / *Киптела Л.В., Саєнко С.Ю., Загорулько А.М., Мольский О.С.,* Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, зб. н. праць, вип. 1(17). Ч. 1, X. 2013.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Ginzburg A.S.* Osnovy teorii i tehniky sushki pishhevyh produktov. – Moscow. : Pishh. promyshlennost', 1973. – 528 p. 2. *Kiptela L.V.* ICh–sushin-nja roslinnoi sirovini. Les problemes contemporains dela technosphere et dela formation des cadres d'ingenieurs. VII Conf. internationale scientifique et methodique du 8–17 octobre 2013 a Sousse (Tunisie). P. 138–140. / *Kiptela L.V., Zagorul'ko A.M., Mol'skij O.S.* 3. *Kiptelaja L.V.* Vlijanie razmeshhenija reflektora v IK-sushilke na processe sushki plodovo-jagodnogo syr'ja. Mezhd. n-tehnologicheskaja konferencija «Nizkotemperaturnye i pishhevye tehnologii v XXI veke» / *Kiptelaja L.V., Zagorul'ko A.N.* (Sankt-Peterburg, 13–15 nojabrja 2013). 321–323 p. 4. *Kiptela L.V.* Modeljuvannja rozpovsjudzhennja ICh-viprominjuvannja v susharkah iz cilindrichnoju formoju reflektora / *Kiptela L.V., Saenko S.Ju., Zagorul'ko A.M., Mol'skij O.S.,* Progresivni tehnika ta tehnologii harchovih virob-nictv restorannogo gospodarstva i torgivli, zb. nauk. prac', v. 1(17). Ch. 1, Kharkov. 2013.

*Надійшла (received) 05.09.14*