

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.384.3

Новачук Степан Александрович

Исследование теплофизических характеристик низкотемпературного  
модульного инфракрасного излучателя

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1–41 80 02 Технология и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

---

Научный руководитель

Достанко Анатолий Павлович

Доктор технических наук, профессор

---

Минск 2015

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в различных отраслях промышленности большое развитие получила тепловая обработка материалов инфракрасным (ИК) излучением. Нагрев инфракрасным излучением активно применяется: в пищевой промышленности – для сушки мяса и рыбы, зелени, грибов, ягод, дрожжей, зерна, круп, макарон, отрубей, комбикормов, для сушки и жарки орехов, семечек (очищенных и неочищенных), кукурузных зерен, попкорна и других продуктов, для производства закусок к пиву (кальмаров, креветок и др. морепродуктов, мяса, сыра, а также снеков, чипсов, и др.), специй, панировочных смесей, начинок и многого другого; в фармацевтике – для сушки сырья и лекарственных трав; в промышленности – в производстве изделий электроники, для сушки окрашенных деталей, машин, поездов, трамваев, для разогрева сыпучих смесей, при ремонте дорог с асфальтовым покрытием, для обогрева производственных помещений; в быту – для сушки грибов, овощей и фруктов, для обогрева жилых помещений.

Применение инфракрасного излучения значительно интенсифицируют многие технологические процессы: сушку, выпечку, обжарку, полимеризацию и др., вследствие значительного увеличения плотности теплового потока на поверхности облучаемого материала (объекта нагрева) и проникновения инфракрасных лучей внутрь материала.

Целью данной работы является исследование теплофизических характеристик низкотемпературного модульного инфракрасного излучателя, принцип действия которого основан на использовании для нагрева излучающего элемента тепловой энергии топочных газов, полученных при сжигании природного топлива различных видов: твердого топлива (брикеты, пеллеты/гранулы, твердые отходы производства, подробленная солома, дрова, опилки, торф и т. д.), жидкого (дизельное топливо, топочный мазут, отработанное машинное масло), газообразного (природный газ, биогаз).

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В результате выполнения диссертации рассмотрена классификация ИК-излучателей для нагрева различных объектов, проведен обзор принципа работы и конструкций ИК-излучателей.

ИК-излучатели могут быть классифицированы по различным признакам:

- 1) по способу генерирования излучения;
- 2) по характеру спектра;
- 3) по диапазону спектра и температуре тела накала;
- 4) по форме;
- 5) по способу применения излучателей;
- 6) по питающей энергии и разновидностям;

В основе работы ИК-излучателей лежит использование излучения, находящегося в инфракрасной области электромагнитного спектра.

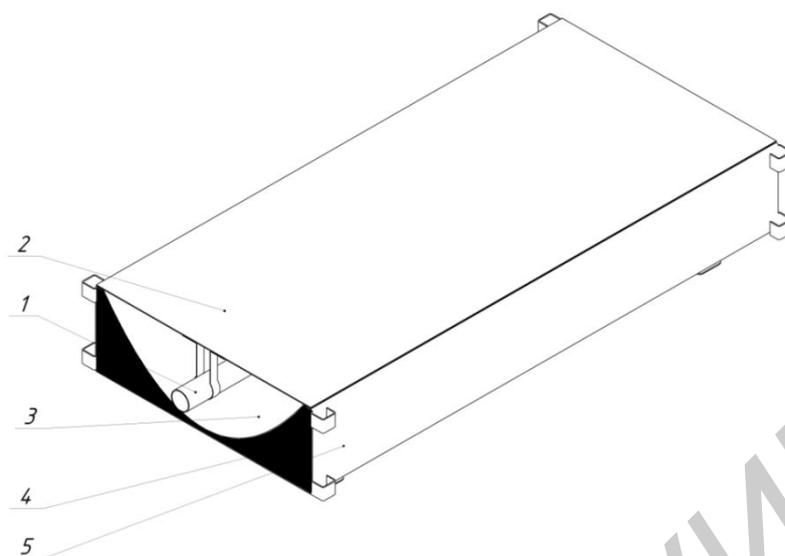
Источниками инфракрасных излучений в производственных условиях являются: открытое пламя, расплавленный и нагретый металл, материалы, нагретые поверхности оборудования, источники искусственного освещения и др.

ИК-излучатель состоит из двух основных элементов:

- 1) элемента, испускающего излучение;
- 2) элемента, направляющего излучение в заданном направлении.

Элемент, испускающий излучение, может существовать в виде конструктивной детали (части) излучателя либо функционального элемента излучателя, исчезающего вместе с прекращением его работы. Кроме того, каждый ИК-излучатель имеет ряд вспомогательных конструктивно-функциональных элементов, различных для разных видов излучателей.

В состав разработанного протяженного модуля ИК-нагрева входят следующие базовые узлы: первичный трубчатый излучатель 1, вторичный излучатель 2, рефлектор 3, теплоизоляционный материал рефлектора 4, корпус 5 (рисунок 1).



- 1 – первичный трубчатый излучатель; 2 – вторичный излучатель;  
 3 – параболический рефлектор; 4– теплоизоляционный материал;  
 5 – корпус

**Рисунок 1 – Компонировочная схема протяженного ИК модуля**

Проведено моделирование распределения температуры по поверхности первичного и вторичного излучателей. Моделирование проводилось с помощью пакета COMSOL Multiphysics 4.4. Исходными данными для моделирования были выбраны следующие значения параметров: длина первичного излучателя – 2000 мм, диаметр первичного излучателя – 76 мм, материал первичного излучателя – сталь 15X25Т, коэффициент излучения поверхности первичного излучателя – 0,93–0,95, размеры вторичного излучателя – 2000×920×0,5 мм, материал вторичного излучателя – дюралюминиевый сплав Д16, коэффициент поглощения поверхности вторичного излучателя – 0,93–0,95, температура потока теплоносителя на входе первичного излучателя – 200 °С, скорость движения потока теплоносителя внутри первичного излучателя – 1 и 2 м/сек. В качестве теплоизоляционного материала была выбрана минеральная вата URSAGLASSWOOLM-11, обладающая теплопроводностью 0,044 Вт/мК в диапазоне температур эксплуатации от – 60 до +270 °С.

Из полученных результатов были сделаны выводы, что неравномерность температуры по длине первичного излучателя при скорости потока теплоносителя 1 м/сек для конструкции ИК модуля без теплоизоляционного материала составляет до 22 °С и до 18 °С для конструкции ИК модуля с теплоизоляционным материалом. А при скорости потока теплоносителя 2 м/сек неравномерность температуры по длине первичного излучателя для конструкции ИК модуля без теплоизоляционного материала составляет до 16 °С и до 12 °С для конструкции ИК модуля с теплоизоляционным материалом. В тоже время при использовании

теплоизоляционного материала температура первичного излучателя возрастает на 4 °С. Также неравномерность температуры по длине вторичного излучателя при скорости потока теплоносителя 1 м/сек составляет до 1,1°С для конструкции ИК модуля, как без теплоизоляционного материала, так и с теплоизоляционным материалом. А при скорости потока теплоносителя 2 м/сек неравномерность температуры по длине вторичного излучателя составляет до 0,8°С для конструкции ИК модуля, как без теплоизоляционного материала, так и с теплоизоляционным материалом. В тоже время при использовании теплоизоляционного материала температура вторичного излучателя возрастает на 3°С при скорости потока теплоносителя 1 м/сек и на 4,7°С при скорости потока теплоносителя 2 м/сек.

Спроектированный модуль ИК-нагрева может использоваться в качестве источника ИК-излучения в устройствах инфракрасной сушки, а также в системах обогрева помещений различного назначения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертации рассмотрена классификация ИК-излучателей для нагрева различных объектов, проведен обзор принципа работы и конструкций ИК-излучателей.

Обоснована компоновка низкотемпературного протяженного ИК модуля, разработаны конструкции базовых узлов ИК модуля и описано их назначение.

Проведено моделирование распределения температуры по поверхности первичного и вторичного излучателей протяженного ИК модуля с помощью пакета COMSOL Multiphysics. Анализ полученных результатов показал, что при использовании специального теплоизоляционного материала температура первичного и вторичного излучателей возрастает.

Подготовлены практические рекомендации по использованию разработанного протяженного низкотемпературного ИК модуля в устройствах сушки биоматериалов и в системах обогрева помещений различного назначения. Выработаны рекомендации по интенсификации процесса сушки влажных материалов с использованием ИК модулей и водокольцевых вакуумных систем.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Новачук, С. А. Протяженный инфракрасный модуль / С. А. Новачук, А. А. Костюкевич // Сборник материалов 49-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Моделирование, компьютерное проектирование и технология электронных средств» 6-10 мая 2013 г. Минск : БГУИР, 2013. С. 7.

[2-А] Гордейчук, Т.В. Сушка природных материалов. / Т.В. Гордейчук, С. А. Новачук, А. А. Костюкевич // Сборник материалов 48-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Моделирование, компьютерное проектирование и технология электронных средств» 7-12 мая 2012 г. Минск : БГУИР, 2012. С. 89-90.

[3-А] Гордейчук, Т.В. Устройство для сушки природных материалов. / Т.В. Гордейчук, С. А. Новачук, А. А. Костюкевич // Сборник материалов 48-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Моделирование, компьютерное проектирование и технология электронных средств» 7-12 мая 2012 г. Минск : БГУИР, 2012. С. 91.