

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

*Южный филиал НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет», г.Симферополь, Украина*

*Рассмотрено использование тепловой вычислительной модели при разработке системы инфракрасного излучения, предназначенной для локального нагрева удаленной поверхности. Показано, что тепловая модель переноса излучения позволяет проектировать эффективные инфракрасные системы с использованием зеркально отражающих поверхностей, благодаря возможности определения полей потоков излучения в системах с источником излучения конечных физических размеров и многократным отражением излучения при наличии кондуктивного теплообмена в прозрачной для излучения среде.*

Инфракрасный нагрев поверхностей используется для осуществления технологических процессов подготовки к нанесению покрытий и сушки в машиностроении, строительстве, пищевой промышленности. Положительными свойствами лучистого переноса энергии являются непосредственная передача энергии от источника к поверхности, возможность создавать значительные тепловые потоки на единицу площади поверхности, малая инерционность изменения потока излучения во времени [1]. К главным недостаткам устройств, использующих лучистую теплопередачу, следует отнести высокую неравномерность распределения теплового потока по облучаемой поверхности и существенные потери энергии из-за рассеяния теплового излучения в окружающее пространство [2].

Элементами системы инфракрасного (ИК) нагрева являются источник излучения, зеркально или диффузно отражающие поверхности, направляющие или преграждающие путь потоку излучения к облучаемой поверхности, облучаемая поверхность и прозрачная для излучения среда, разделяющая источник, отражающие и облучаемые поверхности. Элементом системы могут являться также устройства преломления потока излучения, например, линзы или призмы.

При разработке систем ИК нагрева используют оптико-геометрические представления о распространении излучения и экспериментальные данные о распределении потоков теплового излучения от выпускаемых промышленностью источников [2, 3].

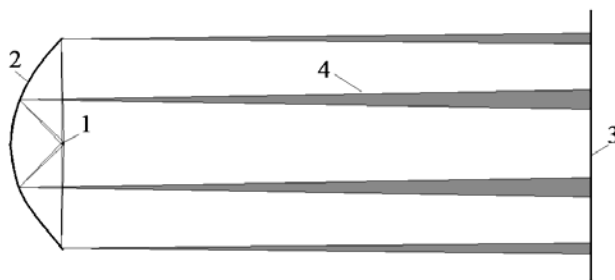
Существенно расширить возможности проектирования и создания ИК систем позволяет использование вычислительных моделей, основанных на решении уравнений энергетического баланса прозрачной

для излучения среды, находящейся между источником излучения и облучаемой поверхностью [4]. Такие модели позволяют учесть физические размеры и форму источника излучения, оптические свойства отражающих поверхностей, облучаемой поверхности и среды, разделяющей источник и облучаемую поверхность, многократность отражения излучения в системе, спектральные характеристики излучения, поглощения и преломления всех элементов системы, оценивать тепловой баланс проектируемой системы в условиях сложного кондуктивно-конвективно-лучистого теплообмена.

Тепловые вычислительные модели представляют собой аппроксимации уравнений сохранения массы, количества движения и энергии для конечно-элементного представления области пространства, на границах которой заданы условия теплообмена различного рода.

Решением тепловой модели являются значения суммарного теплового потока и теплового потока излучения, термодинамической и радиационной температуры в узлах или элементах расчетной области.

Рассмотрим пример использования тепловой вычислительной модели при разработке ИК системы, задачей которой является передача потока излучения через воздушную среду на заданное расстояние с малым рассеянием энергии (см. рис.1). Для снижения стоимости системы линзы в нее не включаем. Источник излучения – спираль линейной лампы накаливания, размещенная в геометрическом фокусе параболоцилиндрического зеркального отражателя. Диаметр спирали - 2 мм, ширина отражателя – 200 мм, фокусное расстояние – 50 мм, ширина облучаемой поверхности или площадки облучения – 300 мм. Облучаемая поверхность удалена от источника излучения на расстояние 1000 мм. Для выбранной ширины отражателя источник излучения максимально удален от поверхности отражателя, что способствует снижению тепловых потерь системы за счет кондуктивно-конвективной теплопередачи в поверхность отражателя и уменьшению угла рассеяния излучения от источника конечного физического размера.



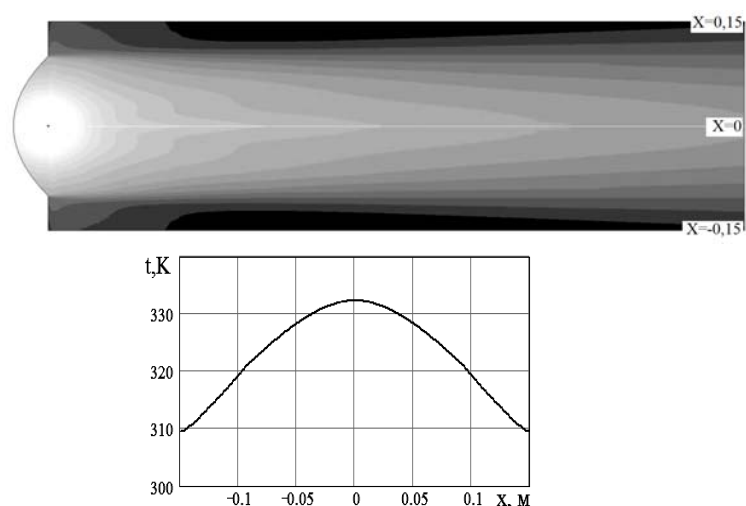
**1 – источник ИК излучения; 2 – зеркальный параболоцилиндрический отражатель; 3 – облучаемая поверхность; 4 – ход отраженных лучей**

**Рисунок 1. Схема ИК системы.**

Для схемы на рис.1 получим решение тепловой модели, задав граничные условия 1-го рода на стенке 3 и границах воздушной среды (температура 300 К, степень черноты 1), условия 2-го рода на поверхности источника излучения (тепловой поток  $50000 \text{ Вт/м}^2$ , степень черноты 1) и

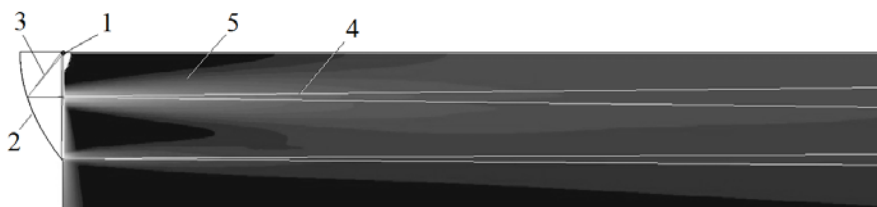
условия 3-го рода для лучисто-конвективного теплообмена отражателя 2 (для внутренней поверхности степень черноты 0, коэффициент диффузности отражения 0; для внешней поверхности степень черноты 0, температура окружающей среды термодинамическая 300 К, радиационная 300 К, коэффициент теплоотдачи в окружающую среду 10 Вт/м<sup>2</sup>К). Свойства среды в расчетной области соответствуют свойствам сухого воздуха, конвективную составляющую теплообмена не учитываем. В модели используем комбинированную сетку конечных элементов: регулярную в области поверхности источника излучения и треугольную. Характерный размер сетки – 1 мм. Для решения задачи лучистого теплопереноса используем модель дискретных ординат с дискретизацией по углу  $\varphi=180$  (1 луч на 2°) [5].

На рис.2 приведена контурная картина поля потока излучения в расчетной области и диаграмма распределения радиационной температуры на облучаемой поверхности.



**Рисунок 2. Поле потока излучения и распределение радиационной температуры на облучаемой поверхности**

Для установления соответствия хода лучей оптической модели интенсивности излучения тепловой модели решим тепловую модель для случая, когда свойствами зеркального отражения обладают только отдельные участки параболической поверхности, а прямого излучения от источника в правую от него полуплоскость нет. Результаты сопоставления приведены на рис.3 и показывают, что тепловая и оптическая модели одинаково описывают передачу излучения в части направления. Тепловая модель дополнительно позволяет определить распределение интенсивности излучения в заданном направлении.

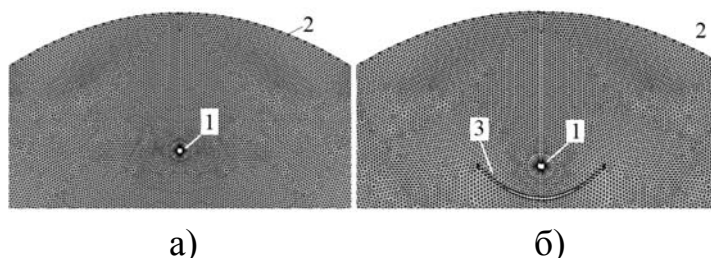


1 – источник излучения; 2 – отражатель; 3 – оптические лучи прямого излучения; 4 – оптические лучи отраженного излучения; 5 – поле интенсивности излучения

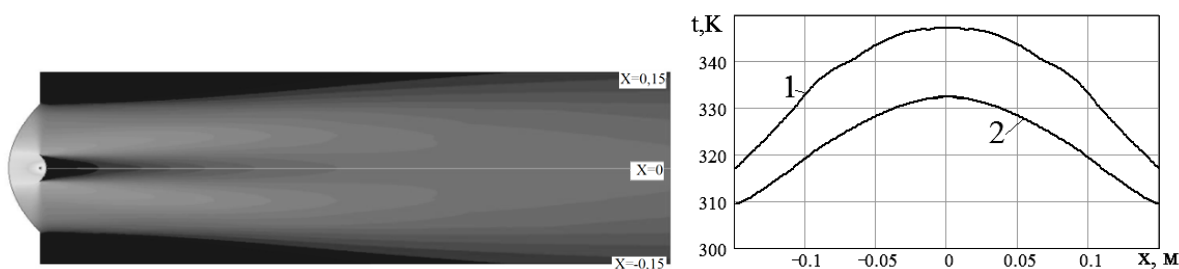
**Рисунок 3. Соответствие хода лучей оптической модели и поля интенсивности излучения тепловой модели**

Анализ распределения потоков энергии ИК системы показывает, что 49% мощности источника излучения падает на площадку облучения шириной 300 мм, а 51% мощности рассеивается в окружающее пространство, из которых 5,2% - через поверхность отражателя.

Для уменьшения рассеяния энергии излучения за пределы площадки облучения в рассматриваемую схему ИК системы включим затеняющий поверхность облучения параболический зеркальный отражатель с фокусным расстоянием 10 мм, разместив его так, что фокус параболы совпадает с центром источника излучения (см. рис.4). Установка затеняющего отражателя 3 позволила направить поток излучения источника в правую полуплоскость на отражатель 2, что привело к увеличению мощности излучения, падающего на площадку облучения, до 81,7% мощности источника. Поле потока излучения и диаграмма распределения радиационной температуры для схемы с затеняющим отражателем приведены на рис.5.



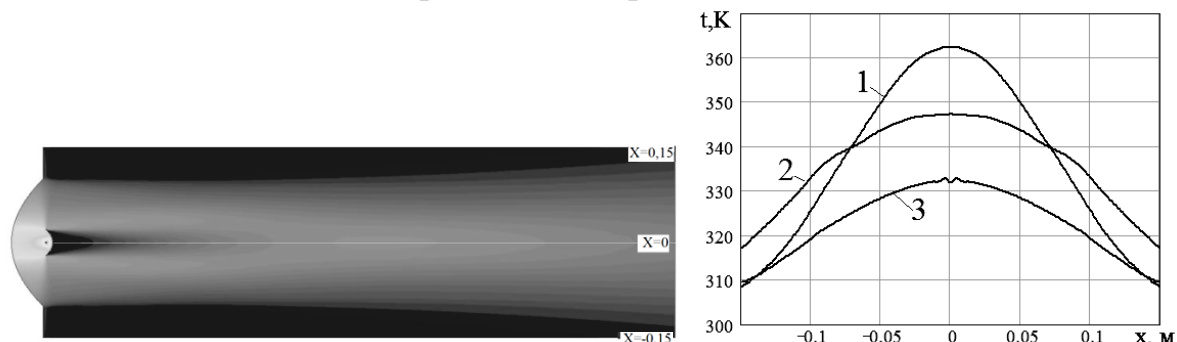
а) исходная схема; б) схема с затеняющим зеркальным отражателем; 1 – источник излучения; 2 – отражатель; 3 – затеняющий отражатель  
**Рисунок 4. Схема размещения затеняющего отражателя**



1 – схема с затеняющим отражателем; 2 – исходная схема

**Рисунок 5. Поле потока излучения и распределение радиационной температуры на облучаемой поверхности для схемы с затеняющим отражателем**

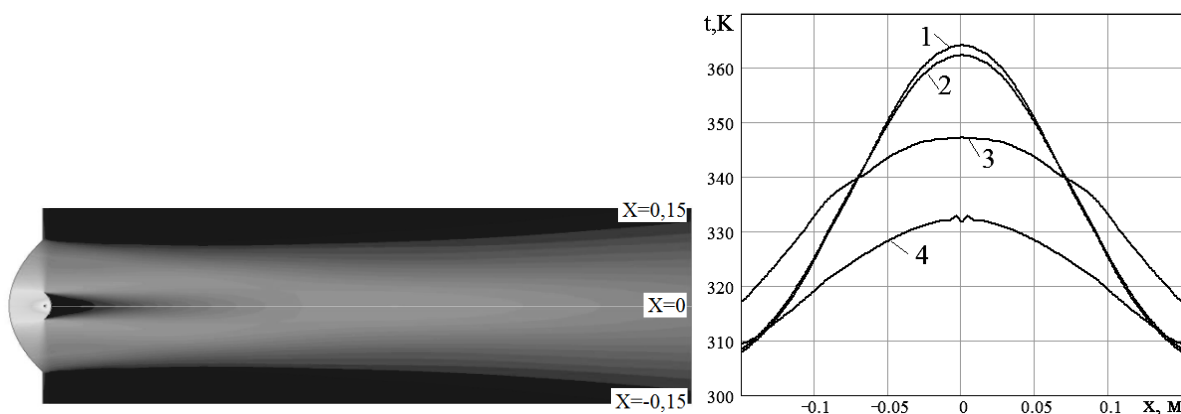
Далее сместим источник излучения вместе с затеняющим отражателем в направлении площадки облучения. Мощность излучения на площадку достигает максимума, равного 86,1%, при смещении 5 мм. Поле потока излучения и диаграмма распределения радиационной температуры для схемы со смещением приведены на рис.6.



1 – схема со смещением источника излучения; 2 – схема с затеняющим отражателем; 3 - исходная схема

**Рисунок 6. Поле потока излучения и распределение радиационной температуры на облучаемой поверхности для схемы со смещением источника излучения**

Следующим шагом концентрации потока излучения на площадке облучения выполним поворот периферийной части параболического профиля отражателя к центру, в результате которого получим увеличение мощности излучения на площадку до 87%. Поле потока излучения и диаграмма распределения радиационной температуры для схемы с поворотом части профиля приведены на рис.7.



1 – схема с поворотом части отражателя; 2 – схема со смещением источника излучения; 3 – схема с затеняющим отражателем; 4 - исходная схема

**Рисунок 7. Поле потока излучения и распределение радиационной температуры на облучаемой поверхности для схемы с поворотом части профиля отражателя**

### **Выводы.**

Тепловая модель переноса излучения позволяет проектировать эффективные системы ИК нагрева с использованием зеркально отражающих поверхностей, благодаря возможности определения полей

потоков излучения в системах с многократным отражением ИК излучения при наличии кондуктивного теплообмена в прозрачной для излучения среде.

### **Литература**

1. Дринберг А.Я., Снедзе А.А., Тихомиров А.В. Технология лакокрасочных покрытий. Л. – М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1951. – 528 с.
2. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
4. Суржиков С.Т. Вычислительный эксперимент в построении радиационных моделей излучающего газа. – М.: Наука, 1992. – 157 с.
5. The Discrete Ordinates (DO) Radiation Model. Radiative Heat Transfer. Modeling Heat Transfer. Fluent 6.0 manual // Help for Fluent 6.1 package. Fluent Inc., 2001. -V. 11.-P. 14-15.

### **РОЗРОБКА СИСТЕМ ІНФРАЧЕРВОНОГО НАГРІВУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ** *О.О. Завалий*

Розглянуто використання теплової обчислювальної моделі при розробці системи інфрачервоного випромінювання, призначеної для локального нагрівання віддаленої поверхні. Показано, що теплова модель переносу випромінювання дозволяє проектувати ефективні інфрачервоні системи з використанням дзеркально відбиваючих поверхонь, завдяки можливості визначення полів потоків випромінювання в системах з джерелом випромінювання кінцевих фізичних розмірів і багаторазовим відбиванням випромінювання при наявності кондуктивного теплообміну в прозорому для випромінювання середовищі.

### **DEVELOPMENT OF INFRARED HEATING SYSTEMS USING THERMAL COMPUTATIONAL MODELS** *A. Zavalii*

The paper presents usage of the thermal computational model for the development of infrared radiation system, intended for local warming of a remote surface. The presented thermal radiation transport model allows the design of efficient infrared systems using reflective mirror surfaces. This is due to ability to define fields of radiation fluxes in systems with a source of radiation of ultimate physical dimensions and multiple reflection of radiation in the presence of conductive heat transfer in a transparent to the radiation medium.