

УДК 536.24

© С. А. Королев, И. Г. Русяк

pppet@rov.ru, iva@nov.ru

АНАЛИЗ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Ключевые слова: теплообмен, излучение, конвекция, тепловая защита

Abstract. Analysis of radiation heat transfer indoor and ways of decrease heat loss.

Практика показывает, что большая доля теплообмена между поверхностями помещения осуществляется посредством теплового излучения. Для снижения теплообмена излучением применяют низкоэмиссионные теплоотражающие покрытия стекол в оконных конструкциях, теплоотражающие экраны за отопительными приборами, отражающую теплоизоляцию при утеплении стен.

Для исследования эффективности данных мероприятий была разработана модель сложного теплообмена помещения [1]. Конвективный теплообмен в объеме помещения моделируется на основе уравнений движения несжимаемой вязкой жидкости Навье-Стокса в приближении Буссинеска:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0; \quad (1)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} \beta (t - t_{cp}) + (\nabla \nu, \nabla) \mathbf{V}; \quad (2)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) t = (\nabla \frac{\nu}{Pr}, \nabla) t, \quad (3)$$

где \mathbf{V} - вектор скорости; ρ - плотность; p - давление; \mathbf{g} - вектор ускорения свободного падения; β - температурный коэффициент объемного расширения; t , t_{cp} - температура и средняя температура по объему помещения соответственно; ν - вязкость; Rr - число Прандтля.

В данной задаче встречаются границы следующих типов (Рис. 1): Γ_1 - поверхность, граничащая со смежными помещениями; Γ_2 - поверхность, граничащая с наружной стеной; Γ_3 - поверхность, граничащая со стеной в площади отопительного прибора; Γ_4 - поверхность, занятая оконным проемом.

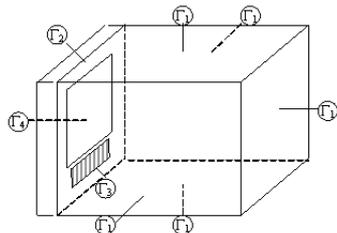


Рис. 1: Схема расчета теплообмена в помещении

На перечисленных границах задаются следующие условия теплообмена:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} + q^{\text{П}} = 0; \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial n} + q^{\text{П}} = \frac{t - t_{\text{H}}}{R_0 + 1/\alpha_{\text{H}}}; \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial n} + q^{\text{П}} = \tilde{q}_{\text{ПР}}; \quad (6)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial n} + q^{\text{П}} = q_{\text{ОК}} = -\lambda_1 \frac{\partial t_1(0)}{\partial x} + q_1^{\text{П}}(0). \quad (7)$$

Здесь λ - теплопроводность воздуха; q^π - лучистый тепловой поток, поглощаемый или излучаемый соответствующей поверхностью; n - вектор нормали; t_H - температура наружного воздуха; α_H - коэффициент теплоотдачи снаружи ограждения; R_0 - термическое сопротивление ограждения; $\tilde{q}_{пр}$ - удельный тепловой поток от отопительного прибора, с учетом тепловых потерь; $q_{ок}$ - удельный тепловой поток через окно.

Лучистый тепловой поток, падающий на элементарную площадку i -ой поверхности помещения dF_i , определяется на основе закона Стефана-Больцмана по следующей формуле:

$$q_i^\pi = \sum_{j, j \neq i} c_0 (\varepsilon_{пр})_{ij} \left[\left(\frac{T_{Rj}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] dF_i, \quad (8)$$

где c_0 - излучательная способность абсолютно черного тела (постоянная Стефана-Больцмана); $(\varepsilon_{пр})_{ij} = \varepsilon_i \varepsilon_j$; ε_i , ε_j - коэффициенты излучения рассматриваемых поверхностей; T_{Rj} - радиационная температура j -ой поверхности.

Радиационная температура j -ой поверхности определяется по формуле:

$$T_{Rj} = \int_{F_j} \frac{T_j \cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi l^2} dF_j, \quad (9)$$

где β_1 , β_2 - углы между нормальными к поверхностям теплообмена и прямой их соединяющей; l - расстояние между точками; F_j - площадь j -ой поверхности теплообмена.

Тепловой поток в области окна определяется из решения сопряженной задачи теплообмена через оконные системы, рассмотренной в [2]. Окно рассматривается как многослойная система, состоящая из слоев остекления и замкнутых воздушных прослоек. На границе оконной системы с помещением задается граничное условие теплообмена

$$-\lambda_1 \frac{\partial t_1(0)^+}{\partial x} q_1^\pi(0) = \lambda \frac{\partial t}{\partial n} + q^\pi. \quad (10)$$

Сопряженная задача теплообмена помещения решалась методом последовательных приближений. На каждой итерации алгоритма сначала решалась до сходимости задача теплообмена через оконную систему. На границе с помещением задавалось условие сопряжения (10). Затем производилась одна итерация решения задачи теплообмена в помещении, система уравнений (1)-(3) с граничными условиями (4)-(7). Этот процесс повторялся до сходимости поля температур в объеме помещения и оконной системе с заданной погрешностью.

Система уравнений термогравитационной конвекции (1)-(3) решалась численно методом контрольного объема. Был реализован модифицированный алгоритм SIMPLER [3].

Расчеты показали, что управление лучистым теплообменом помещения дает значительный потенциал энергосбережения. Однако в случаях применения различных технологий снижения теплообмена излучением возможны нежелательные эффекты понижения температуры и нарушения тепловлажностного режима наружных ограждающих конструкций. Поэтому необходима разработка подобных математических моделей и проведение теплотехнических расчетов.

Список литературы

1. Русяк И. Г., Королев С. А. Исследование теплового режима помещения с учетом теплопередачи через заполнения световых проемов // Вестн. ИжГТУ. 2001. Вып. 1. С. 58-61.
2. Русяк И. Г., Королев С. А. Особенности математического моделирования и проектирование энергосберегающих многослойных оконных систем // Вестн. ИжГТУ. 2005. № 4. С. 20-25.
3. Русяк И. Г., Королев С. А. Разработка численного алгоритма решения уравнений конвективного теплообмена в замкнутом объеме // Тр. IV междунар. науч.-технич. конф. "Информационные технологии в инновационных проектах". Ч.2. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. С. 40-42.