

2. Ливанский, Д. Г. Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка = Local Heating System to Improve Comfort of Spectators in the Stands of Indoor Ice Skating Rink / Д. Г. Ливанский // Наука и техника. – 2024. – № 3. – С. 225–234.

3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс] : диссертация ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Д. Г. Ливанский; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020.

УДК 628.88+697.35

### **Формирование микроклимата при радиаторном отоплении**

Ливанский Д. Г., Голуб Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*В данной статье рассматривается вопрос об эффективности применения радиатора в качестве отопительного прибора в типовом жилом помещении. С помощью методов математического моделирования температурных и скоростных полей проводится анализ эффективности работы радиатора с целью создания комфортных условий внутри помещения. Рассмотрены особенности распределения параметров микроклимата внутри помещения.*

Цель статьи – определить особенности формирования микроклимата при радиаторном отоплении. Выделить достоинства и недостатки радиаторного отопления в жилом помещении. Оценить степень влияния размеров окна и габаритов прибора на формирование микроклимата в помещении исходя из анализа полученных данных.

Для исследования работы радиаторного отопления в жилом помещении и особенностей формирования в нем температурных и скоростных полей была выбрана жилая комната с габаритными размерами 3×3×5 м (рис. 1).

Внутри данного помещения по центру наружной стены под окном (с размерами 1,8×1,8×0,4 м) установлен радиатор (1×0,65×0,12 м). Помещение имеет одну наружную стену с окном. Предполагается, что по бокам и над помещением располагаются аналогичные жилые помещения с расчетной температурой воздуха внутри равной + 18 °С, а под помещением располагается подвал с температурой + 5 °С.

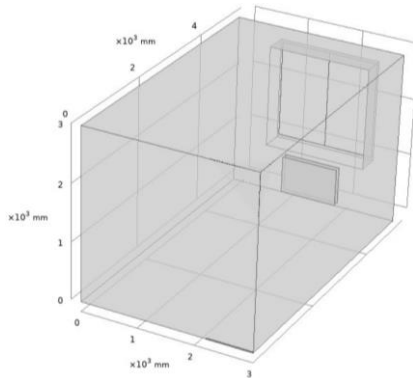


Рис. 2. Расчетная схема жилого помещения с радиатором

Расчетная температура наружного воздуха для исследования принята – 24 °С. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных и внутренних ограждающих конструкций принято в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Указанные особенности жилого помещения обуславливают необходимость использования математического моделирования физических процессов тепло- и массообмена путем решения трехмерных дифференциальных уравнений. Их решение проводилось на базе универсальной программной системы анализа – Ansys.

Перенос теплоты в воздушном пространстве помещений описывается уравнением [1, с. 226–228]

$$\rho_i c_i \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{w} \nabla^2 T \right)$$

Уравнение движения:

$$\rho_B \frac{d\vec{w}}{d\tau} = \vec{\rho}_e g - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{w}$$

Уравнение сохранения массы (неразрывности) в элементарном объеме  $dx \cdot dy \cdot dz$  воздушного пространства при  $j_v = 0$ :

$$\frac{\partial \rho_B}{\partial \tau} + \nabla (\rho_B \vec{w}) = 0$$

Уравнение радиационного теплового потока [2, с. 5]:

$$\nabla \cdot (I(r, s) s) + (a + \sigma_s) I(r, s) = a \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(r, s') \Phi(s \cdot s') d\Omega',$$

Более подробный анализ уравнений можно найти в разделе теории программы Ansys.

Граничные условия для системы вентиляции помещения задаются на основании нормативных [1, с. 228] данных об величине инфильтрирующегося наружного воздуха и расчетной его температуры в холодный период года.

$$T|_{\text{инф}} = t_{\text{инф}}, \quad w|_{\text{инф}} = w_{\text{инф}}.$$

Теплопоступления от отопительного прибора учитываются как равномерно распределенные источники теплоты по поверхности:  $q_{\text{пр}}$ .

Распределение температуры воздуха в центральном продольном сечении представлено на рис. 2.

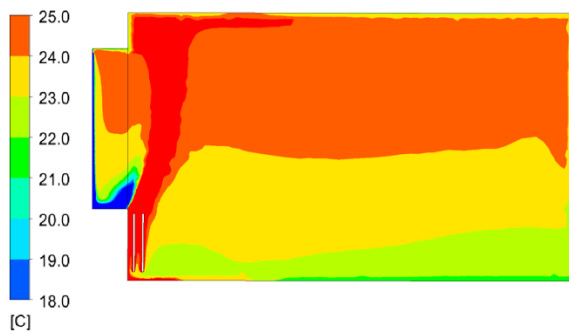


Рис. 3. Распределение температуры в центральном продольном сечении

Оно показывает увеличение температуры по высоте помещения от пола к потолку. Изменение температуры по высоте составляет приблизительно  $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$ . В левой части рис. 2 можно увидеть зону синего цвета – холодный воздух инфильтрирующийся через неплотности оконного заполнения, и зону красного цвета – тёплый воздух, поднимающийся от радиатора отоп-

ления и препятствующий распространению холодного воздуха вглубь помещения.

Приведенный на рис. 3 график отображает изменение температуры по высоте в центре в геометрическом центре помещения.

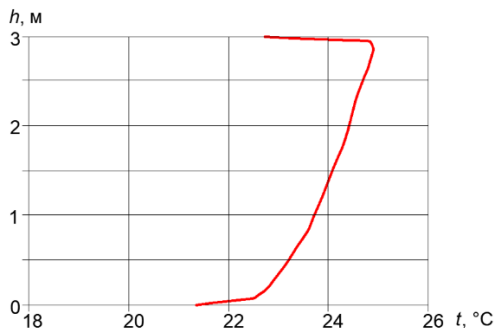


Рис. 3. График зависимости температуры от высоты помещения в геометрическом центре помещения

Как видно из рис. 3, для принятых граничных условий сформированный тепловой режим обеспечивает некоторый перегрев воздуха относительно оптимальных значений температур согласно ГОСТ 30494. Но при этом значения температур в обслуживаемой зоне помещения находятся в пределах допустимых значений. Однако стоит отметить, что характер распределения температуры по высоте полностью не соответствует эталонному, при котором наибольший комфорт для человека обеспечивается при постепенном охлаждении воздуха от пола к потолку, как, например, при напольном отоплении.

На рис. 4 видно, расположение зоны повышенных скоростей, формируемой над отопительным прибором, которая подобно воздушной тепловой завесе создаёт барьер для поступления холодного воздуха со стороны окна.

Подвижность воздуха в помещении находится в пределах оптимальных значений, кроме зон над отопительным прибором, оконного проёма и 0,1 метра от пола и потолка, что допускается ГОСТ 30494.

На рис. 5 видно, что значения скорости воздуха по высоте в геометрическом центре помещения не превышают оптимальных значений.

Резкие скачки сверху и снизу графика объясняются особенностями течения воздуха в непосредственной близости к поверхностям пола и потолка, однако параметры в этих зонах не нормируются.

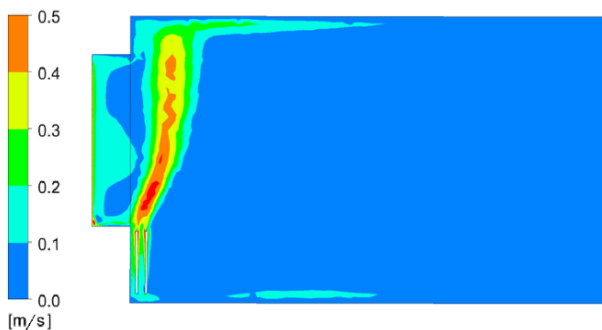


Рис. 4. Распределение скорости воздуха в центральном продольном сечении

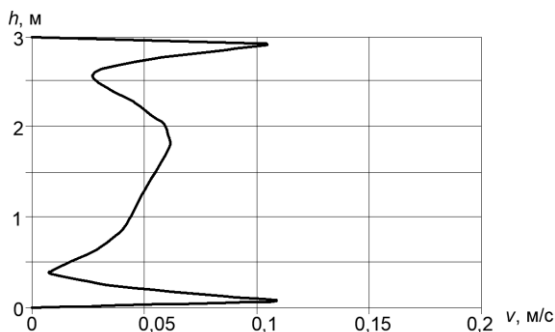


Рис. 5. График зависимости скорости воздуха от высоты помещения в геометрическом центре помещения

На рис. 6 представлена трёхмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения.

Стоит отметить, что часть воздуха не проходит над отопительным прибором и не подхватывается горячим восходящим потоком вопреки предыдущим наблюдениям. Поток, проходящий мимо отопительного прибора, расстилается по поверхности пола, в то время как восходящий поток от радиатора (конвектора) поднимается к потолку. Этим можно объяснить противоречие эталонному для комфорта человека распределению температуры по высоте помещения, которое упоминалось в статье ранее.

На рис. 7 представлено распределение температуры по сечению на расстоянии 0,12 м от поверхности наружной стены.

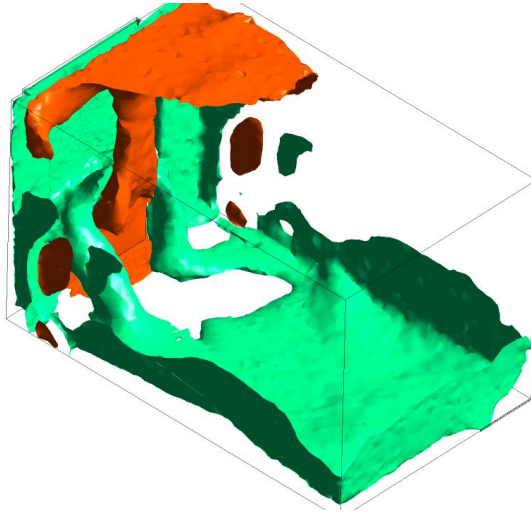


Рис. 6. Трёхмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения

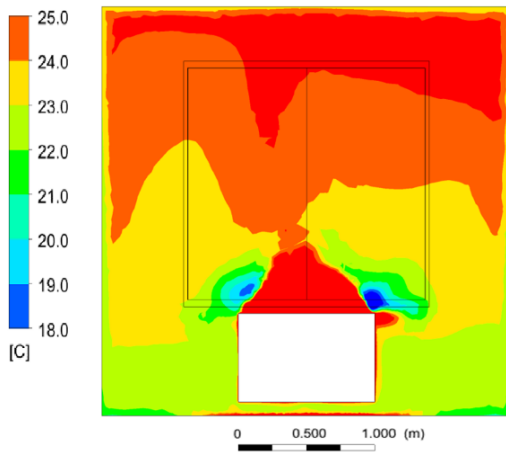


Рис. 7. Распределение температуры по сечению на расстоянии 0,12 м от поверхности наружной стены

Явно видно, что тёплый восходящий поток воздуха с двух сторон отсечён потоками холодного воздуха и меньше по ширине, чем отопительный прибор. Можно сделать оценочный вывод, ширина восходящего потока тёплого воздуха на  $\approx 25\%$  меньше, чем фактическая ширина прибора. Данное обстоятельство приводит к образованию в помещении зон дискомфортных параметров.

### **Выводы**

1. Радиаторное отопление создаёт в рассматриваемом помещении микроклимат, в котором параметры воздуха соответствуют допустимым параметрам, нормируемым в ГОСТ 30494. Следовательно, оно выполняет свои основные задачи. Однако с точки зрения обеспечения наиболее комфортных параметров микроклимата для человека радиаторное отопление имеет свои недостатки.

2. Моделирование трёхмерных температурных и скоростных полей позволяет рассмотреть созданную модель с разных сторон и обнаружить, на первый взгляд, неочевидные недостатки радиаторного отопления.

3. Зоны пониженного комфорта по краям окна в помещении формируются из-за того, что поток тёплого воздуха, восходящий от отопительного прибора, не перекрывает всю ширину окна. Для устранения этих зон ширина радиатора должна быть больше, чем ширина окна.

### **Литература**

1. Ливанский, Д. Г. Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка = Local Heating System to Improve Comfort of Spectators in the Stands of Indoor Ice Skating Rink / Д. Г. Ливанский // Наука и техника. – 2024. – № 3. – С. 225–234.

2. Денисихина, Д. М. Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов / Д. М. Денисихина // Науковедение. – 2014. – № 3 (22).

3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс] : диссертация ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Д. Г. Ливанский ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020.