

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ЗОНЕ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ПРИ ОТОПЛЕНИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Е.В. Денисюк, А.Н. Нагорная

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Проведено численное моделирование в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation процесса теплоотдачи от отопительных приборов с расчетной и нормативной площадью нагревательной поверхности. Построены термограммы распределения температуры в отапливаемом помещении и на поверхности окна. Произведена оценка температурного режима поверхности светопрозрачных конструкций на возможность конденсации влаги. Обозначена проблема возникновения зон недопустимо низкой температуры на поверхности оконных проемов при индивидуальном регулировании теплоотдачи отопительных приборов и завышенной расчетной площади поверхности.

Ключевые слова: SolidWorks Flow Simulation, тепловой поток от отопительного прибора, конденсация влаги на поверхности светопрозрачных конструкций.

Задачей данной работы является моделирование теплового режима отапливаемого помещения при различных размерах отопительных приборов, а также при различных температурах теплоносителя на входе и выходе в отопительный прибор. Для моделирования теплового режима используется программный модуль Flow Simulation, который является модулем гидрогазодинамического анализа в среде SolidWorks [1].

Отопительный прибор – один из основных элементов систем отопления, предназначенный для передачи тепла от теплоносителя в обогреваемые помещения. Мощность и, следовательно, размеры отопительного прибора определяются в результате расчета теплового баланса теплоты, учитывающего все теплопотери и теплопоступления в процессе эксплуатации помещения. Стоит заметить, что к выбору и расположению отопительных приборов предъявляются определенные требования [2].

Размещение отопительного прибора в помещении возможно как у наружной, так и у внутренней стены. На первый взгляд целесообразна установка прибора у внутренней стены помещения, так как сокращается длина труб, подающих и отводящих теплоноситель от прибора. Кроме того, увеличивается теплопередача такого прибора-радиатора в помещение (примерно на 7 % в равных температурных условиях) вследствие интенсификации лучистого теплообмена и устранения дополнительных теплопотерь через наружную стену. Все же подобное размещение прибора допустимо лишь в южных районах России с короткой и теплой зимой, так как для районов с холодными зимами оно сопровождается неблагоприятным для здоровья людей движением воздуха с пониженной температурой у пола помещений.

В средней полосе и северных районах России целесообразно устанавливать отопительный прибор вдоль наружной стены помещения и особенно

под окно. При таком размещении прибора возрастает температура внутренней поверхности в нижней части наружной стены, что повышает тепловой комфорт помещения. Поток теплого воздуха при расположении прибора под окном препятствует образованию ниспадающего потока холодного воздуха и движению воздуха с пониженной температурой у пола помещения [2].

Еще одной важной причиной установки отопительного прибора под световым проемом является предотвращение образования конденсата на поверхности окна. Конвективный тепловой поток, образующийся над нагретой поверхностью отопительного прибора, увеличивает температуру на поверхности окна, не давая опуститься ей температуры точки росы.

Расчет отопительных приборов производится исходя из уравнения теплового баланса помещения, которое отражает дефицит или избыток теплоты в помещениях здания. Основными составляющими теплопотерь здания являются потери тепла через наружные ограждающие конструкции, на нагревание наружного воздуха, инфильтрующегося через ограждающие конструкции, а также на нагревание воздуха, поступающего вследствие несбалансированной вытяжной вентиляции.

Стоит заметить, что определение тепловых потерь в соответствии с действующими нормами [3] производится при расчетной температуре наружного воздуха, которая соответствует средней температуре наружного воздуха наиболее холодной пятидневки ($t_{н}$), соответствующей коэффициенту обеспеченности $k_{об} = 0,92$ согласно [4, табл. 1].

В свою очередь эксплуатация систем отопления, как правило, производится при температурах наружного воздуха выше расчетной. При прежнем температурном графике системы отопления это провоцирует избыток поступающего в помещение тепла. Выходом является регулирование теплоот-

дачи прибора методом изменения поступающей в прибор температуры теплоносителя или методом изменения количества теплоносителя. Первый метод используется, как правило, в тепловых пунктах. Второй метод является индивидуальным и выполняется повсеместно. При индивидуальном количественном регулировании теплоотдача отопительного прибора изменяется вследствие изменения средней температуры воды в нем, которая в свою очередь напрямую зависит от расхода. Реализуется метод посредством установки на подающих подводках каждого отопительного прибора терморегулирующих клапанов. Принцип его работы заключается в автоматическом изменении положения клапана в зависимости от внутренней температуры в помещении.

Особенностью современных зданий является то, что согласно действующим нормативным требованиям к теплозащите зданий значительно сократились расчетные теплопотери отапливаемых помещений, поскольку сопротивление теплопередачи современных конструкционных материалов имеет очень высокие показатели. Этот факт провоцирует уменьшение расчетной площади отопительных приборов, что в свою очередь, противоречит требованию п. 6.4.4 [3], в котором говорится, что длину отопительного прибора следует определять расчетом и принимать не менее 75 % (для больниц, детских школьных и дошкольных учреждений) или 50 % (для жилых и общественных зданий) длины светового проема. В случае намеренного увеличения площади обогрева появляется необходимость в уменьшении средней температуры на поверхности прибора для предотвращения переизбытка тепла в помещении.

Таким образом, в результате снижения средней температуры теплоносителя на поверхности прибора конвективный поток, обладающий низкой подъемной силой, распадается в зоне оконного проема, оставляя его верхнюю зону холодной. Именно такие зоны оконных проемов больше всего подвержены риску выпадения конденсата на поверхности. Кроме того, слабый конвективный поток уменьшает интенсивность конвективного теплообмена в помещении, что способствует ухудшению микроклимата в рабочей зоне.

Изложенную выше теорию развития конвективного потока от прибора разной площади и с различной средней температурой поверхности рассмотрим на примере класса школьного учреждения.

Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 согласно [4] составляет $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ согласно [5] принимается равной $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура точки росы в помещении составляет $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует влажности 40 %.

В качестве допущения принимаем, что потери теплоты происходят только через ограждающие конструкции. Потери на нагрев вентиляционного и инфильтрующегося воздуха отсутствуют.

Для отопления помещения используется чугунный секционный радиатор МС-140, высотой 500 мм. Отопительные приборы установлены под оконными приемами.

Основным критерием мощности конвективного потока, создаваемого отопительным прибором, является поверхностная плотность теплового потока $q_{\text{пр}}$, Вт/м², передаваемого через 1 м² площади прибора. Данный показатель определяется уравнением [2]:

$$q_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопередачи отопительного прибора, определяется экспериментально для каждого типа прибора, м²·°C/Вт; $\Delta t_{\text{ср}}$ – температурный напор отопительного прибора, определяется следующим образом [2]:

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}, \quad (2)$$

$t_{\text{ср}}$ – средняя температура теплоносителя, принимается как среднее арифметическое между температурой входящей $t_{\text{вх}}$ и температурой выходящей $t_{\text{вых}}$ в приборе, °C, принимается согласно температурному графику системы отопления в зависимости от температуры наружного воздуха.

При температуре наружного воздуха равной $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$, температурный напор отопительного прибора вычисляется в соответствии с выражением (2):

$$\Delta t_{\text{ср}} = (95+70)/2 - 20 = 62,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таким образом, площадь нагревательной поверхности прибора будет прямо пропорциональна теплоотдаче прибора $Q_{\text{пр}}$, Вт, и обратно пропорциональна плотности теплового потока прибора $q_{\text{пр}}$, Вт/м² [2]

$$F_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}} / q_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь нагревательной поверхности отопительного прибора, м².

В результате расчетов получена требуемая плотность теплового потока отопительного прибора 720 Вт/м^2 , что соответствует площади поверхности нагрева $1,8\text{ м}^2$ или 8 секциям указанного отопительного прибора; число секций распределяется пропорционально длинам оконных проемов.

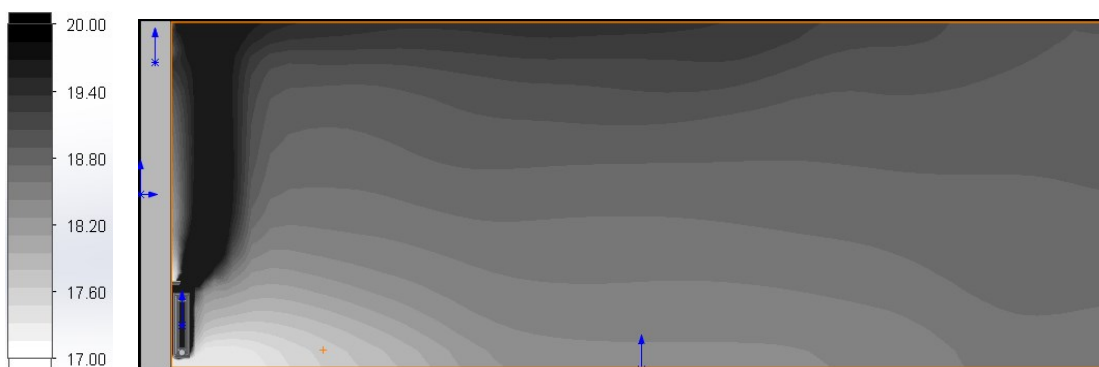
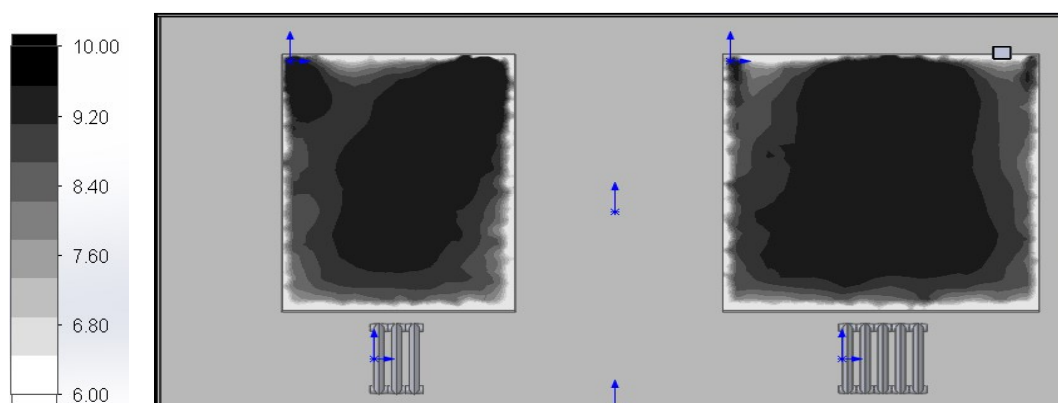
Температуру на поверхности прибора условно принимаем равной средней температуре теплоносителя в отопительном приборе, то есть $t_{\text{ср}}$, °C.

Моделирование тепловых и воздушных потоков в помещениях с помощью CFD программ рассмотрено в некоторых работах [6].

Результаты компьютерного моделирования теплового потока отопительного прибора при расчетной площади поверхности приведены далее.

Локальный нагрев в области расположения прибора создает мощный вертикальный градиент температуры (рис. 1). Формируется интенсивное подъемное течение, высота которого соответствует высоте помещения. Средняя температура помещения в стационарном режиме составляет $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует расчетному значению.

Следствием высокого значения плотности теплового потока над отопительным прибором является равномерный прогрев поверхности окна по всей высоте (рис. 2). Незначительные зоны кон-

Рис. 1. Распределение температуры в помещении при $t_n = -34\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 82,5\text{ }^\circ\text{C}$ Рис. 2. Распределение температур на поверхности окна при $t_n = -34\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 82,5\text{ }^\circ\text{C}$

денсации сосредоточены по краям окна в зоне стыков с наружными стенами. В качестве нижнего предела шкалы температур принята температура точки росы.

Аналогичная картина наблюдается при других температурах наружного воздуха при неизменном значении площади нагревательной поверхности (рис. 3, 4). Температура теплоносителя в системе определяется согласно графику в зависимости от температуры наружного воздуха t_n .

Однако, как упоминалось ранее, согласно требованию п. 6.4.4 [3] требуется перекрывание светового проема отопительным прибором на 75 % для рассматриваемого помещения школьного учреждения. Это неизбежно приводит к уменьшению температурного напора Δt_{cp} , и, следовательно, к уменьшению плотности теплового потока $q_{пр}$.

Для рассмотренного примера необходимая длина отопительного прибора из условия перекрывания ширины окна составит 2,5 м, что при высоте прибора 500 мм соответствует площади $5,61\text{ м}^2$ (10 и 13 секций соответственно). Расчетная плотность теплового потока при тех же расчетных теплопотерях и увеличенной площади прибора снижается и составляет 240 Вт/м^2 , что соответствует средней температуре поверхности прибора $42\text{ }^\circ\text{C}$ и устанавливается в результате местного количественного регулирования.

Результаты моделирования теплоотдачи отопительного прибора при длине равной 75 % длины оконного проема приведены далее.

Прибор с более низкой температурой поверхности создает поток с меньшей подъемной силой (рис. 5). Это приводит к быстрому остыванию конвективного потока до температуры внутреннего воздуха и его «распаду» в рабочей зоне. Результатом является ухудшение конвекции в помещении, образование зон повышенных и пониженных температур из-за ухудшения естественной циркуляции воздуха, а также к понижению температуры в верхней части поверхности окна и увеличению вероятности выпадения конденсата.

Как видно из рис. 6, вся поверхность окна подвержена выпадению конденсата. Согласно полученным в результате моделирования данным, средняя температура на поверхности окна составляет $3,35\text{ }^\circ\text{C}$.

Схожая картина наблюдается при $t_n = -20\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 7). Однако средняя температура на поверхности окна увеличивается до $5,35\text{ }^\circ\text{C}$.

Данная тенденция сохраняется при увеличении температуры наружного воздуха. Так при $t_n = -10\text{ }^\circ\text{C}$ средняя температура на поверхности окна увеличивается до $8,84\text{ }^\circ\text{C}$, что говорит об отсутствии конденсатообразования на поверхности окна (рис. 8).

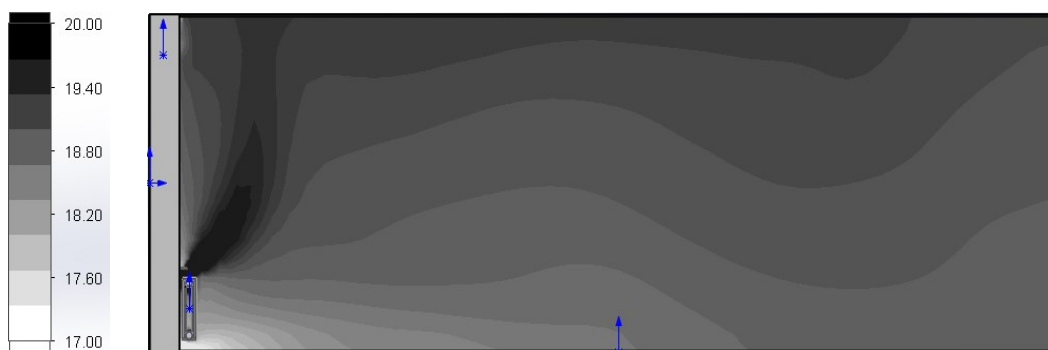


Рис. 3. Распределение температуры в помещении при $t_n = -20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 54,5\text{ }^\circ\text{C}$

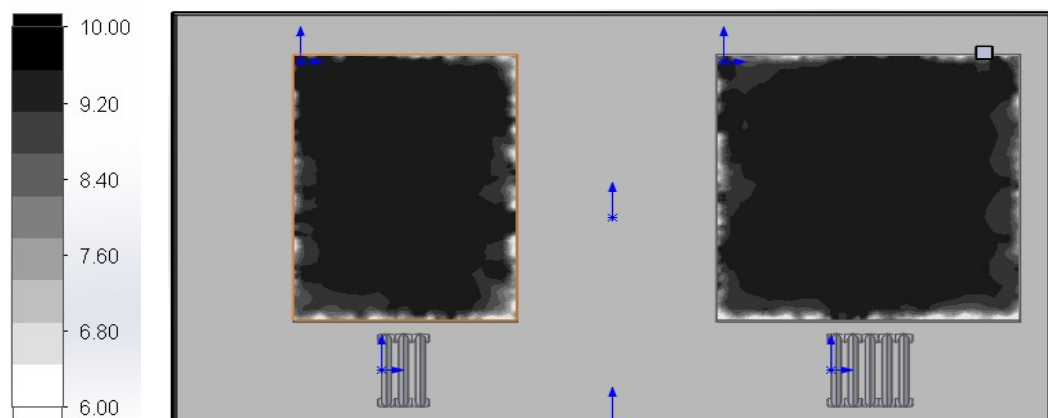


Рис. 4. Распределение температуры на поверхности окна при $t_n = -20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 54,5\text{ }^\circ\text{C}$

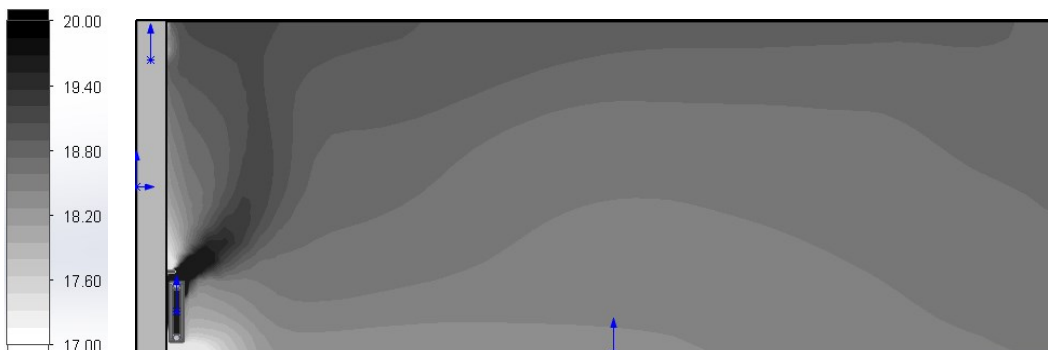


Рис. 5. Распределение температуры по помещению при $t_n = -34\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 42\text{ }^\circ\text{C}$

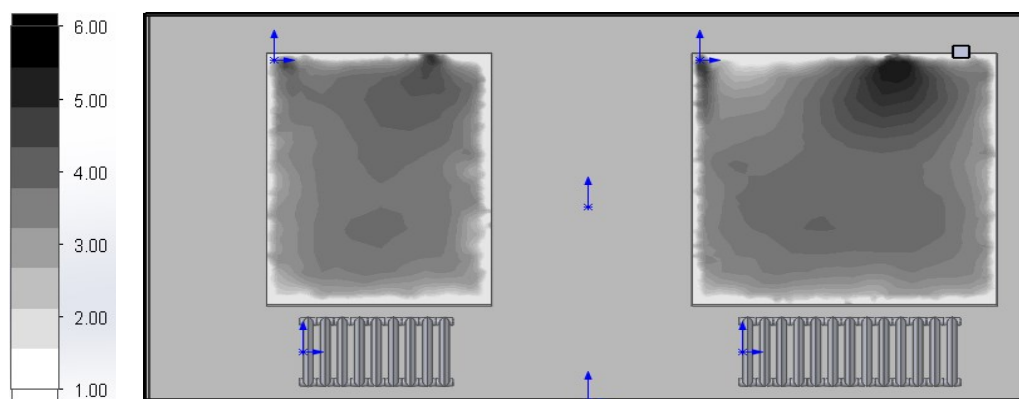
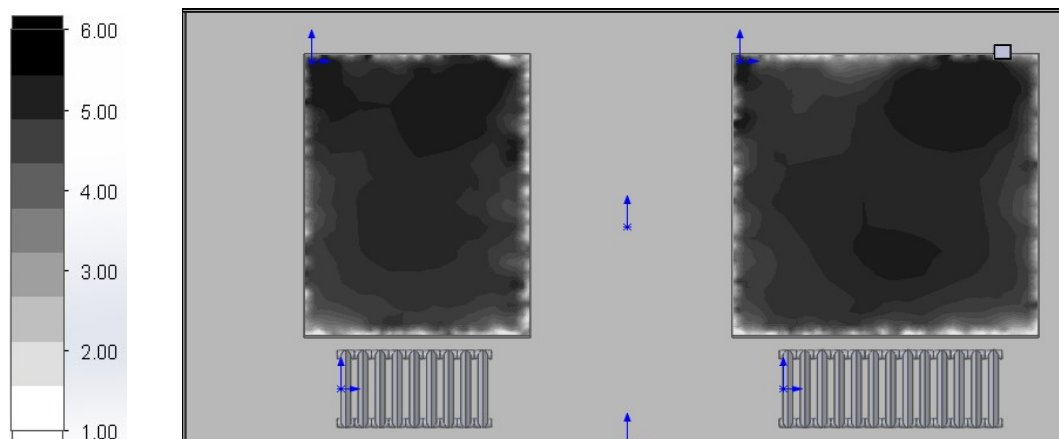
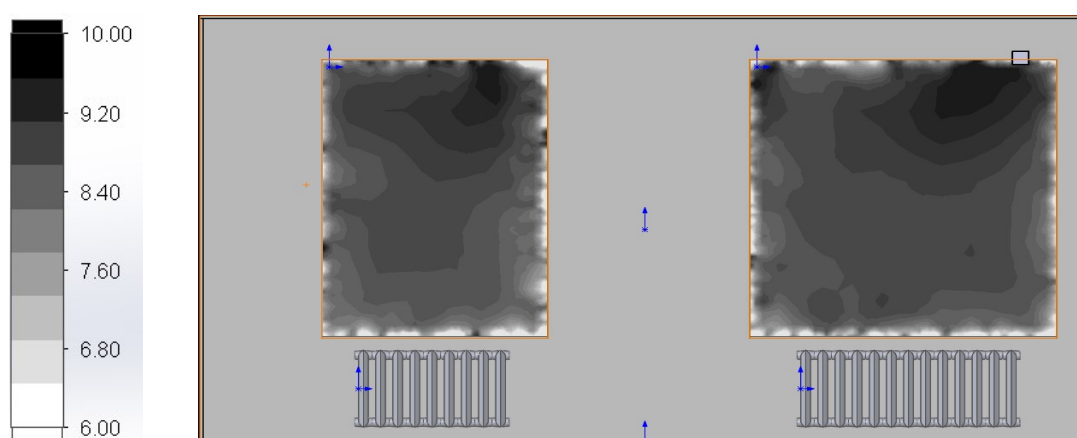


Рис. 6. Распределение температуры на поверхности окна при $t_n = -34\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 42\text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 7. Распределение температуры на поверхности окна при $t_n = -20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 35\text{ }^\circ\text{C}$ Рис. 8. Распределение температуры на поверхности окна при $t_n = -10\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{cp} = 31\text{ }^\circ\text{C}$

В данной работе рассмотрена проблема обогрева и возможности конденсации влаги на поверхности светопрозрачных конструкций при разной площади отопительных приборов в условиях эксплуатации систем отопления. Причиной изменения площади прибора выше расчетной является требование, изложенное в п.6.4.4 [3], согласно которому длина нагревательного прибора должна составлять 75 % от длины светового проема (для школьных учреждений). В данном случае для исключения перетопа помещения необходимо снизить плотность теплового потока отопительного прибора путем снижения средней температуры на его поверхности, что реализуется посредством местного количественного регулирования. Конвективный поток, создаваемый прибором с расчетной площадью и обладающий достаточной подъемной силой, обеспечивает равномерное распределение температуры по всему объему помещения, а также температуру на поверхности окна выше температуры точки росы. Этого нельзя сказать про прибор с завышенной площадью, поскольку прибор с более низкой температурой поверхности создает конвективный поток с меньшей

подъемной силой, что в период низких температур наружного воздуха приводит к снижению температуры поверхности окна ниже температуры точки росы. Снижение плотности теплового потока при сохранении достаточно высокого температурного графика может быть достигнуто применением низких отопительных приборов высотой 350 мм, либо применением приборов конвективного типа.

Таким образом, применение приборов с увеличенной площадью нагревательной поверхности весьма ограничено в условиях холодного климата с точки зрения конденсатообразования. Особенно эта проблема актуальна в помещениях с повышенной влажностью воздуха, что характерно для мест массового скопления людей (больницы, образовательные учреждения и т.д.). Кроме того, применение приборов с увеличенной площадью поверхности приводит к увеличению стоимости системы отопления.

Литература

1. Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в *SolidWorks Simulation* / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

2. Сканава, А.Н. *Отопление: учебник для вузов* / А.Н. Сканава, А.Н. Махов. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 576 с.

3. СП 60.13330.2012. *Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха*. – М.: Минрегион России, 2012. – 81 с.

4. СП 131.13330.2012. *Строительная климатология*. – М.: Минрегион России, 2012. – 113 с.

5. ГОСТ 30494–96. *Здания жилые и общественные. параметры микроклимата в помещении*. – М.: Госстрой России, 1999. – 7 с.

6. Нагорная, А.Н. *CFD-моделирование теплового и воздушного режима кинотеатра* / А.Н. Нагорная, Е.В. Денисюк // *Вестник ЮУрГУ. Серия. «Строительство и архитектура»*. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 61–63.

Денисюк Евгений Владимирович, аспирант кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), wiide@mail.ru

Нагорная Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), nagornaya74@mail.ru

Поступила в редакцию 26 января 2015 г.

ANALYSIS OF TEMPERATURE CONDITIONS IN THE AREA OF TRANSLUCENT CLADDING AT SPACE HEATING

E.V. Denisiuk, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, wiide@mail.ru

A.N. Nagornaya, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, nagornaya74@mail.ru

Computational simulation in SolidWorks Flow Simulation software system for the process of heat emission from heating units with the nominal and specified heating surface area is performed. Thermograms of temperature distribution in a heated space and on the surface of a window are built. The assessment of temperature conditions of the surface of translucent structures is performed in terms of moisture condensation. The problem of the areas with low temperature on the surface of window embrasures is stated at individual regulation of heating capacity of heating units and over-estimated nominal surface area.

Keywords: SolidWorks Flow Simulation, heat flux from the heater, moisture condensation on the surface of translucent structures.

References

1. Alyamovskiy A.A. *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow, DMK Press Publ., 2010. 464 p.

2. Skanavi A.N., Mahov L.M. *Otoplenie* [Heating]. Moscow, ABC Publ., 2002. 576 p.

3. SP 60.13330.2012. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha* [Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Moscow, Russian Ministry of Regional Development Publ., 2012. 81 p.

4. SP 131.13330.2012. *Stroitel'naya klimatologiya* [Building Climatology]. Moscow, Russian Ministry of Regional Development Publ., 2012. 113 p.

5. ГОСТ 30494–96. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. parametry mikroklimate v pomeshcheniya* [Residential and public buildings. Microclimate parameters in the room]. Moscow, Russian State Building Publ., 1999. 7 p.

6. Nagornaya A.N., Denisiuk E.V. [CFD modeling of the thermal and air mode of movie theater]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2013, vol. 13, no. 2, pp. 61–63 (in Russ.).

Received 26 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Денисюк, Е.В. Оценка температурного режима в зоне светопрозрачных наружных ограждений при отоплении помещений / Е.В. Денисюк, А.Н. Нагорная // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 37–42.

REFERENCE TO ARTICLE

Denisiuk E.V., Nagornaya A.N. Analysis of Temperature Conditions in the Area of Translucent Cladding at Space Heating. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 2, pp. 37–42. (in Russ.)