

П.И. ДЯЧЕК,
д. т. н, проф., проф. кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ

А.Э. ЗАХАРЕВИЧ,
магистр т. н, ассистент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА В ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

(Окончание. Начало в № 5 — 2012)

Влияние секционирующих перегородок на формирование условий микроклимата

Наличие в помещении секционирующей перегородки или выполняющей подобные функции мебели в некоторых случаях негативно отражается на формировании полей параметров микроклимата. Влияние перегородки на микроклимат зависит от ее размеров и расположения во внутреннем пространстве помещения.

Основные отрицательные явления, которые возникают при установке перегородок, связаны с образованием застойных воздушных зон. Данное обстоятельство приводит к перегреву областей, где установлены отопительные приборы и (или) находятся прочие источники тепловыделений. При этом в других зонах, где наблюдаются потери теплоты, не компенсированные соответствующими теплопоступлениями, произойдет снижение температуры воздуха и ограждений.

Рекомендуется при установке перегородок (а также мебели и прочих предметов со значительными габаритами) размещать их так, чтобы сохранить возможность свободной циркуляции воздуха в помещении.

Если по объективным причинам перегородка должна быть установлена поперек движения воздушных потоков, то необходимо предусмотреть наличие под потолком и у пола открытых пространств для перетекания воздуха.

При отсутствии возможности исключить появление застойных зон следует рассматривать каждый изолированный объем помещения как отдельно отапливаемое пространство. То есть необходимо для каждой подобной области составлять отдельный тепловой баланс и решать вопрос о

способах обеспечения требуемых параметров микроклимата. Обязательна установка отопительного прибора при наличии в отгороженной зоне наружной стены.

В помещениях высотой 2,5 м при высоте секционирующей перегородки более 1,8 м от пола следует размещать отопительные приборы во всех выделенных зонах помещения, где теплопотери имеют место через полы (или боковые стены). При наличии в такой зоне теплопотерь только через верхнее перекрытие прибор следует устанавливать при высоте перегородки более 2 м. Также в отгороженной области помещения необходимо предусматривать отопление при высоте зазора менее 0,5 м (от верха перегородки до потолка).

Пример формирования полей температуры и скорости в помещении нижнего этажа при напольном отоплении и наличии перегородки высотой 1,5 м, установленной в центре помещения, представлен на рис. 1.

Поскольку потери теплоты формируются через наружные ограждения, то мощности нагревательных элементов, расположенных слева от перегородки, не достаточно для компенсации теплопотерь данной области помещения. Поступление теплоты в эту зону от нагревательных элементов, расположенных в правой части помещения, затруднено перегородкой. Поэтому средняя температура воздуха слева от перегородки снижается. Справа от перегородки по причине избытка тепловыделений над теплопотерями в этой части помещения температура увеличивается. В результате разность средних температур воздуха в левой и правой частях помещения составляет 2,5 °С.

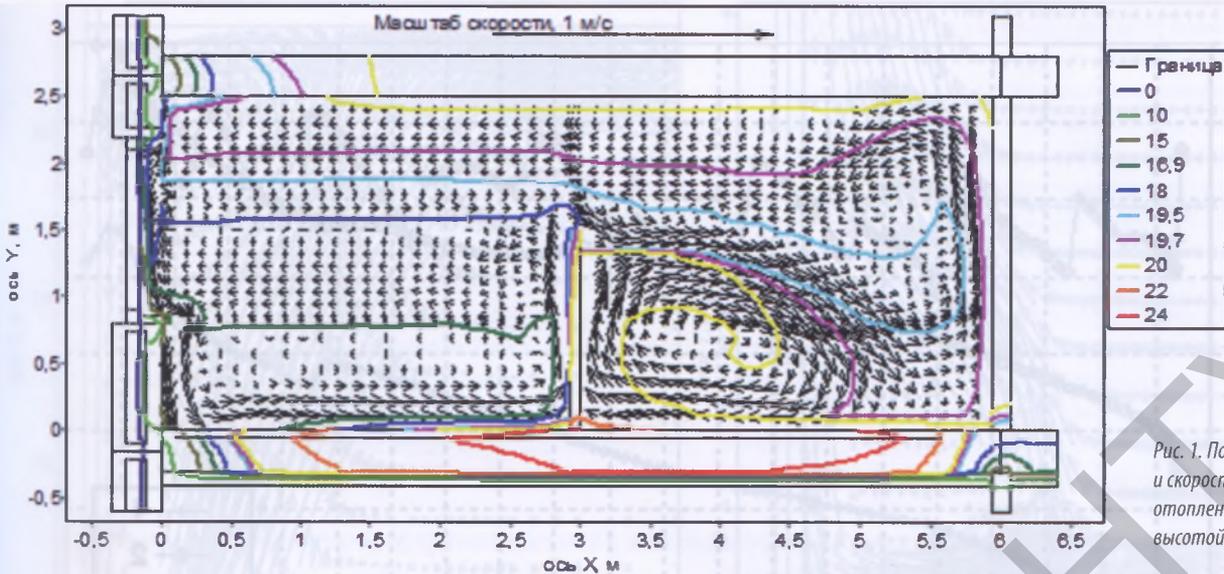


Рис. 1. Поля температуры и скорости. Напольное отопление. Перегородка высотой 1,5 м

Влияние сплошного остекления значительной высоты на выбор способа обеспечения требуемых условий микроклимата

Решение задачи обеспечения микроклимата в помещениях большой высоты (атриумах, многосветных пространствах) со сплошным остеклением фасада имеет свои особенности. На внутренней поверхности протяженного по высоте остекления формируется мощный нисходящий поток охлажденного воздуха, интенсивность которого зависит от высоты светопрозрачного ограждения и его термического сопротивления. Ниспадающий поток воздуха при движении вдоль остекления существенно охлаждается, что служит причиной образования конденсата или даже обледенения внутренней поверхности стекол. При этом температура внутренней поверхности остекления в нижней части имеет более низкое значение, чем в его верхней части.

Напольное отопление не может применяться в помещениях значительной высоты со сплошным остеклением фасада в качестве основной отопительной системы, поскольку не в состоянии препятствовать настианию холодного потока на поверхность пола. Кроме того, в таких условиях напольное отопление не может обеспечить требуемую теплоотдачу в помещение без превышения нормативных значений максимально допустимой температуры поверхности пола, представленных в [3].

Конвективные приборы, расположенные под витражом значительной высоты, позволяют отклонить траекторию холодного воздушного потока вверх и вывести охлажденный воздух из обслуживаемой зоны. Однако проблема образования конденсата (или инея) на поверхности остекления при этом сохраняется.

На рис. 2 изображены поля температуры и скорости воздуха в многосветном пространстве торгово-развлекательного центра. Витраж высотой 20 м имеет сопротивление теплопередаче $R_1 = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Конвекторы расположены на полке под остеклением.

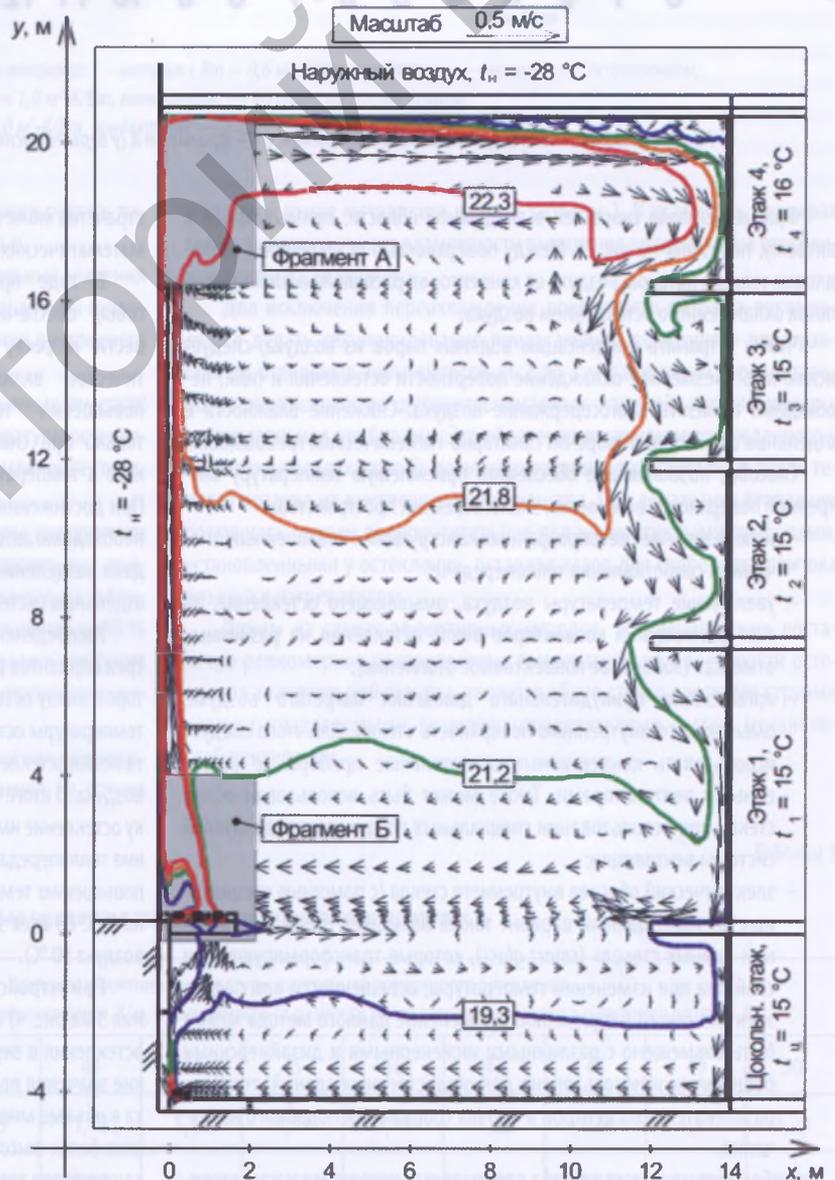


Рис. 2. Поля температуры и скорости в многосветном пространстве торгово-развлекательного центра

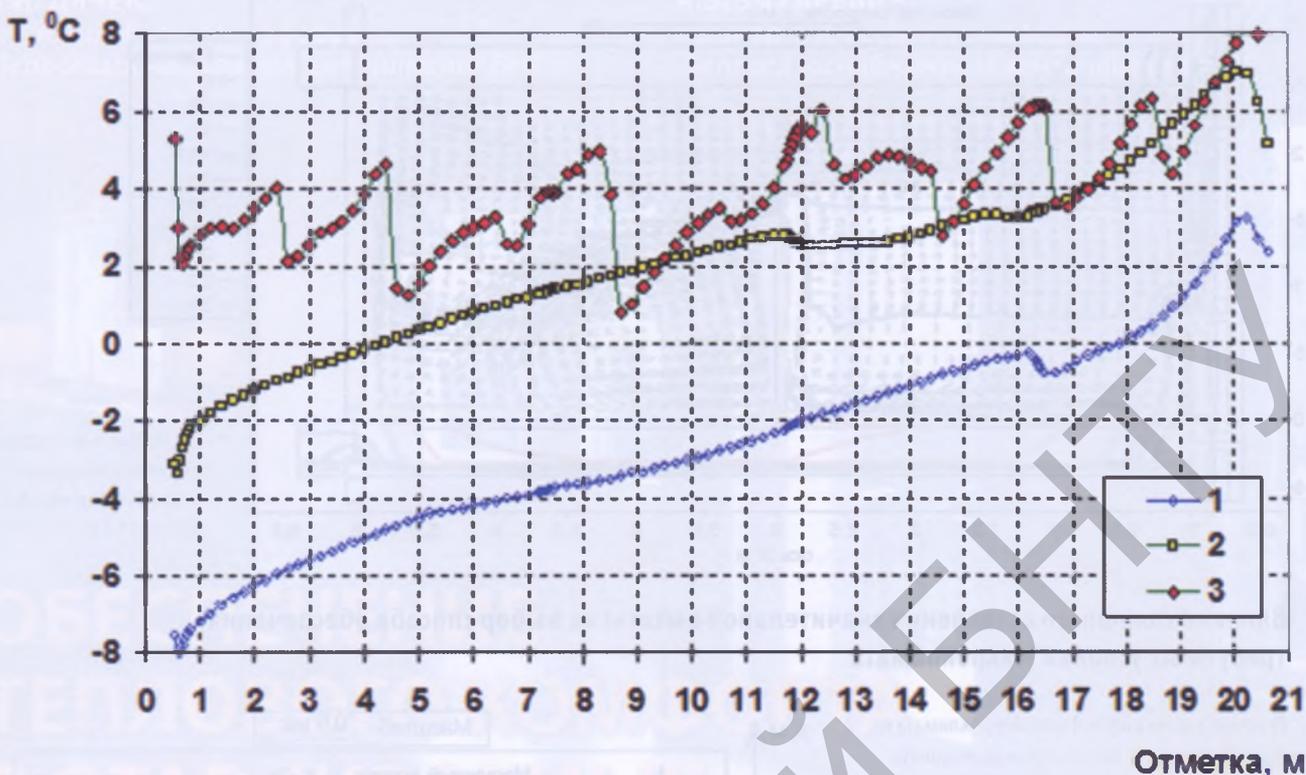


Рис. 3. Фрагменты поля скорости вблизи остекления: а — фрагмент А (у верхней части витража); б — фрагмент Б (внизу витража)

Фрагменты поля скоростей в воздушной области, примыкающей к витражу, показаны на рис. 3. Между поверхностью остекления и восходящим теплым потоком воздуха от конвекторов расположен нисходящий поток охлажденного остеклением воздуха.

Чтобы устранить конденсацию водяных паров из воздуха, следует исключить чрезмерное охлаждение поверхности остекления и (или) необходимо понизить влажосодержание воздуха. Снижение влажности в отдельных случаях противоречит санитарно-гигиеническим требованиям.

Способы, позволяющие обеспечить приемлемую температуру внутренней поверхности остекления в многосветных пространствах:

- использование светопрозрачных конструкций с повышенным значением сопротивления теплопередаче;
- увеличение температуры воздуха, омывающего остекление, за счет размещения конвекторов возле остекления на различных отметках (зональное конвективное отопление);
- организация принудительного движения нагретого воздуха, омывающего внутреннюю поверхность стекол. Для этого следует использовать конвективные отопительные приборы со встроенными вентиляторами. Также может быть использован обдув стекол при использовании специальных воздухораспределителей системы вентиляции;
- электрический обогрев внутреннего стекла (с помощью специальных пленок). Данный вариант также возможен при использовании «умных стекол» (*smart glass*), которые трансформируют свои свойства при изменении температуры, освещенности или подаче электрического напряжения. Применение данного метода может быть совмещено с различными инженерными и дизайнерскими решениями и использовано для общественных зданий, торговых-развлекательных центров и прочих сооружений подобного назначения.

Выбор того или иного способа определяется условиями и характеристиками конкретного объекта. Возможна комбинация различных вариантов. Разработка проекта системы обогрева стекол многосветного про-

странства может осуществляться на основании расчета с использованием математических моделей процессов теплообмена.

В ходе проектирования необходимо учитывать, что все способы, обеспечивающие прогрев внутреннего стекла, могут привести к росту потерь теплоты. Следует предусматривать автоматическое включение систем, предназначенных специально для повышения температуры внутренней поверхности остекления, только при снижении температуры до критического значения, близкого к температуре точки росы, по сигналу соответствующего датчика. При достижении температуры, превышающей значение для точки росы, необходимо автоматически отключать прогрев стекла. Может быть оправдано разделение обширных площадей остекления на зоны с устройством отдельных систем нагрева.

Распределения температуры на внутренней поверхности витража для трех вариантов расчета представлены на рис. 4. При размещении конвекторов внизу остекления (линии 1 и 2) происходит существенное снижение температуры остекления в нижней части витража, поскольку на всем протяжении остекления сверху вниз движется все более охлаждающий поток воздуха. В итоге будет наблюдаться выпадение конденсата и инея, поскольку остекление имеет температуру ниже точки росы. Увеличение сопротивления теплопередаче витража от 0,6 до 1,0 м²·К/Вт приводит к существенному повышению температуры внутренней поверхности остекления: в среднем на 5 °С во всех зонах (при разности температур внутреннего и наружного воздуха 50 °С).

При устройстве конвективного отопления по зонам у остекления (линия 3 на рис. 4) практически нивелируется различие в уровне температур остекления в верхней и в нижней части витража. Несколько более высокие значения вверху объясняются температурной стратификацией воздуха в объеме многосветного пространства. Зональное отопление обеспечивает более высокие значения температуры, чем в условиях размещения конвекторов только внизу остекления.

На рис. 4 видно, что температура внутренней поверхности остекления при использовании конвективных отопительных приборов снижается

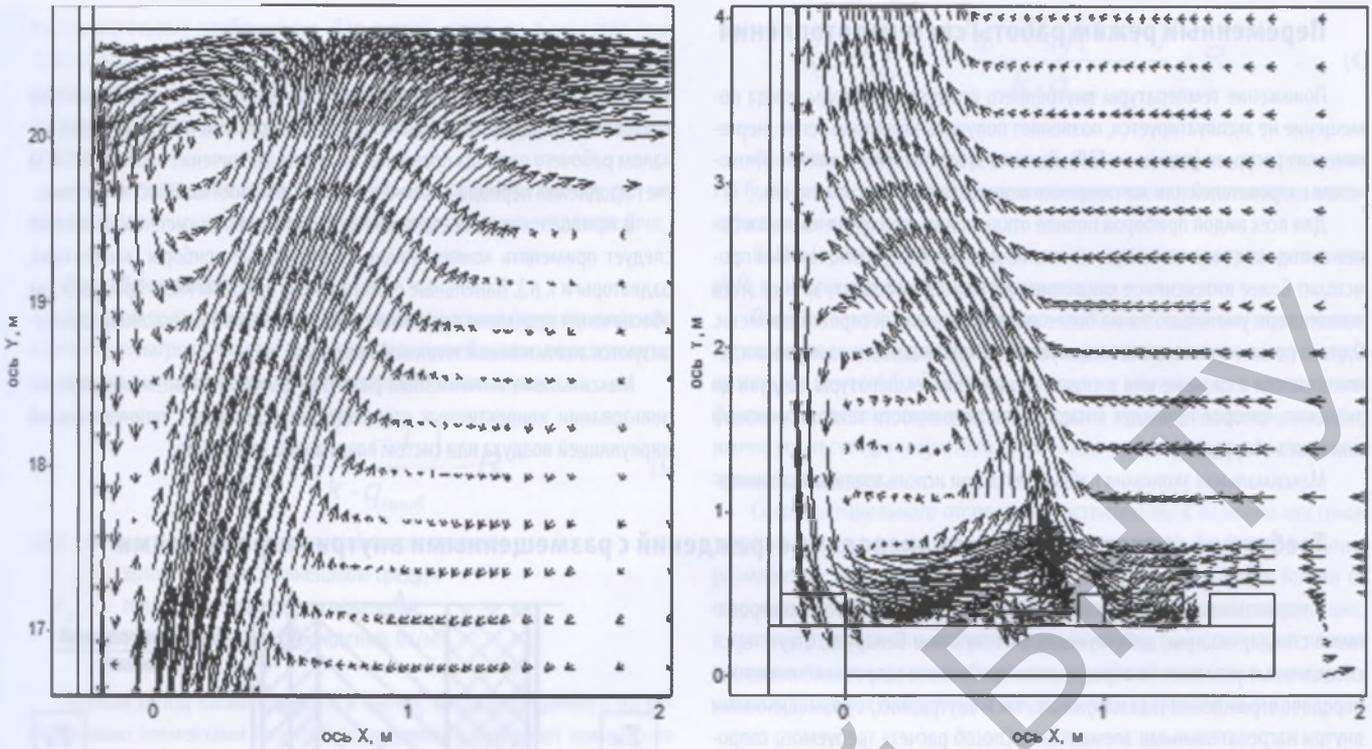


Рис. 4. Температура внутренней поверхности витража: 1 – витраж с $R_t = 0,6 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, конвекторы — на полке под остеклением; 2 – витраж с $R_t = 1,0 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, конвекторы — на полке под остеклением; 3 – витраж с $R_t = 1,0 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, конвекторы — у остекления через 2 м по высоте

по направлению сверху вниз. Снижение температуры можно считать линейным с достаточной для инженерных расчетов точностью.

Рекомендуемые к практическому использованию удельные значения снижения температуры (на 1 м высоты) для различных значений сопротивления теплопередаче витража R_t и разности температур внутреннего и наружного воздуха приведены в таблице 1.

При размещении конвекторов у остекления на различных отметках (зональное отопление), следует оценивать падение температуры остекления отдельно по высоте каждой зоны (между близлежащими конвекторами), используя данные, приведенные в таблице 1.

Можно рассчитать суммарное снижение температуры поверхности остекления определенной высоты при размещении отопительных приборов только под витражом. В таком случае значение, взятое из таблицы 1, следует уменьшить в два раза. Необходимость уменьшения на 50 % обусловлена тем, что в данном случае остекление омывается воздухом комнатной температуры, в то время как при зональном отоплении омывающий воздух имеет более высокую температуру.

В [1] (приложение Б) представлены примеры выполнения инженерной оценки снижения температуры поверхности остекления на основе

описанной выше методики и данных таблицы 1. В указанных примерах также выполнен анализ возможности выпадения конденсата на внутренней поверхности витража.

Для исключения переохлаждения поверхности витража рекомендуется делать секционирование прилегающего воздушного пространства на отдельные зоны высотой от 2 до 3 м с помощью горизонтально установленных воздухопроницаемых панелей, совмещенных с отопительными приборами. Это обеспечит отклонение охлажденного у остекления воздуха вглубь помещения и приход к остеклению более теплого воздуха из внутреннего пространства. При зональном отоплении размещать панели предпочтительнее под конвективными приборами, установленными у остекления, оставляя зазор для свободного притока воздуха к нагревателям.

Одним из самых эффективных методов, обеспечивающих достаточно равномерное распределение температуры на поверхности остекления значительной высоты, является обдув стекол плоскими струями воздуха, создаваемыми воздухораспределителями систем механической вентиляции.

Таблица 1

Рекомендуемые удельные значения снижения температуры

Сопротивление теплопередаче витража $R_t, \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	Удельное снижение температуры внутренней поверхности остекления в условиях естественной конвекции, $\text{К}/\text{м}$, в зависимости от разности температур внутреннего и наружного воздуха, К										
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0,6*	1,04	1,07	1,09	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,29
1,0	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06

* Для $R_t = 0,6 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ удельные значения снижения температуры приводятся в целях сравнения.

Переменный режим работы системы отопления

Понижение температуры внутреннего воздуха в периоды, когда помещение не эксплуатируется, позволяет получить экономию теплоэнергетических ресурсов (далее — ТЭР). Достичь этого позволяет полное отключение нагревателей или же снижение мощности системы отопления.

Для всех видов приборов полное отключение отопления является более выгодным, чем частичное снижение мощности. При отключении происходит более интенсивное снижение температуры воздуха, за счет этого теплопотери уменьшаются на более продолжительный отрезок времени. Однако полное отключение не допускается при опасности замерзания теплоносителя в системе или в случае понижения температуры воздуха до значения, которое приведет к нарушению сохранности технологического или иного оборудования.

Максимальная экономия наблюдается при использовании малоинер-

ционных отопительных приборов, обеспечивающих быстрый разогрев внутренней воздушной среды. Сокращение времени прогрева перед началом рабочего периода позволяет получить увеличение экономии ТЭР за счет продления периода отключения (или снижения мощности) системы.

В помещениях с переменным режимом работы системы отопления следует применять конвективные отопительные приборы (конвекторы, радиаторы и т. п.). Панельные отопительные приборы мало пригодны для обеспечения переменного режима работы отопления, поскольку характеризуются значительной тепловой инерцией.

Максимально интенсивный разогрев помещения возможен при использовании конвективных отопительных приборов с принудительной циркуляцией воздуха или систем воздушного отопления.

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждений с размещенными внутри нагревателями

В нормативных правовых актах в области технического нормирования и стандартизации, действующих в Республике Беларусь, отсутствуют специальные указания по определению требуемого сопротивления теплопередаче ограждений (как наружных, так и внутренних) с размещенными внутри нагревательными элементами. Способ расчета требуемого сопротивления теплопередаче, приведенный в [2], основан на использовании расчетного перепада между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции. Данная методика не пригодна для ограждений со встроенными отопительными элементами, потому что поверхность имеет более высокую температуру, чем внутренний воздух.

В методе теплового расчета панельно-лучистого отопления, представленном в [4], сопротивления теплопередаче ограждений с размещенными нагревателями включены в исходные данные. Информация о том, как выбрать необходимое значение сопротивления, отсутствует.

На рис. 5 представлен разрез ограждения с нагревательными элементами. Разделим его плоскостью, в которой размещены нагреватели (далее — «плоскость нагрева»), тогда значение сопротивления теплопередаче R_t , $m^2 \cdot K / Bt$, определяется по формуле:

$$R_t = R_n + (\Sigma R_i)_n + (\Sigma R_j)_в + R_{г}, \quad (1)$$

где R_n и $R_{г}$ — сопротивления теплообмену у наружной и внутренней поверхности ограждения;

$(\Sigma R_i)_n$ — сумма термических сопротивлений слоев ограждения от наружной поверхности до плоскости нагрева;

$(\Sigma R_j)_в$ — сумма термических сопротивлений слоев ограждения от плоскости нагрева до внутренней поверхности.

Место размещения нагревательных элементов и конструктивные слои, отделяющие нагреватели от внутреннего воздуха, выбираются таким образом, чтобы минимизировать $(\Sigma R_j)_в$, при этом обеспечивая требуемую равномерность распределения температуры на поверхности ограждения.

Метод расчета № 1

Для ограждающих конструкций в качестве исходного значения $R_{т.учк}$ принимается сопротивление теплопередаче, определяемое в соответствии с [2]. Располагаемые в ограждении нагреватели приводят к увеличению потерь теплоты за счет повышения температуры слоев конструкции.

Базовое положение, на котором основан данный метод, заключается в том, что при искомом R_t через ограждение с нагревательными элементами должно уходить такое же количество теплоты, как и через обычное ограждение с нормативным значением $R_{т.учк}$, у которого установлен

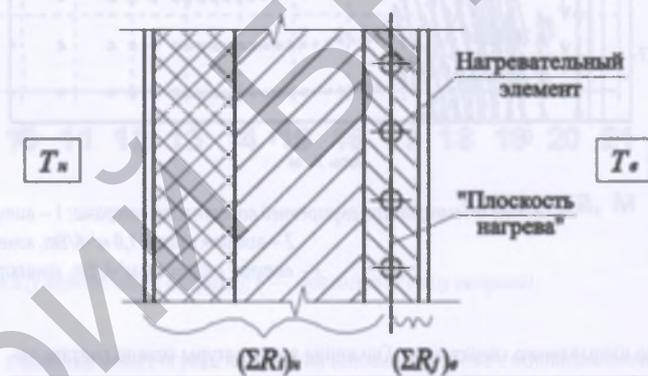


Рис. 5. Разрез ограждения с нагревательными элементами

компактный отопительный прибор (конвектор, радиатор и т. п.).

При использовании конвектора потери теплоты через прилегающий фрагмент наружной стены увеличиваются на 14 % относительно теплопотерь, определенных по нормативной методике, представленной в приложении Ж [3]. Применение радиатора приводит к увеличению потерь теплоты через прилегающий участок стены на 30 %. Причиной увеличения теплопотерь, как отмечалось ранее, служит прогрев ограждения установленным рядом прибором. Важно отметить, что на перегрев участка наружного ограждения у конвектора расходуется около 3 % его мощности, а у радиатора — от 5 до 6 %.

Требуется найти увеличенное R_t , при котором теплопотери будут соответствовать заданному уровню относительно потерь через ограждение с $R_{т.учк}$, рассчитанных по нормативам. Поэтому $(\Sigma R_i)_н$, $m^2 \cdot K / Bt$, определяется по формуле:

$$(\Sigma R_{иH})_н = \frac{(T_{ср} - T_n) R_{т.учк}}{(1 + k_{доп})(T_в - T_n)} - R_t, \quad (2)$$

где $T_{ср}$ — средняя температура ограждения в плоскости размещения отопительных элементов, °C;

T_n — расчетная температура наружного воздуха (или воздушной среды в смежном помещении), °C;

$k_{доп}$ — доля дополнительной теплоты, уходящей во внешнюю среду, задаваемая относительно теплопотерь ограждения с $R_{т.учк}$, рассчитанных по нормативной методике;

$T_в$ — расчетная температура внутреннего воздуха, °C.

Поскольку на этапе теплотехнических расчетов отсутствует информация о величине $T_{ср}$, то расчет необходимо делать, используя

последовательные приближения. Для первой итерации в качестве ориентировочного значения можно использовать среднюю температуру теплоносителя. Наиболее точное значение T_{cp} может быть получено при численном моделировании процессов теплообмена рассматриваемого ограждения.

Данный подход можно распространить на любые ограждения, для которых установлены нормативные значения сопротивления теплопередаче.

Метод расчета № 2

В данном подходе теплозащитные характеристики слоев ограждения, отделяющих нагревательные элементы от внешней среды, определяются, задав долю теплоты, которая уходит наружу. В таком случае:

$$(\Sigma R_{ин})_н = \frac{(T_{cp} - T_n)}{k \cdot q_{проб}} - R, \quad (3)$$

где k — часть теплоты, выделяемой нагревателями, которая уходит во внешнюю среду;
 $q_{проб}$ — тепловая мощность нагревателей, уложенных в 1 м^2 ограждения, Вт/м².

Данный метод также пригоден в случае, когда ограждение с нагревательными элементами является внутренним и разделяет помещения с одинаковыми расчетными температурами воздуха.

Метод расчета № 3

В определенных случаях доступна информация (в виде таблиц, номограмм и т. п.) об эффективной теплоотдаче проектируемой системы панельного отопления $q_{эф}$ (Вт/м²), представляющей собой количество теплоты, поступающей в обслуживаемое помещение. В этом случае формулу можно привести к виду:

Список литературы и использованных источников

1. Обеспечение теплого комфорта в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий. Рекомендации по выбору вида отопительного прибора : Р 1.02.091.11. — Зарегистрированы РУП «Стройтехнорм» за № 091 от 29.12.2011 ; рук. Дячек П.И. ; исполн. Захаревич А.Э. — Минск, 2011. — 28 с.
2. Технический кодекс установившейся практики. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006. — Введ. 01.07.07. — Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. — 32 с.
3. Строительные нормы Республики Беларусь. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНБ 4.02.01-03. — Введ. 01.01.05. — Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. — 78 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства : в 3 ч. — М. : Стройиздат, 1990 — 1992. — Ч. 1 : Отопление / В.Н. Богословский [и др.] ; под ред. И.Г. Старовойта и Ю.И. Шиллера. — 1990. — 344 с.

$$(\Sigma R_{ин})_н = \frac{(T_{cp} - T_n)(1 - k)}{k \cdot q_{эф}} - R. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) более универсальны, чем формула (1), поскольку могут быть использованы при отсутствии нормативов, позволяющих задать значением $R_{тисх}$.

В [1] (приложение В) представлены примеры расчета величины $(\Sigma R_{ин})_н$ по приведенным выше трем методам.

При использовании напольного отопления сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемыми подвалами следует принимать не менее $4,5 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Это требование обеспечивает соответствие фактических теплопотерь через перекрытие и расчетных потерь теплоты, имеющих место при отсутствии встроенных в конструкцию пола нагревательных элементов.

Системы панельного отопления чувствительны к наличию мостиков холода в ограждениях, где расположены нагреватели. В связи с этим размещение теплоизоляции необходимо предусматривать не только со стороны наружной поверхности ограждения, но и по торцам конструкции, в которой расположены отопительные элементы. Качественная тепловая изоляция стыков наружных стеновых панелей особенно важна при применении встроенных в наружную стену панельных отопительных приборов.

Информация, изложенная в статье, может быть применена при разработке проектной документации на новое строительство, реконструкцию и ремонт систем водяного отопления жилых и общественных зданий.

На этапе проектных работ численное моделирование является единственным способом получения информации о поведении создаваемого объекта (помещения, здания и т. п.) как системы, состоящей из множества взаимосвязанных элементов, в условиях комплексного воздействия различных внешних и внутренних факторов.