

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
« 20 » января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КОНТРОЛЬНО-КУРСОВОЙ РАБОТЕ
(МОДУЛЯ)

«Строительная теплофизика»

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Теплогазоснабжение и вентиляция"

Форма(ы) обучения: *очная, заочная, заочная сокращенная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-06-22

Тула 2022 год

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ
методический указаний к контрольно-курсовой работе

Разработчик:

Титов Д.Ю. доцент, к.т.н.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Особенности теплотехнического расчета наружных ограждений зданий и сооружений, последовательность выполнения, подробно изложены в данных методических указаниях.

1. Цель и задачи выполнения теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

Целью работы является разработка конструкции ограждений, обеспечивающих комфортные параметры среды помещений, и требуемые эксплуатационные качества здания.

Для достижения поставленной цели студенту необходимо решить следующие задачи:

- ознакомиться с воздействиями природно-климатических и микроклиматических факторов на наружные ограждения;
- ознакомиться с конструкциями наружных ограждений в зависимости от функции здания и места строительства;
- изучить теоретические основы тепловой защиты здания;
- освоить методику расчета тепловой защиты здания;
- углубить знания в области конструирования здания и создания комфортных параметров микроклимата помещения с наименьшими энергетическими затратами.

2 Общие положения.

Обеспечение микроклимата, установленного для проживания и деятельности людей в здании; необходимой надежности и долговечности конструкций, климатических условий работы технического оборудования при минимальном расходе тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период осуществляют проектированием ограждающих конструкций в соответствии с требованиями к тепловой защите зданий.

Нормами [1, пункт 5.1] установлены показатели тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Требования тепловой защиты здания будут выполнены, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей «а» и «б»

либо «б» и «в». В зданиях производственного назначения необходимо соблюдать требования показателей «а» и «б».

3. Определение исходных данных.

Климатические параметры (района строительства).

Для определения требуемых климатических параметров составляют климатический паспорт района строительства, состав которого приведен в приложении Б. При этом используют нормативную литературу. При отсутствии данных для конкретного пункта климатические параметры следует принимать для ближайшего населенного пункта.

Основными расчетными параметрами считают расчетную температуру наружного воздуха t_{ext} , °С; продолжительность отопительного периода z_{ht} , сут, и среднюю температуру наружного воздуха t_{ht} , °С, в течение отопительного периода.

Расчетную температуру наружного воздуха t_{ext} принимают по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 для всех зданий, кроме производственных, предназначенных для сезонной эксплуатации. В производственных зданиях, предназначенных для сезонной эксплуатации, в качестве расчетной температуры наружного воздуха в холодный период года t_{ext} , °С, принимают минимальную температуру наиболее холодного месяца, определяемую как среднюю месячную температуру января, уменьшенную на среднюю суточную амплитуду температуры воздуха наиболее холодного месяца.

Продолжительность z_{ht} и среднюю температуру наружного воздуха t_{ht} отопительного периода принимают для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°С; при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов интернатов для престарелых данные принимают для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10°С.

Зону влажности района строительства определяют по карте зон влажности. При этом в случае попадания пункта на границу зон влажности следует выбирать более влажную зону.

Микроклиматические параметры помещения.

Параметры воздуха внутри зданий – температуру t_{int} и относительную влажность воздуха ϕ_{int} – определяют из условий комфортности по нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений.

В 2 приведены оптимальная температура и допустимая относительная влажность воздуха внутри жилых и общественных зданий для холодного и теплого периодов года. Расчетные параметры воздуха внутри гражданских зданий должны быть не ниже оптимальных значений.

Расчетную температуру воздуха t_{int} для теплых чердаков и технических подполий принимают не менее 2°С; в неотапливаемых лестничных клетках жилых зданий – не менее 5°С.

В зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха по устанавливают влажностный режим помещений в холодный период года. Расчетную относительную влажность внутреннего воздуха ϕ_{int} для помещений жилых зданий, больничных учреждений, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, школ и детских дошкольных учреждений принимают равной 55 %, для помещений кухонь – 60 %, для ванных комнат – 65 %, для теплых подвалов и подполий с коммуникациями – 75 %, для теплых чердаков жилых зданий – 55 %, для помещений общественных зданий (кроме указанных) – 50 %.

Расчетные исходные данные

Градусо-сутки отопительного периода D_d , °С сут, определяют по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht},$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С;
 t_{ht} – средняя температура наружного воздуха, °С, для отопительного периода; z_{ht} – продолжительность, сут, отопительного периода.

В зависимости от влажностного режима помещений и зоны влажности района строительства определяют условия эксплуатации (А или Б) ограждающих конструкций, учитываемые при выборе теплотехнических показателей материалов ограждения и устанавливаемые по.

Определение требуемого (нормируемого) сопротивления теплопередаче.

Требуемое сопротивление теплопередаче R_{req} , м²·°С/Вт, определяют в зависимости от градусо-суток отопительного периода D_d . Для величин D_d , отличающихся от табличных, значения R_{req} определяют по формуле

$$R_{req} = a D_d + b,$$

где D_d – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для указанного города строительства; a , b – коэффициенты, значения которых принимают по данным таблицы для соответствующих групп зданий.

Для зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12 °С и ниже, производственных зданий с избытками явной теплоты более 23 Вт/м³ и зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации (осенью или весной), нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_{req} , м²·°С/Вт, определяют по формуле (3):

$$R_{reg} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}},$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_{int} и температурой внутренней поверхности τ_{int} ограждающей конструкции, °C; α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C); t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °C; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C.

Для чердачных перекрытий, теплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалами с температурой воздуха t_c в них большей t_{ext} , но меньшей t_{int} коэффициент n определяют по формуле

$$n = \frac{(t_{int} - t_c)}{(t_{int} - t_{ext})}.$$

При определении нормируемого сопротивления теплопередаче R_{req} внутренних ограждающих конструкций, разделяющих помещения с разностью расчетных температур воздуха t_{int} 6 °C и выше, в формуле (3) принимают $n = 1$ и вместо t_{ext} – расчетную температуру воздуха t_{int} более холодного помещения.

Определение толщины теплоизолирующего слоя наружного ограждения.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений R_o^{mp} . Определяем их исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{\Delta t^n \cdot \alpha_e}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

t_e – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

t_n – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C;

Δt^n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C;

α_e - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкции определяем по формуле

$$R_o^{\phi} = \frac{1}{\alpha_d} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_n}, m^2 \cdot ^\circ C / Bm$$

где $\sum R_i$ - сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждающих конструкций, $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$,

$$\sum R_i = \sum \frac{\delta}{\lambda},$$

δ - толщина слоя, м;

λ - расчетный коэффициент теплопроводности слоя материала $Bm(m \cdot ^\circ C)$;

α_n - коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, $Bm(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Расчетное сопротивление теплопередаче должно удовлетворять условию $R_o \geq R_o^{mp}$.

Преобразуя выше приведенные формулы необходимо определить толщину теплоизолирующего слоя обозначенную "?" в прил. 5.

4. Расчет теплового режима наружных ограждений.

4.1. Расчет у построение стационарного температурного поля в наружном ограждении для зимних условий .

Для оценки теплотехнических качеств ограждения необходимо знать на только его термическое сопротивление, но также значения температуры в любой плоскости ограждения при заданных постоянных значениях температуры воздуха с обеих сторон ограждения. Особенно большое значение имеет температура внутренней поверхности, ограждения, так как от нее зависят тепловой комфорт помещения и возможность образования конденсата. Распределение температуры в ограждении необходимо, знать для расчета влажностного режима ограждения.

Исходя из условий стационарности теплового потока через ограждение, температуру внутренней поверхности, наружной поверхности и любом сечении ограждающей конструкции определяют соответственно по формулам:

$$\tau_e = t_e \frac{t_e - t_n}{R_o} R_e \quad \tau_n = t_n \frac{t_e - t_n}{R_o} R_n \quad (1)$$

$$t_x = t_e \frac{t_e - t_n}{R_{\phi_o}} (R_e + R_x) \quad (2)$$

где t_e, t_n, t_x - температура внутренней наружной поверхности и в любом сечении ограждения, °С;

R_x - термическое сопротивление части ограждения от внутренней поверхности до заданного сечения, м²/Вт;

$R_e = \frac{1}{\alpha_e}$ - термическое сопротивление теплообмену на внутренней поверхности ограждения м²/Вт.

При выполнении контрольно-курсовой работы необходимо рассчитать температуру внутренней и наружной поверхностей стены, а также температуру на границе отдельных слоев при $t_n = t_{n,n}$; сделать вывод о выполнении требований [1] по температуре внутренней поверхности стены ($t_e \geq t_e - \Delta t^n$).

Для определения значения температуры в многослойном ограждении можно воспользоваться и графическим методом, который является наиболее удобным и наглядным. Из формулы (2) видно, что график зависимости температуры внутри ограждения от термического сопротивления является прямой линией. На горизонтальной оси откладывают последовательно в масштабе все термические сопротивления передаче теплоты из помещения в окружающую среду, начиная с R_e и кончая R_n , так, чтобы сумма всех отрезков была равна величине общего сопротивления теплопередаче ограждения (рис.1). через полученные точки проводят вертикальные линии и откладывают в масштабе по вертикальной линии, проходящей через начало отрезка R_e , отрезок, соответствующий температуре внутреннего воздуха t_e , а на вертикальной линии, проходящей через конец отрезка R_n – отрезок соответствующий наружной температуре t_n . Полученные точки t_e и t_n соединяют прямой линией.

Точки пересечения этой прямой с соответствующими вертикальными линиями соответствуют значению температуры на границах слоёв ограждения.

При переносе температурной линии на разрез конструкции ограждения (см.рис.1) наклон её изменяется на стыке слоёв конструкций, состоящих из материалов с различным коэффициентом теплопроводности, так как горизонтальные размеры на чертеже будут выражаться не в масштабе термических сопротивлений слоёв, а в масштабе их толщин.

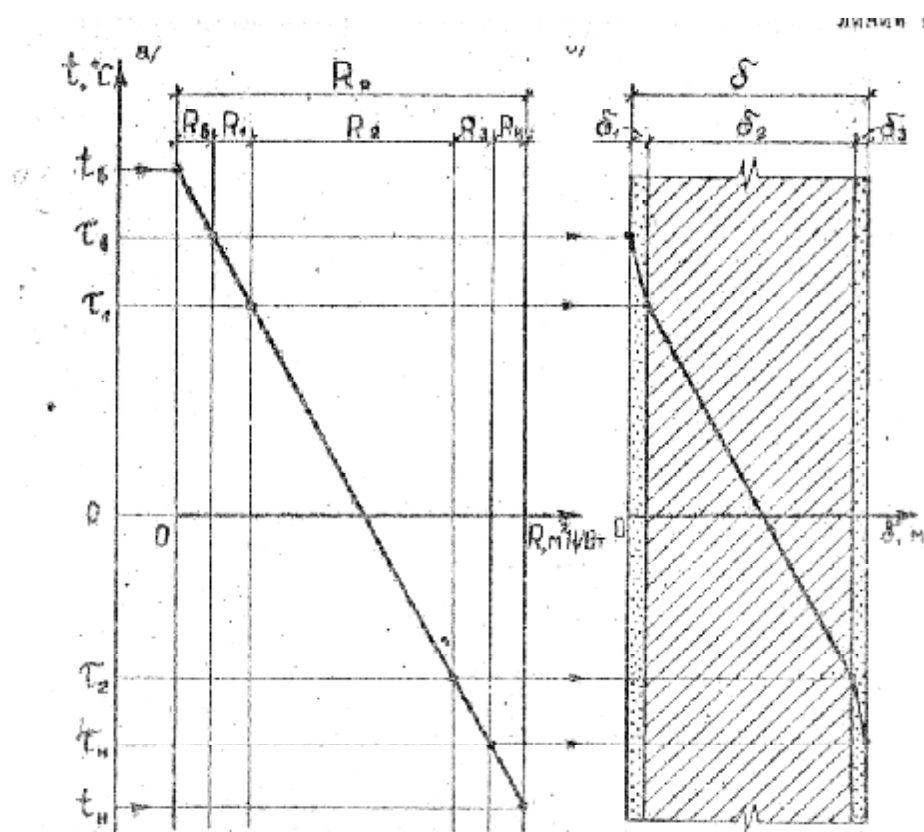


Рис. 1 Построение стационарного температурного поля в многослойном наружном ограждении:
а- в масштабе термических сопротивлений;
б- в сечении стены.

На данном графике необходимо нанести температурные линии при расчётной температуре наружного воздуха, равной температуре наиболее холодной пятидневки $t_{н.п.}$ и при средней температуре наружного воздуха наиболее холодного месяца $t_{н.х.м.}$

4.2. Расчёт температуры внутренней поверхности наружного угла.

При проектировании ограждающих конструкций и систем отопления зданий с целью предотвращения возможности образования конденсата важно знать температуру внутренней поверхности наружного угла.

Температура внутренней поверхности наружного угла стены τ_{ye} в диапазоне R_o от 0,43 до 2,15 м²К/Вт приблизительно может быть определена по формуле (3)

$$\tau_{ye} = \tau_e - 0,18(1 - 0,23R_o)(t_e - t_n)$$

где τ_e - температура внутренней поверхности ограждения (в отделе-

нии от угла), определяемая по формуле (1) при расчётной зимней температуре наружного воздуха t_n с учётом тепловой энергии стены.

4.3. Определение приведённого сопротивления теплопередаче наружной стены.

В наружных ограждениях зданий ввиду наличия элементов, формирующих двухмерные температурные поля (угол, стык ограждений, откос светового проёма), практически нет участков, в пределах которых передачу теплоты можно было бы считать проходящей по одномерной схеме. Поэтому тепловые потери через такие ограждения оказываются часто большими, чем потери теплоты, рассчитанные в предположении одномерности температурного поля.

Для более точного расчета теплопотерь через ограждения сложной конструкции используют приведенное сопротивление теплопередаче ограждения R_o^{np} . Приведенным называется сопротивление теплопередачи такого условного ограждения с одномерным температурным полем, потери теплоты через которое при одинаковой площади равны теплопотерям через сложное ограждение с двухмерным температурным полем.

Приведенное сопротивление теплопередаче определяется по формуле:

$$R_o^{np} = R_o^{\phi} \frac{1}{1 + \frac{1}{F_o} \sum \alpha_{fi} (f_i - 1) l_i}$$

где R_o^{ϕ} - сопротивление теплопередаче наружной стены при условии одномерности температурного поля в ней, $m^2K/Вт$; F_o - площадь поверхности наружной стены по наружному обмеру (за вычетом площади световых проёмов), m^2 ; линейные размеры наружной стены при определении F_o отмеряют от наружных поверхностей наружных ограждений (поле на грунте или на лагах, перекрытия над неотапливаемым подвалом бесчердачного покрытия или чердачного перекрытия, наружных стен) и от осей внутренних ограждающих конструкций (перегородок, междуэтажных перекрытий); площадь световых проёмов принимается по наименьшим размерам в свету;

f_i - фактор формы элемента стены с двухмерным температурным полем, одеваемый по наружному обмеру во сколько больше теряется теплоты через двухмерный элемент ограждения по сравнению с теплопотерями через его гладь при одинаковой разности температур и прочих одинаковых условиях; для наружного угла $f_{yc}^e = 0,68$; для внутреннего угла $f_{yc}^e = 1,18$; для остальных элементов стены значение фактора формы принимаются по приложению 2; l_i - протяжённость элемента конструкции, формирующего двухмерное температурное поле, определяется аналогично линейным размерам стены

α_{fi} - ширина участка поверхности наружной стены с двухмерным температурным полем, равным двум калибрам наружной стены [5]

$$\alpha_{fi} = 2\lambda_{ym}R_o^{\phi} \quad (3)$$

λ_{ym} - коэффициент теплопроводности материала основного (теплоизоляционного) слоя конструкции наружной стены, Вт/(мК).

При определении величины α_{fi} для откоса светового проёма вместо R_o^{ϕ} в формулу подставляется величина R_o^{\prime} (см. приложение 2).

Фактор формы стыка пола над неотапливаемым подвалом, на грунте или на лагах с наружной стеной можно принимать равным фактору формы наружного угла [1 осн] .

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче следует проиллюстрировать чертежом наружной стены помещения с указанием всех размеров элементов, формирующих двумерное температурное поле, результаты расчета свести в табл.2.

Таблица 2

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены

Наименование элемента	$\alpha_{f,i}$ м	l_i м	f_i	f_i-1	$\alpha_{f,i}(f_i-1) l_i$ м ²	$F_o, \text{м}^2$	R_o^{np} м ² /Вт

4.4 Расчет и построение нестационарного температурного поля в наружной стене после отключения систем отопления

Анализ нестационарных процессов теплообмена в многослойных ограждениях аналитическим путем сложен, а чаще невозможен. Поэтому в практике распространены инженерные методы решения задач нестационарной теплопередачи; метод конечных разностей, расчеты с использованием ЭВМ, метод аналогии и др.

При использовании метода конечных разностей уравнение теплопроводности принимает следующий вид [1 осн.]:

$$\Delta_z t_n = F_{o\Delta} \Delta_x^2 t_n \quad (4)$$

где $\Delta_z t_n$ - изменение во времени температуры в центре элементарного слоя n ;

$\Delta_x^2 t_n$ - вторая конечная разность температур, т.е. разность разностей температур между элементарными слоями, $\Delta_x^2 t_n = (t_{n+1} - t_n) - (t_n - t_{n-1})$

$F_{o\Delta}$ - критерий Фурье- обобщённая пространственно временная координата

ната процесса,

$$F_{o_{\Delta}} = \frac{3,6 \cdot \lambda \cdot \Delta_z}{c \cdot \rho \cdot \Delta_x^2} \quad (5)$$

где c - удельная теплоёмкость материала слоя с учётом его влажности

$$\text{кДж/(кг·К)}; \quad c = \frac{c_o + 0,01\omega}{1 + 0,01\omega}$$

ρ - плотность материала слоя с учётом его влажности. Кг/м³,

$$\rho = \rho_o(1 + 0,01\omega);$$

c_o, ρ_o - удельная теплоёмкость и плотность материала в сухом состоянии [1 осн].

ω - весовая влажность материала при условиях эксплуатации в, %, принимается по [5].

Изменяя значение $F_{o_{\Delta}}$ в формуле (4), можно получить множество частных решений относительно температуры и $t_{n,\Delta z}$ в центре элементарного слоя n в конце расчетного интервала времени Δz .

Наиболее простым будет решение при $F_{o_{\Delta}} = 0,5$:

$$t_{n, \Delta z} = \frac{t_{n+1} + t_{n-1}}{2} \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что при $F_{o_{\Delta}} = 0,5$ температура в центре элементарного слоя n в конце расчетного интервала времени Δz равна средней температуре соседних слоев в начале этого интервала времени. Точность расчета при использовании формулы (6) вполне достаточна для технических целей [1 осн.] .

Для построения линий температурного поля сечение ограждения разбивают на пять или более элементарных слоев. Если размеры основного (теплоизоляционного) слоя значительно больше размеров внутреннего и наружного конструктивных слоев, то на элементарные слои толщиной Δx разбивают только основной слой. Сопротивление наружного и внутреннего конструктивных слоёв δ_k/λ_k в этом случае прибавляют к сопротивлению теплообмену соответственно на наружной и внутренней поверхностях, а влияние этих слоев учитывают увеличением толщины внутреннего и наружного эквивалентных слоев.

$$\delta_{\text{экв.в}} = \left(\frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_{\text{кв}}}{\lambda_{\text{кв}}} \right) \lambda_{\text{ут}}; \quad \delta_{\text{экв.н}} = \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_{\text{кн}}}{\lambda_{\text{кн}}} \right) \lambda_{\text{ут}} \quad (7)$$

Продолжительность расчетного интервала времени Δz определяют из формулы (5) при значении критерия Фурье, равном $F_{o_{\Delta}} = 0,5$. Значения λ ,

c и ρ в формуле (5) принимаются в этом случае для материала утеплителя.

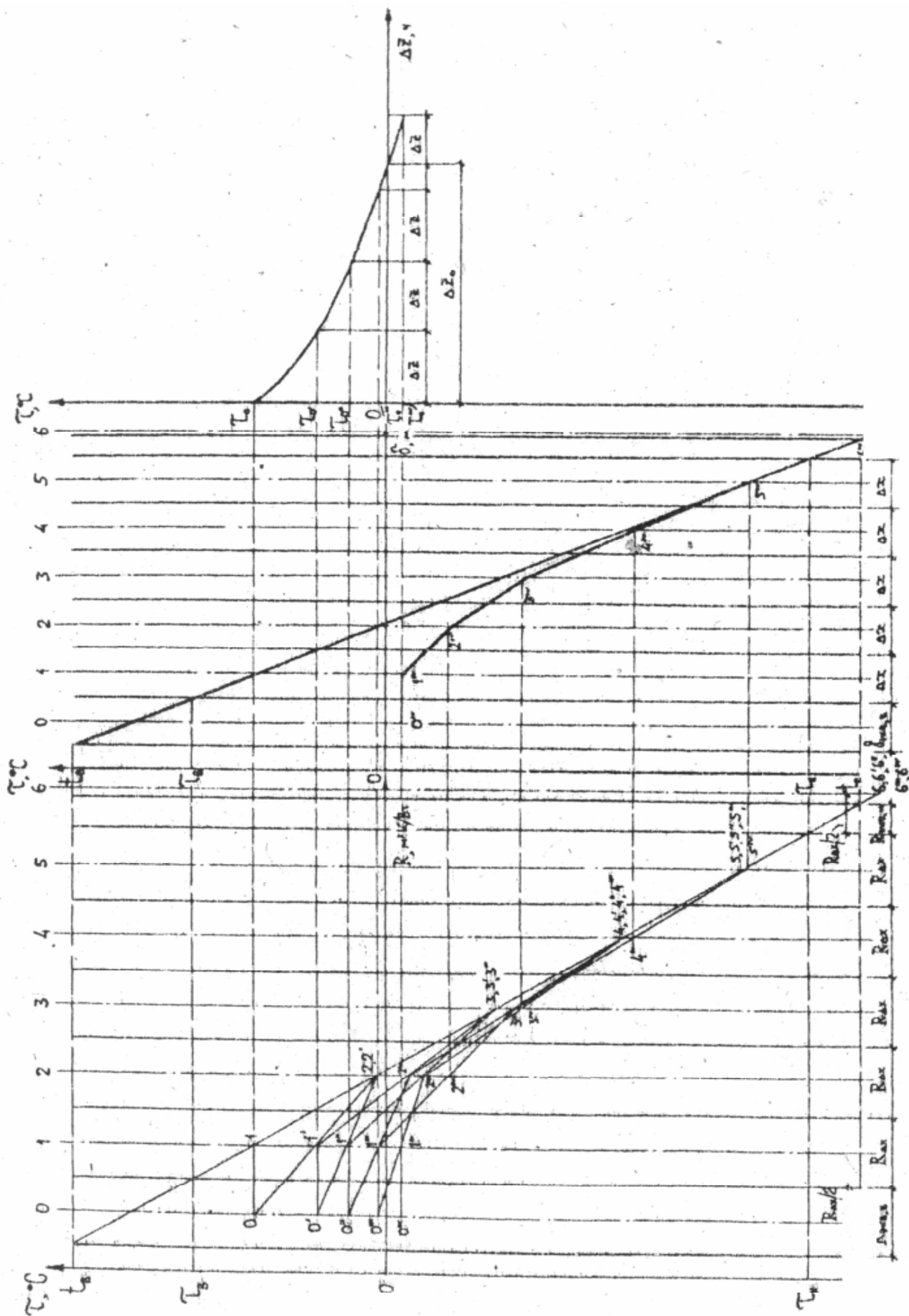
Построение линий распределения температуры производится следующим образом. В прямоугольной системе координат $[t, R]$ на горизонтальной оси R откладывают последовательно значения $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$. Через полученные точки проводят вертикальные прямые, в результате чего получается условное сечение наружной стены, в котором толщины отдельных слоев заменены их термическими сопротивлениями (рис.2). Вместо R_{um} откладывают последовательно значения термических сопротивлений элементарных слоёв $R_{\Delta x} = \Delta x / \lambda_{ym}$ на которые разбит теплоизоляционный слой. Через центры элементарных слоев проводят вертикальные осевые линии, которые нумеруют в направлении из помещения наружу, начиная с цифры 1. На полученном условном сечении стены восстанавливают линию стационарного распределения температуры при $t_n = t_{nn}$, построенную в п.4.1.

Для упрощения расчета пренебрегают теплотой, аккумулированной внутренними конструкциями, мебелью, отопительными приборами и пр. В этом случае тепловой поток на внутреннюю поверхность стены с момента выключения системы отопления можно считать равным нулю а построение линий распределения температуры проводить относительно оси условного (нулевого) слоя. Для построения оси условного (нулевого) слоя от внутренней поверхности первого элементарного слоя откладывают влево величину $R_{\Delta x}/2$, т.е, половину его толщины на условном сечении стены. Откладывая от наружной поверхности последнего элементарного слоя вправо величину $R_{\Delta x}/2$ получают ось последнего (условного) слоя.

Начальное распределение температуры на первой оси будет соответствовать нулевому интервалу времени, на второй оси - нулевому и первому, на третьей - нулевому, первому и второму и т.д. Из точки нулевого интервала времени на первой оси проводят горизонтальную прямую и получают точку нулевого интервала времени на нулевой оси. Для того чтобы получить точку первого интервала времени на первой оси, соединяют точки нулевого интервала времени нулевой и второй осях.

В последующем, соединяя прямыми линиями точки температуры на осях попарно через слой, по пересечению этих линий с осями средних слоев определяют температуру в слоях в начале последующего расчетного интервала времени. Значение температуры на оси последнего (условного) слоя при этом получают пересечением прямой, соединяющей точки температуры наружной поверхности ограждения и температуры наружного воздуха на границе внешнего эквивалентного слоя.

В результате построения следует определить промежуток времени Δz_0 , в течение которого температура внутренней поверхности стены понизится до 0°C . Для этого в прямоугольную систему координат $[t, \Delta z]$ переносят значения температуры на нулевой оси в конце каждого расчетного интервала времени. Полученные точки соединяют плавной кривой линией и на пересечении этой линии с ординатой $t = 0$ определяют графически величину Δz_0 .



С целью определения изменения температуры в толще стены линии её начального и конечного распределения переносят на натуральное сечение ограждения.

Если размеры основного (теплоизоляционного) и конструктивного слоев соизмеримы, то на элементарные слои толщиной Δx_1 сначала разбивают внутренний (ближний к помещению) слой, а толщину Δx_2 элементарных слоев внешнего слоя определяют пересчетом по формуле.

$$\Delta x_2 = \Delta x_1 \sqrt{\frac{\lambda_2 \cdot c_1 \cdot \rho_1}{\lambda_1 \cdot c_2 \cdot \rho_2}}$$

На условном сечении стены вместо Δx_1 и Δx_2 откладывают соответственно значения $R_{\Delta x_1} = \Delta x_1 / \lambda_1$ и $R_{\Delta x_2} = \Delta x_2 / \lambda_2$.

При разбивке внешнего слоя на элементарные слои может получиться неполный элементарный слой толщина которого меньше толщины элементарного слоя Δx_2 . В этом случае влияние этого неполного слоя учитывают соответствующим увеличением толщины и термического сопротивления наружного эквивалентного слоя аналогично формуле (7).

Построение линий распределения температуры в пределах каждого слоя проводят в соответствии с указанными ранее правилами.

При этом температуру $t_{n,\Delta z}$ и $t_{n+1,\Delta z}$ на осях пограничных элементарных, слоёв в конце расчетного интервала времени определяют следующим образом (рис.3).

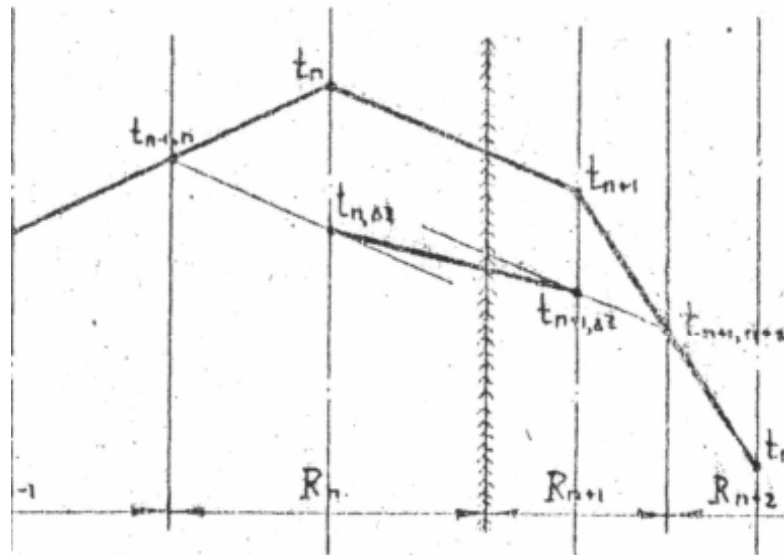


Рис.3. Построение линий распределения температуры на стыке двух материальных слоев ограждений.

Из точек со значениями температур $t_{n-1,n} = 0,5 (t_{n-1} + t_n)$ и $t_{n+1,n+2} = 0,5 (t_{n+1} + t_{n+2})$ проводят прямые, параллельные линии соединяющие точки с температурами t_n и t_{n+1} в начале расчетного интервала времени. На пересечений этих прямых с соответствующими осями получают точки с искомыми значениями температур $t_{n,\Delta z}$, $t_{n+1,\Delta z}$.

4.5. Расчет теплоустойчивости наружного ограждения в летних нестационарных условиях.

Периодические изменения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации в теплое время года вызывают колебания температуры внутренней поверхности наружного ограждения, что приводит к изменению теплового режима помещений.

При нестационарных условиях характеристикой теплозащитных свойств ограждающих конструкции является их теплоустойчивость. Теплоустойчивость определяется величиной затухания ν расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха $A_{in}^{расч}$ в ограждающей конструкции. Она показывает во сколько раз величина $A_{in}^{расч}$ превышает амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности наружного ограждения $A_{тв}$:

$$\nu = \frac{A_{in}^{расч}}{A_{тв}}$$

В соответствии с [1 осн.] в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций $A_{тв}$ зданий не должна быть более требуемой по санитарно-гигиеническим нормам $A_{тв}^{мп}$, т.е.

$$A_{тв} \leq A_{тв}^{мп},$$

Методика расчета теплозащитных свойств наружных ограждений в теплое время года приведена в [1 осн.]. В соответствии, с этой методикой величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ν ограждающей конструкции с тепловой инерцией $D \geq 1,5$ допускается определять по приближенной формуле (25) в [1 осн.]. В этой формуле поправочный коэффициент β_1 , учитывающий взаимное расположение теплоизоляционного и конструктивного слоев в ограждениях находится из выражения [5]

$$\beta_1 = 0,85 + 0,15 \frac{s_1}{s_2} \quad (8)$$

Для современных облегченных ограждений коэффициент β_1 рекомендуется определять по уточнённой форму, приведённой в [1 осн.]

$$\beta_1 = \frac{(s_1 + s_2) \left(\frac{8,72}{s_1} + 1 \right) \left(\frac{23,26}{s_2} + 1 \right)}{406 \frac{\sum R}{D} + 64} \quad (9)$$

где S_1, S_2 - коэффициенты теплоусвоения материалов двух основных слоёв ограждения (конструктивного и теплоизоляционного) при отсчете слоев от внутренней поверхности к наружной, Вт/(м²К) ; обозначения других вели-

чин соответствуют принятым в [1 осн.].

Формулу (9) справедлива только при четком выделении в конструкции ограждения конструктивного и теплоизоляционного слоёв.

В контрольно-курсовой работе необходимо определить амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности наружного ограждения $A_{тв}$, сравнить её с требуемой по санитарно-гигиеническим нормам $A_{тв}$, и сделать соответствующие выводы. При этом величину затухания ν следует рассчитывать по приближённой формуле (25) в [1 осн.] с учётом формул (8) и (9) в по более точной формуле [1 осн.], полученные результаты сравнить.

5. Расчёт воздухопроницания наружных ограждений.

С тепловым режимом ограждающих конструкций тесно связан их воздушный режим. Так, инфильтрация наружного воздуха, т.е. его проникновение внутрь помещения через неплотности в ограждениях, приводит к дополнительным затратам теплоты на его подогрев, понижает температуру внутренней поверхности наружного ограждения.

Эксфильтрация влажного внутреннего воздуха увлажняет ограждения и снижает их теплозащитные свойства. Поэтому при проектировании ограждающих конструкций здания необходимо рассматривать их воздушный режим, учитывать его влияние на теплозащитные свойства ограждений.

5.1. Расчет удельного расхода воздуха, инфильтрующегося через наружные ограждения.

Инфильтрация воздуха происходит под действием разности его давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения. Удельный расход инфильтрующегося воздуха G , кг/м²ч определяется по формуле

$$G = \frac{\Delta p^n}{R_u} \quad (10)$$

где Δp - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, Па; n - показатель степени, для окон и балконных дверей $n = 2/3$, для других ограждений $n = 1$, R_u - сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей м²чПа^{2/3}/кг и других ограждающих конструкций м²чПа/кг.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций возникает в следствии разности плотностей наружного и внутреннего воздуха и воздействия ветра на наружные ограждения. Она определяется по формуле [5]:

$$\Delta p = (H-h)(\rho_{ин}-\rho_в)g + 0,05 \rho_{ин} g (\nu_l^{max})^2 (C_H - C_3) K - (\rho_в - \rho_г), \quad (11)$$

где H – высота здания от поверхности земли до устья (верха) вытяжной шахты, м, (высоту шахты в бесчердачном здании принимаем на 0,5-1 м выше кровли; в зданиях с чердаком – на 0,5 м выше конька при расстоянии между

шахтой и коньком на поперечном разрезе здания до 1,5 м; на уровне конька при расстоянии между шахтой и коньком от 1,5 до 3 м (так принять в курсовой работе); на уровне линии, проведенной под углом 10° к горизонту от конька, при расстояниях между шахтой и коньком более 3 м);

h - высота от поверхности земли до центра ограждающей конструкции рассматриваемого этажа, м;

$\rho_{н.в} \rho_в$ - плотность воздуха соответственно при температуре наиболее холодной пятидневки и внутреннего воздуха, кг/м³; определяется по формуле $\rho = 353 / (273 + t)$;

t - температура воздуха, °С;

$g = 9,81$ - ускорение свободного падения, м/с²,

$C_{н}, C_з$ - аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и заветренной поверхностей по СНИП П-6-74 «Нагрузки и воздействия»; $C_{н} = 0,8$; $C_з = -0,6$;

K - коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от типа местности и высоты расположения рассматриваемой ограждающей конструкций над поверхностью земли: для зданий, расположенных в городской черте, значения коэффициента K в соответствии со СНИП-6-74 принимаются по прилож.2;

$\rho_в$ - давление воздуха в зданиях (помещениях) оборудованных системами вентиляции с механическим побуждением, воздушного отопления или кондиционирования воздуха, Па.

$\rho_г$ - давление воздуха определяемое на основе расчета дебаланса по притоку и вытяжке при системах вентиляции с механическим побуждением, воздушного отопления или кондиционирования воздуха, Па.

v_l^{max} - средняя скорость наиболее холодного месяца, м/с.

При вычислении Δp (Па) для жилых и общественных зданий с естественной вытяжной вентиляцией следует учитывать проблемы давления в вентиляционных системах Δp_c (со знаком минус), определяемые по формуле: $\Delta p_c = (H-h)(\rho_{н5} - \rho_в)g$, где $\rho_{н5}$ - плотность наружного воздуха при $t_{н} = 5^\circ\text{C}$; кг/м³. При этом $\rho_в - \rho_г = 0$. Формула (2) в этом случае принимает вид:

$$\Delta p = (H-h)(\rho_{нн} - \rho_{н50})g + 0,05 \rho_{нн} g (v_l^{max})^2 (C_{н} - C_з) K.$$

Для зданий с сбалансированной приточно-вытяжной вентиляций (вентиляционная вытяжка полностью компенсируется вентиляционным притоком) $\rho_г = 0$, а $\rho_в = 0,5H(\rho_{н.н} - \rho_в)g + 0,025 \rho_{нн} g (v_l^{max})^2 (C_{н} - C_з) K$. [5]. Тогда формулу (2) для этих зданий можно переписать в виде

$$\Delta p = (0,5H-h)(\rho_{нн} - \rho_в)g + 0,025 \rho_{нн} g (v_l^{max})^2 (C_{н} - C_з) K.$$

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий R_n в соответствии с указаниями [1 осн.] должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_n^{мп}$. т.е.

$$R_n \geq R_n^{mp} \quad (12)$$

Величина R_n^{mp} определяется из выражения (10), в которое вместо G подставляется нормативная воздухопроницаемость ограждений G^H кг/м²ч, принимаемая по [1 осн.] в зависимости от вида ограждающей конструкции. В этом случае за расчётную разность давлений в формуле (10) принимается наибольшее из рассчитанных для всех этажей здания значение разности давления воздуха Δp .

Для выбранной ранее в п.4.2.4.4.[1 осн.] конструкции заполнения светового проёма по [1 осн.] определяется её сопротивление воздухопроницанию со всеми уплотнёнными притворами и проверяется выполнение условия (12). В случае необходимости изменяется выбранная ранее конструкция заполнения и корректируется значение коэффициента теплопередачи.

Сопротивление воздухопроницанию других ограждающих конструкций определяется расчётом по формуле

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots R_{un}$$

Где R_u, R_{u1}, R_{u2} – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоёв ограждения конструкции, м²чПа/кг, принимаемые по [1 осн.]. после определения величины R_u необходимо проверить соблюдение условий (12).

В контрольно-курсовой работе необходимо определить значения Δp и G для окон, балконных дверей и наружных стен всех этажей здания, расчёты свести в табл.3.

Таблица 3.

Удельный расход инфильтрующегося воздуха.

этаж	Н, м			К			Δp , Па			G, кг/(м ² ч)		
	Окна	Балк. двери	Наружн. стены	Окна	Балк. двери	Наружн. стены	Окна	Балк. двери	Наружн. стены	Окна	Балк. двери	Наружн. стены
1												
2												
3												
...												

5.2 Экономия тепловой энергии при поровом нагреве воздуха, инфильтрующегося через стену

Как отмечалось ранее, инфильтрация воздуха через наружные стены вызывает понижение температуры их внутренней поверхности. Относительная температура внутренней поверхности наружной стены с учетом инфильтрации определяется по формуле

$$\theta_{e,n} \frac{\tau_{en} - \tau_{nn}}{t_e - t_{nn}} = \frac{e^{\theta_e x} - 1}{e^x - 1}$$

где $\theta_e = \theta_e = \frac{\tau_{en} - \tau_{nn}}{t_e - t_{nn}} = \frac{R_0 - R_e}{R_0}$ - относительная температура внутренней повер-

хности наружной стены без учета инфильтрации $\chi = \frac{1}{3,6} C_e G R_0$ - относительный коэффициент фильтрационного теплообмена [1 осн]

$C_e = 1,005$ кДж/(кгК) – удельная теплоемкость воздуха;

G – наибольшее из рассчитанных для всех этажей здания значение удельного расхода инфильтрующегося через наружные стены воздуха; кг/(м²ч), принимается из табл.3 ;

$e = 2,718$ – основание натурального логарифма.

Температура внутренней поверхности наружной стены с учетом инфильтрации $\tau_{вн}$, °С, определяется по формуле :

$$\tau_{вн} = t_{ин} + \theta_{вн}(t_e - t_{ин}).$$

Полученной значение $\tau_{вн}$ необходимо сравнить с температурой τ_e , определенной в п.4.1. и сделать соответствующие выводы.

Фильтрующийся через стену холодный наружный воздух частично подогревается встречным трансмиссионным тепловым потоком, обусловленным разностью температур внутреннего и наружного воздуха. Величина этого теплового потока q_0 (Вт/м²) определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{t_e - t_{ин}}{R_0}$$

Полные затраты теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха q_n (Вт/м²) определяются по формуле

$$q_n = \chi q_0$$

Удельные тепловые потери через наружную стену с учетом инфильтрации $q_{o,n}$ (Вт/м²) складываются из трансмиссионных тепловых потерь и затрат теплоты на догревание инфильтрующегося воздуха и рассчитываются по формуле:

$$q_{o,n} = \varepsilon q_0 ,$$

где $\varepsilon = \frac{\chi e^x}{e^x - 1}$ - коэффициент порового охлаждения.

Долю затрат теплоты на догревание в помещении инфильтрующегося воздуха от полных затрат теплоты на его нагревание при отсутствии встречного теплового потока можно определять по формуле

$$A = \frac{q_{o,n} - q_o}{q_n} = \frac{\varepsilon - 1}{\chi} .$$

Вследствие рекуперации (частичного возврата) теплоты на нагрев наружного воздуха, фильтрующегося через стену, тепловые потери $q_{он}$ меньше суммарных затрат теплоты $q_o + q_n$. Это явление, получившее название «эффекта парового нагрева» [1. осн.], можно использовать для экономии теплоты при вентиляции помещений. Расход теплоты можно сократить, если вместо обычного проветривания с подогревом наружного воздуха применять проветривание через наружное пористое ограждение [1. осн.].

Экономию теплоты при паровом нагреве воздуха η (%) можно определить по формуле:

$$\eta = \frac{q_n + q_o - q_{o,n}}{q_o + q_n} 100 = \left(1 - \frac{\varepsilon}{x + 1} \right) 100.$$

6. Расчёт влажного режима наружной стены.

Влажностной режим наружного ограждения неразрывно связан с его теплозащитными свойствами. Конденсация водяного пара на поверхности ограждения и в его толще способствует разрушению ограждения, ухудшает микроклимат в помещении. По этому при проектировании ограждений необходимо предусмотреть мероприятия, предотвращающие возможность образования конденсата.

6.1. Проверка на отсутствие конденсации водяного пара на внутренней поверхности глади наружной стены и наружного угла.

Во избежание конденсации водяного пара на внутренней поверхности глади ограждения и наружного угла необходимо, чтобы их температура τ не была ниже температуры точки росы внутреннего воздуха, т.е. $\tau \geq t_p$.

Проверку выполнения этого условия удобнее выполнять, сравнивая упругость водяного пара внутреннего воздуха при его расчётной температуре t_e и относительной влажности φ_e с максимальной упругостью водяного пара E_{te} при температуре t_e , определённый из условия $t_n = t_{nn}$ и E_τ при температуре τ_{vz} .

Упругость водяного пара внутреннего воздуха e_e (Па) определяется по формуле:

$$e_e = E_{t_e} \frac{\varphi_e}{100},$$

где E_{t_e} - максимальная упругость водяного пара внутреннего воздуха при его расчётной температуре, Па.

Величины E_{t_e} и E_τ определяют по прилож. 3 в зависимости от температур t_e и τ или рассчитывать по формуле М.И. Фильнея:

$$E_t = 10^{\frac{657,23+10,24t}{236+t}}$$

Если $e_e < E \tau$, то конденсация отсутствует, то в противном случае нужно предусмотреть меры, предупреждающие конденсацию водяного пара (увеличение общего сопротивления теплопередачи, установка в углу отопительного стояка и т.п.).

6.2. Определение сопротивления паропрооницанию наружной стены и построение зоны возможной конденсации водяного пара в её толще.

Анализ влажностного режима толщи наружной стены производят из стационарного состояния и с учётом только диффузии водяного пара через ограждение. В результате анализа необходимо убедиться в отсутствии конденсации водяного пара в толще стены при средней температуре наиболее холодного месяца зимы $t_{нхм}$. В противном случае необходимо определить положение зоны конденсации в толще стены.

Общее сопротивление паропрооницания конструкции стены $R_{o,n}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$) рассчитывается по формуле [5].

$$R_{o,n} = R_{e,n} + \sum R_{in} + R_{nn},$$

где $R_{e,n}$ - сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждения, принимается равным $0,0266 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

R_{in} - сопротивление паропрооницанию i -го слоя ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$,

$$R_{in} = \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

R_{nn} - сопротивление влагообмену на наружной поверхности, принимается равным $0,0053 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$,

μ_i – коэффициент паропрооницаемости материала i -го слоя, $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, принимается по [5].

Упругость водяного пара в произвольном сечении x . e_x (Па) определяется по формуле:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{on-x}} R_{on-x};$$

где R_{on-x} – сопротивление паропрооницанию от воздуха помещения до сечения x , в котором определяется упругость e_x , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

e_n - упругость водяного пара наружного воздуха, Па, определяется по известным значениям температуры наружного воздуха $t_{нхм}$ и средней за наиболее холодный месяц относительной влажности наружного воздуха $\varphi_{нхм}(\%)$ по формуле

$$e_n = E_{t_{нхм}} \frac{\varphi_{нхм}}{100}.$$

Для построения зоны возможной конденсации сечений наружной стены

вычерчивается в масштабе сопротивлений паропроницанию с учетом сопротивлений влагообмену на поверхностях R_{en} и R_{in} (рис. 4). На этом сечении восстанавливается ранее построенная (см п.4.1.) линия распределения температуры при $t_n = t_{нхм}$. С учетом линейного изменения упругости водяного пара строится линия распределения e по сечению стены. Для этого на условных поверхностях ограждения, образованных прибавлением сопротивлений влагообмену R_{en} и R_{in} к сопротивлению паропроницанию материальных слоев $\sum R_{in}$, откладываются значения e_e и e_n . Полученные точки соединяются прямой линией.

По известным значениям температуры в сечении стены в том же масштабе строится кривая и изменения максимальной упругости водяного пара E . Для более точного построения линии E наиболее толстые слои ограждения разбиваются на пять или более элементарных слоев.

Если линии E и e пересекаются, то это указывает на наличие в ограждении условий для конденсации в нем водяного пара.

Для построения линий действительного изменения упругости водяного пара в ограждении из точек e_e и e_n на условных поверхностях стены проводятся касательные к линиям максимальной упругости водяного пара. Таким образом, получается линии $e_e E_I E_{II} e_n$ действительного изменения упругости водяного пара в толще стены. На прямолинейных участках этой линии $e_e E_I$ и $E_{II} e_n$ изменения упругости водяного пара происходит только за счет сопротивления паропроницанию. На криволинейном участке $E_I E_{II}$ совпадающем с линией E и изменение упругости пара происходит за счет его конденсации. Плоскости, параллельные поверхностям ограждения и проходящие через точки E_I и E_{II} , являются границами зоны возможной конденсации.

Переносом линий $e_e E_I E_{II} e_n$ на сечение стены, вычерченное в масштабе толщин слоев, определяются положение и толщина зоны возможной конденсации δ_k (см. рис. 4).

Количество конденсата в ограждении P_w определяется по разности удельных потоков водяного пара, притекающего к зоне возможной конденсаций P_1 и уходящего от нее P_2 (мг/м²ч):

$$P_w = P_1 - P_2, \quad P_1 = \frac{e_e - E_I}{R_{en} + R_{in}}, \quad P_2 = \frac{E_{II} - e_n}{R_{en} + R_{in}}$$

где R_{in} - сопротивление паропроницанию части стены от внутренней поверхности до внутренней границы зоны возможной конденсации;

R_{en} - сопротивление паропроницанию части стены от наружной границы зоны возможной конденсации до наружной поверхности стены (см. рис. 4).

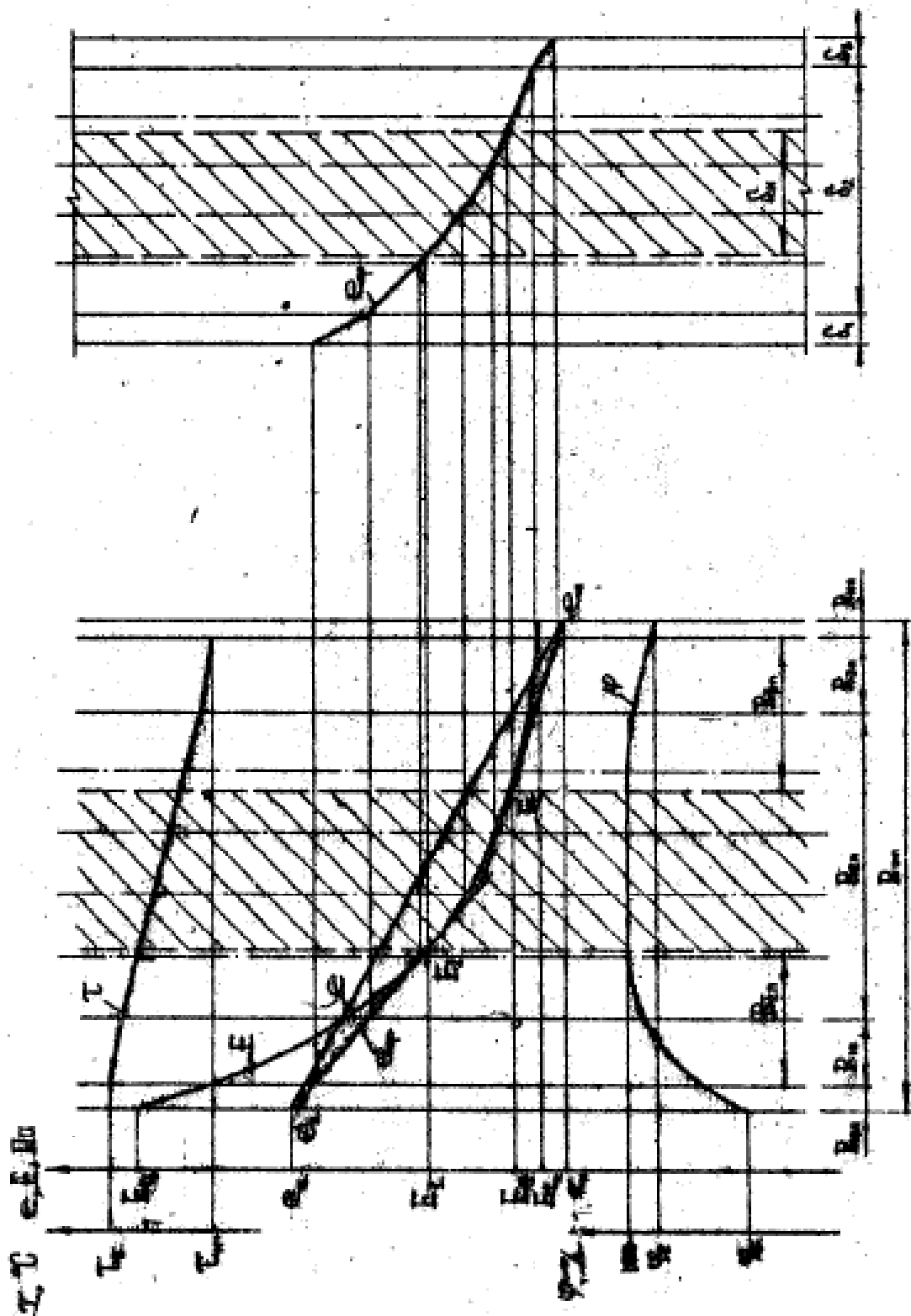


Рис. 4. Построение зоны возможной конденсации водяного пара в многослойном ограждении.

Если линия E оказывается везде выше линии e , то конденсации в ограждении не будет и линия действительного изменения упругости водяного пара совпадает с линией e . Удельный поток водяного пара P (мг/м² ч) через ограждение в этом случае определяется по формуле:

$$P = \frac{e_e - e_n}{R_{on}}$$

Если линия E оказывается везде ниже линии e , то все ограждение находится в зоне возможной конденсации и линия действительного изменения упругости водяного пара совпадает с линией E .

Для предупреждения конденсации пара в конструкции ограждения необходимо предусмотреть пароизоляцию на его внутренней поверхности.

Внутри ограждения изменяется также относительная упругость водяного пара φ . Для построения линии относительной упругости необходимо определить значение φ_x в характерных сечениях ограждения по значениям e_{on} и E_x , полученным из графика.

$$\varphi_x = \frac{e_{o,x}}{E_x}$$

При выполнении контрольно-курсовой работы необходимо построить линии изменения τ , e , E , φ , действительной упругости водяного пара e_o в зависимости от R_n , определить значение R_{in} , R_{en} , P_w или P . На сечение стены переносят линию изменения действительной упругости водяного пара в толще стены и границы зоны возможной конденсации.

7. Расчет теплового режима помещения в зимних условиях.

В зависимости от характера протекающих в помещении тепловых процессов его тепловой режим может быть стационарным и нестационарным. С целью определения тепловой мощности отопительных приборов в помещениях выполняется расчет его теплового баланса в стационарных условиях. Расчет теплового режима помещения при периодическом отоплении осуществляется с учетом нестационарности тепловых процессов.

7.1. Расчет теплового баланса помещения.

Тепловой баланс помещения определяется при расчетной температуре наружного воздуха, равной температуре наиболее холодной пятидневки в соответствии с методикой [1 доп.].

Затраты теплоты на нагревание инфильтрующегося через, окна и балконные двери наружного воздуха Q_n Вт, рассчитываются по формуле (3) в [1 доп.] с учетом данных табл.3.

7.2. Расчет нестационарного теплового режима помещения при периодическом отоплении

Для обеспечения заданного теплового режима в помещении в холодное время года теплоотдача отопительных приборов должна быть равна недостатку теплоты в нем. Если теплопоступления периодически изменяются при неизменных потерях теплоты, то в помещении наблюдаются колебания температуры воздуха и внутренних поверхностей ограждения. Характер и величина этих колебаний определяются теплоустойчивостью помещения.

Теплоустойчивостью помещения называется его свойство поддерживать относительное постоянство температуры при периодически изменяющихся тепловых потоках.

В здании, присоединенном к системе теплоснабжения, регулирование тепловой мощности системы отопления в конце и начале отопительного периода может производиться "пропусками". Это означает, что какое-то время m часов по системе будет циркулировать теплоноситель, а затем на n часов циркуляция теплоносителя прекратится. При этом должна поддерживаться температура помещений, колебания которой допустимы в пределах $\pm 1.5^\circ\text{C}$.

Амплитуда колебаний температуры помещения A_m ($^\circ\text{C}$) при отоплении «пропуска» определяется по формуле [1]

$$A_m = \frac{0.9Q_{\max}}{P_{\text{ном}}}$$

где Q_{\max} - мощность отопительных приборов в помещении в период натопа (Вт) рассчитывается по формуле:

$$Q_{\max} = 2MQ_{\text{ср}},$$

M - коэффициент неравномерности теплоотдачи отопительного прибора, для нетеплоёмкого отопительного прибора

$$M = \frac{T}{2m} = \frac{m+n}{2m},$$

$T=m+n$ - период изменения подачи теплоты, ч;

$Q_{\text{ср}}$ - средняя мощность отопительных приборов в помещении за период T , Вт, принимается перерасчётом по формуле:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{ном}} \frac{t_e - s}{t_e - t_{н.н.}}$$

$Q_{\text{ном}}$ - расчётные теплотопотери помещения, Вт, определённые в п.7.1.;

$P_{\text{ном}}$ - показатель теплопоглощения помещения, Вт/К.

Показатель теплопоглощения помещения в основном учитывает теплопоглощающую способность ограждений $P_{\text{огр}}$ и воздухообмена $P_{\text{вент}}$ в помещении и равен их сумме (поглощающая способность мебели, оборудования и воздуха в объёме помещения в данном расчёте не учитывается):

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{огр}} + P_{\text{вент.}}$$

Показатель теплопоглощения ограждений в помещении $P_{\text{огр}}$ (Вт/К) рассчитывается по формуле:

$$P_{огр} = \frac{1}{\frac{\Omega}{Y_{\min}} + \frac{1}{\Lambda_{ном}}},$$

где $Y_{ном}$ - показатель теплоусвоения помещения, определяется как суммарное теплоусвоение всех поверхностей ограждений помещения, Вт/К:

$$Y_{ном} = \sum Y_i F_i;$$

$Y_i F_i$ - показатели (коэффициенты) теплоусвоения и площади поверхности отдельных ограждений;

$\Lambda_{ном}$ - показатель интенсивности теплообмена на всей площади внутренних поверхностей ограждений помещения, Вт/К:

$$\Lambda_{ном} = \alpha_6^{cp} \sum F_i$$

α_6^{cp} - осредненное по всем поверхностям в помещении значение коэффициента теплообмена, $\alpha_6^{cp} = 4.1$ Вт/(м²К);

Ω - коэффициент прерывистости, опр.по прил 4.

Показатель теплопоглощения воздухообмена в помещении $P_{вент}$ (Вт/К) определяем по формуле:

$$P_{вент} = \frac{1}{3,6} L c_p,$$

где $\frac{1}{3,6}$ - переводной коэффициент;

L - воздухообмен в помещении, м³/ч, для жилой комнаты определяется из расчёта 3 м³/ч на 1м²; для кухни, оборудованной двухкомфорочными плитами- не менее 75 м³/ч, четырёхкомфорочными плитами- не менее 90 м³/ч, для других помещений принимается по нормативной литературе;

c_p -объёмная теплоёмкость воздуха, равна 1,3 кДж/м³К.

При расчёте показателя теплоусвоения внутренней поверхности ограждений в помещении Y_i учитывают только слой резких колебаний (рис.5).

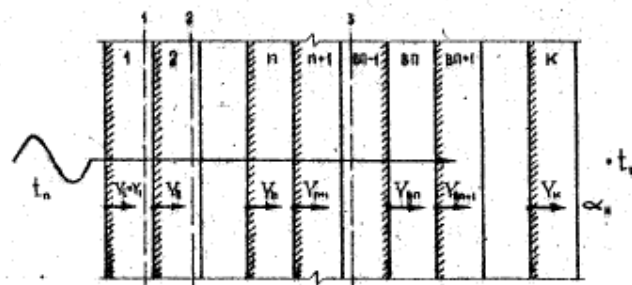


Рис. 5. Расположение и нумерция слоев при определении показателя теплоусвоения внутренней поверхности наружного ограждения.

Слоем резких колебаний называется слой, тепловая инерция которого $D=I$.

Особенность данного расчёта состоит в том, что значения коэффициента теплоусвоения материала слоёв s , Вт/м²К, нужно пересчитать для заданного периода T по формуле:

$$S = S_{24} \sqrt{\frac{24}{m+n}},$$

где S_{24} - расчётный коэффициент теплоусвоения материала при периоде $T=24$ ч, принимается по [5], Вт/м²К.

При определении Y_i могут встретиться следующие характерные случаи (нумерация слоёв в ограждении принята от рассчитываемого помещения) [1]

1) тепловая инерция первого слоя $D_1 \geq I$ (см.рис.5, сечение I-I), тогда

$$Y_i = Y_1 = S_1$$

2) слой резких колебаний захватывает второй от внутренней поверхности материальный слой т.е. только $D_1 + D_2 \geq I$ (см.рис.5.сечение II-II), тогда

$$Y_i = Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2}; \quad (13)$$

3) слой резких колебаний захватывает третий, четвёртый слои и т.д., т.е. $D_1 + D_2 < I$ (см.рис.5.сечение III-III), тогда

$$Y = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2}, \quad (14)$$

где Y_2 -показатель теплоусвоения поверхности второго слоя, определяется аналогично Y_i с соответствующей заменой индексов в формулах (13)-(14) и т. д. в зависимости от того, сколько материальных слоёв входит в слой резких колебаний.

В общем случае для поверхности n -го слоя

$$Y_n = \frac{R_n S_n^2 + Y_{n+1}}{1 + R_n Y_{n+1}}.$$

Показатель теплоусвоения поверхности последнего k -го слоя в наружном ограждении определяется по формуле :

$$Y_k = \frac{R_k S_k^2 + \alpha_n}{1 + R_k \alpha_n},$$

Где α_n -коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²К.

4) если ограждение целиком или отдельный слой ограждения практически не обладает тепловой инерцией (например, окно, воздушная прослойка в ограждении), то показатель теплоусвоения для них:

для окна
$$Y_{ок} = \frac{\alpha_n}{1 + R'_{ок} \alpha_n}$$

для воздушной прослойки
$$Y_{en} = \frac{Y_{en+1}}{1 + R'_{en} Y_{en+1}},$$

где Y_{en+1} - показатель теплоусвоения поверхности слоя, следующего за воздушной прослойкой;

$$R'_{ок} = R_{ок} - R_{\varepsilon} - R_n = R_{ок} - \frac{1}{\alpha_{\varepsilon}} - \frac{1}{\alpha_n};$$

5) внутреннее ограждение, подверженное с обеих сторон воздействию периодических температурных колебаний, при тепловой инерции $\Sigma D_n < 2$ делят на две части с одинаковой тепловой инерцией (рис.6)

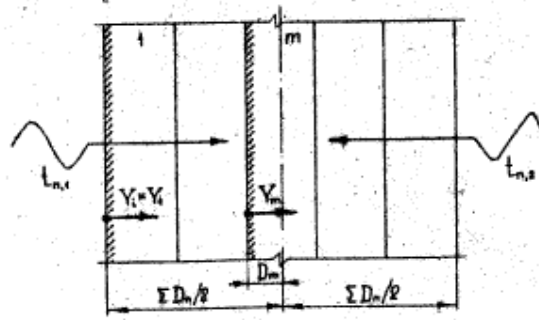


Рис.6. Расположение и нумерация слоев при определении показателя теплоусвоения внутренней поверхности внутреннего ограждения

Расчёт показателя теплоусвоения ведут с заданной поверхности до слоя m , в пределах которого прошла граница раздела, называемая осью тепловой симметрии. Для поверхности слоя m показатель теплоусвоения определяют по формуле

$$Y_m = D_m S_m,$$

где D_m -тепловая инерция части слоя m до оси симметрии;

S_m -коэффициент теплоусвоения материала слоя, через который прошла граница раздела, Вт/(м.к)

По результатам расчета строится график изменения теплового потока и температуры помещения во времени (рис.7).

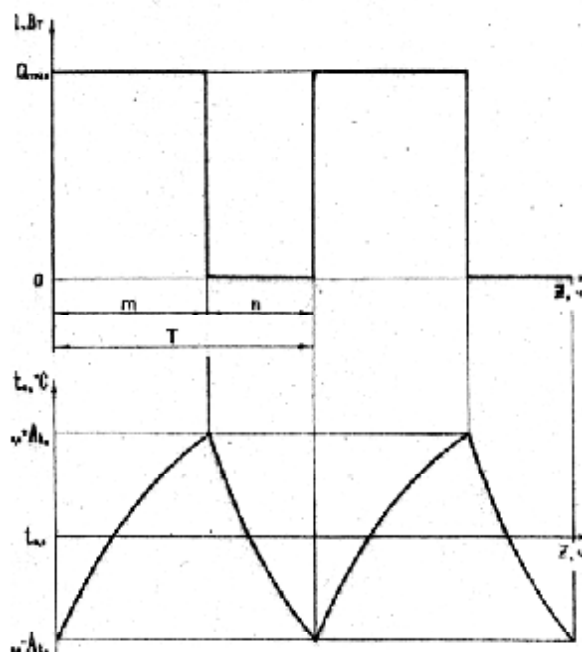


Рис.7. График изменения теплового потока и температуры помещения при периодическом отоплении.

8. Заключение

В заключении необходимо подвести итоги выполненным в курсовой работе расчетам, сделать выводы по принятым решениям, направленным на обеспечение в помещении требуемых санитарно-гигиенических условий.

9. Оформление пояснительной записки.

Пояснительная записка - это важный технический документ, в котором приводятся необходимые расчеты, таблицы, схемы и графика, описываются принятые решения, дается их обоснование.

Пояснительную записку следует составлять параллельно с выполнением контрольно-курсовой работы. Она оформляется на листах формата А 4 (размер 297x210 мм) с обеих его сторон и включает в себя: титульный лист, задание на курсовую работу (проект), оглавление, разделы и подразделы записки, список использованной литературы, необходимые приложения. Правила оформления титульного и последующих листов приведены на стенде кафедры. Схемы, графика и рисунки допускается выполнять карандашом. При необходимости для выполнения графиков, схем и таблиц допускается использование листов бумаги других стандартных форматов.

При написании пояснительной записки следует выполнять также следующие правила:

1) нумерация страниц текста, списка литературы и приложений, входящих в состав записки, должна быть сквозная; первой страницей (листом) является титульный лист, причем номер на нем не указывается;

2) разделы и подразделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой, в пределах всей пояснительной записки; содержащиеся в тексте подраздела перечисления требований указаний, положений обозначают арабскими цифрами со скобкой без точки; наименования разделов в тексте записки оформляются в виде заголовков прописными буквами чертежного шрифта размера 7 (высота букв 7 мм), наименования подразделов записывают в виде заголовков строчным шрифтом размера 5; все заголовки выполняются без подчеркивания; переносы слов в заголовках пояснительной записки не допускаются; точку в конце заголовка не ставят;

3) расстояние между заголовком и последующим текстом должно быть не менее 10 мм, между основаниями строк текста - должно быть 8 мм, между последней строкой текста и последующим заголовком - не более 15 мм;

4) сокращение слов в тексте и подписях под иллюстрациями не допускается; исключения составляют сокращения, установленные ГОСТ 2.316-68* (СТ СЭВ 865-78)» ГОСТ 2 Г. 105-79, ГОСТ 7Л2-77; все общепринятые - сокращения пишутся без точки: метр - м, секунда - с, час - ч, килограмм - кг; допустимые сокращения некоторых слоев приведены на стенде кафедры;

5) единицы измерения, названные в честь ученых, пишутся с большой буквы: Вт, кВт, Дж. Сложные единицы измерения следует писать в одну строку: Вт/(м² К), м²/Вт, кг/ч;

6) ссылки на литературу даются в квадратных скобках, где указывается номер источника согласно списку использованной литературы;

7) все Таблицы в тексте записки должны иметь название; над названием в правой стороне страницы помещают слово "Таблица"; если в тексте записки таблица однако номер ей не присваивают и слово "Таблица" не пишут; в случае когда таблиц несколько, их нумеруют арабскими цифрами в пределах всей записки; при переносе таблицы на другой лист головку таблицы повторяют и над ней пишут слово "Продолжение", а после него сокращенное слово "табл." и ее номер, если таблица в тексте не одна повторяющийся в графе таблицы текст, состоящий из одного слова, допускается заменять кавычками; если повторяющийся текст состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами "то же", а далее - кавычками; если цифровые или какие-нибудь иные данные в таблице не приводятся, то в графе ставят прочерк; в случае ссылки на таблицу слово "Таблица" в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно, если она имеет номер;

8) чертежи, рисунки и другие изображения в тексте должны иметь название, которое помещают над изображением; поясняющие данные помещают под изображением» а номер иллюстрации. - ниже поясняющих данных; все иллюстрации в тексте, если их более одной, нумеруются арабскими цифрами в пределах всего текста, например: рис.1, рис.2; ссылки на иллюстрации даются по типу: "...на рис.2" или (рис.2); ссылки не ранее упомянутые иллюстрации даются в скобках с сокращением слова "смотри", например: "(см.рис.3)";

9) правила оформления графиков понятны из прилож.2.

Пояснительная записка должна быть аккуратно переплетена. Обложками служат титульный лист и чистый лист чертёжной бумаги формата А4. После

этого записке подписывается автором и сдается на проверку руководителю проектирования.

10. Библиографический список рекомендуемой литературы

Основной.

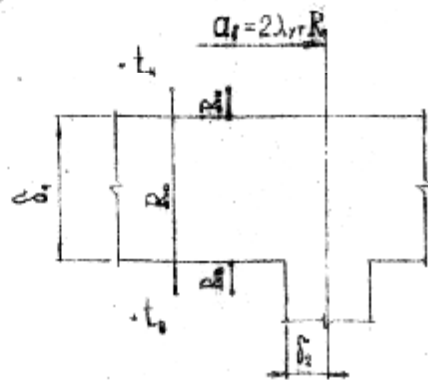
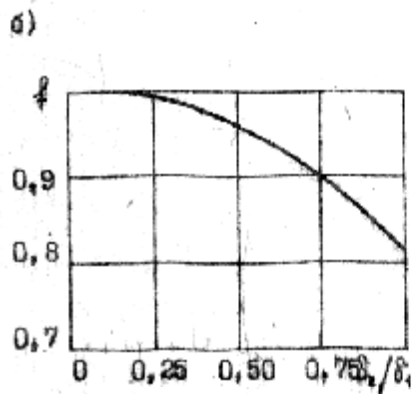
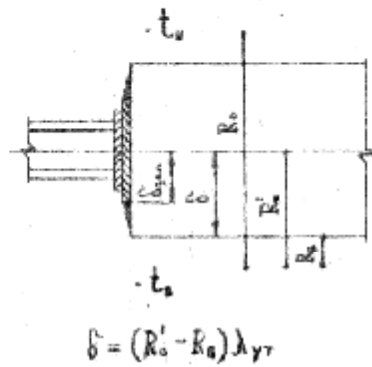
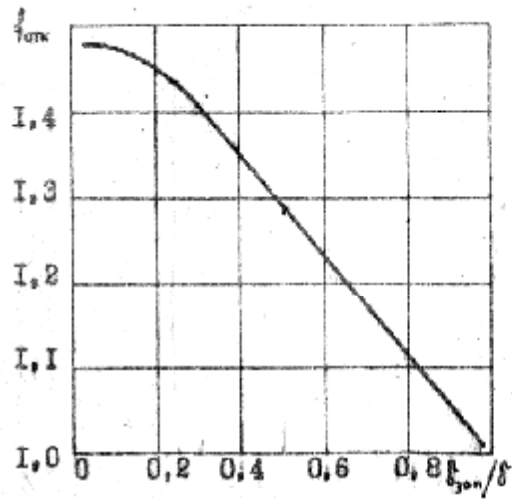
1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учебник для вузов / Богословский В.Н. - СПб.: «АВОК Северо-Запад», 2006.- 400с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- 5-902146-10-0 /в пер./: 00.00.

Дополнительный.

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Госстрой России,, 2004. – 71 с.
2. СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные. - М.: Госстрой России,, 2004. – 25 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. - М.: Госстрой России, 2000, - 67с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. - М.: Госстрой России,, 2004. – 28 с.
5. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. - М.: Госстрой России, 2004. – 186 с.

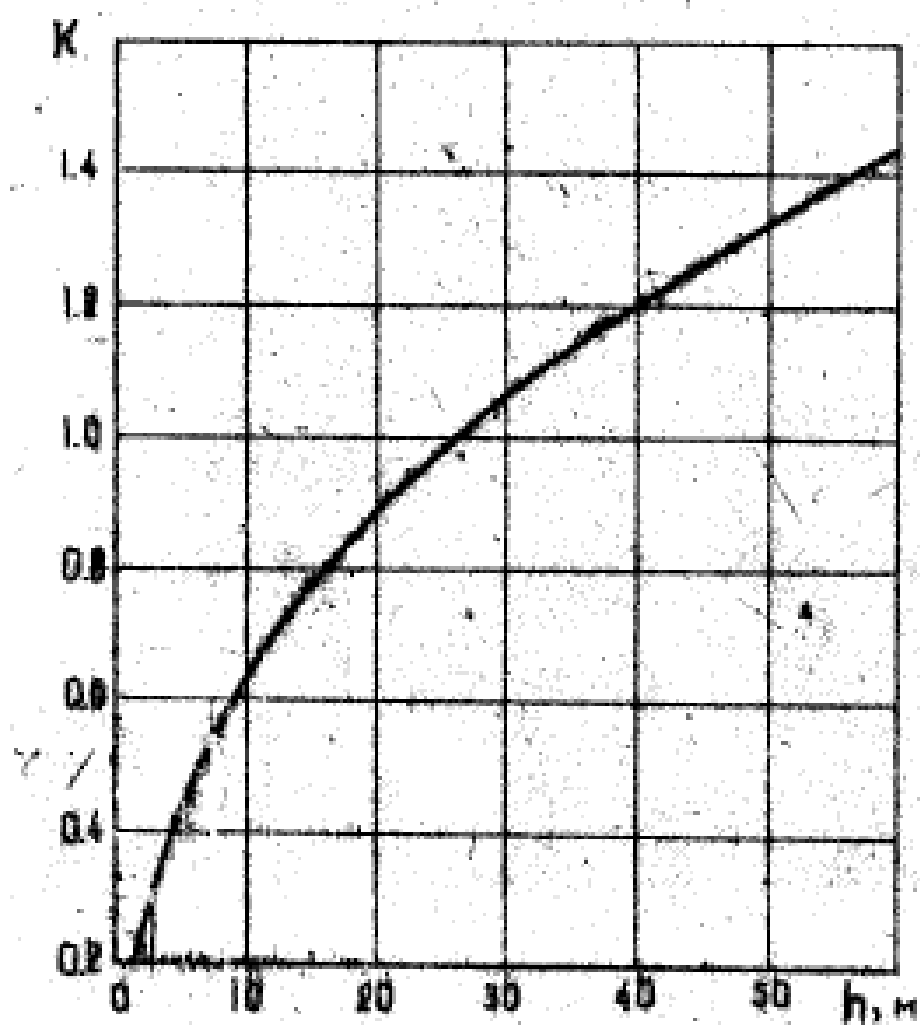
Приложения

Приложение 1



Графики для определения факторов формы откоса оконного проема (а) и стыка внутренней перегородки с наружной стеной (б)

Приложение 2



Значение коэффициента K , учитывающего изменение скоростного напора.

Приложение 3

Упругость насыщенного водяного пара (максимальная упругость) при атмосферном давлении различных температурах.

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$
-20	123,59	-8	327,31	4	812,86	16	1817,18
-19	135,32	-7	354,37	5	871,13	17	1937,17
-18	148,79	-6	383,43	6	932,99	18	2036,82
-17	160,92	-5	421,30	7	998,85	19	2197,15
-16	174,39	-4	449,03	8	1068,84	20	2337,13
-15	186,65	-3	485,83	9	1143,10	21	2486,46
-14	206,52	-2	525,42	10	1227,9	22	2643,78
-13	223,98	-1	568,35	11	1311,89	23	2809,09
-12	244,11	0	610,61	12	1402,55	24	2983,75
-11	264,64	1	658,61	13	1496,14	25	3167,73
-10	285,31	2	706,87	14	1598,26	26	3361,05
-9	302,24	3	758,20	15	1705,19	27	3565,03

Приложение 4

Значения коэффициента непрерывности Ω

m/T	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
Ω	0	0,73	0,84	0,84	0,76	0,63	0,45	0,24	0

Приложение 5

Задание на проектирование

Номер варианта	Район строительства (город)	температура помещения, °С	Конструкция ограждения номер слоя в конструкции номер слоя в СНиП/толщина, мм				
			1	2	3	4	5
1	Абакан	15	71/30	85/120	142/ ?	85/120	71/30
2	Архангельск	21	108/12	возд. прослойка/50	85/250	142/ ?	71/30
3	Астрахань	18	83/10	возд. прослойка/30	17/?	-	-
4	Белгород	12	120/15	129/?	87/380	возд. прослойка/20	178/12
5	Биробиджан	25	124/20	93/250	132/?	93/65	73/50
6	Благовещенск	16	90/200	137/?	72/50	возд. прослойка/30	96/30
7	Братск, Ирк.	14	83/12	63/80	137/?	78/50	98/20
8	Брянск	23	83/12	140/?	115/30	179/10	-
9	Владивосток	17	124/20	76/30	92/125	147/?	92/125
10	Владимир	22	120/20	129/?	87/250	возд. прослойка/50	178/20
11	Волгоград	19	83/10	71/30	23/?	196/5	-
12	Вологда	15	83/24	120/30	129/?	120/30	180/5
13	Воронеж	21	79/20	90/200	158/?	90/200	79/50
14	Выборг	18	108/25	возд. прослойка/70	85/380	142/ ?	71/30
15	Зея, Амурской обл.	12	124/30	93/125	132/?	93/125	73/20
16	Иваново	20	83/36	129/?	115/30	179/10	-
17	Иркутск	16	90/200	175/?	72/50	возд. прослойка/30	96/30
18	Казань	14	124/10	76/50	92/125	172/?	92/125
19	Тверь	26	71/30	85/250	169/ ?	85/120	71/30
20	Калуга	17	71/30	85/120	63/ ?	85/120	71/30
21	Кемерово	22	83/30	возд. прослойка/50	25/?	-	-
22	Киров	19	79/20	90/200	158/?	87/65	79/50
23	Красноярск	15	79/20	87/250	165/?	84/125	79/50
24	Курган	21	74/20	129/?	87/250	возд. прослойка/25	178/20
25	Курск	18	86/125	158/?	87/250	возд. прослойка/50	178/20
26	Липецк	12	108/12	возд. прослойка/50	88/250	177/ ?	88/65
27	Москва	20	90/100	176/?	90/100	возд. прослойка/30	96/30
28	Мурманск	16	90/250	150/?	72/50	возд. прослойка/40	96/30
29	Нальчик	14	124/30	93/125	159/?	93/125	73/20
30	Новгород	23	108/30	90/100	132/?	93/125	73/20
31	Новосибирск	17	83/36	120/40	142/?	120/40	180/10
32	Омск	22	124/20	93/250	132/?	93/65	73/50
33	Орел	12	108/12	возд. прослойка/50	85/250	142/ ?	71/30
34	Охотск, Хаб.	5	120/20	129/?	87/250	возд. прослойка/50	178/20
35	Пенза	24	90/200	137/?	72/50	возд. прослойка/30	96/30
36	Пермь	16	83/12	возд. прослойка/30	129/?	115/50	179/10
37	Псков	14	83/36	возд. прослойка/30	25/?	-	-
38	Ростов-на -Дону	23	83/24	возд. прослойка/30	28/?	178/10	-
39	Рязань	17	124/20	76/30	92/125	147/?	90/125
40	Смоленск	22	124/20	76/30	90/200	147/?	92/125

Приложение 6

Состав климатического паспорта района строительства

Исходные данные

Место строительства (город, посёлок, район и др.) -

Географическая широта -

Данные о температуре воздуха [СНиП 23-01-99. Строительная климатология]

Температура воздуха:

средняя по месяцам и за год [СНиП 23-01-99. Строительная климатология] –

наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,92 –

наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,98 –

наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92 –

наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,98 –

абсолютная минимальная температура воздуха, °С –

Продолжительность периода со среднесуточной температурой $< 8^{\circ}\text{C}$ –

Средняя температура периода со среднесуточной температурой $< 8^{\circ}\text{C}$ –

Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С –

Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С –

Влажность и осадки [СНиП 23-01-99. Строительная климатология]

Средняя месячная относительная влажность воздуха:

наиболее холодного месяца, % –

наиболее теплого месяца, % –

Количество осадков, мм:

за ноябрь – март –

за апрель – октябрь –

Перемещение воздуха [СНиП 23-01-99. Строительная климатология]

Преобладающее направление ветра за декабрь – февраль –

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с –

Преобладающее направление ветра за июнь – август –

Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с –

Зона влажности –

Климатический район и подрайон –

Глубина промерзания грунта [СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика] –

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Тип окна

Первая буква фамилии	Тип окна	Размеры окна lхh, м
А, Б, В	Одинарное остекление в деревянных переплетах	1,25х1,25
Г, Д, Е	Одинарное остекление в металлических переплетах	1,0х1,2
Ж, З, И	Двойное остекление в металлических раздельных переплетах	2,2х1,65
К, Л, М	Двойное остекление в деревянных раздельных переплетах	2,75х1,5
Н, О, П	Двойное остекление в деревянных или пластиковых спаренных переплетах	3,3х2,2
Р, С, Т	Тройное остекление в металлических раздельных переплетах	2,75х2,0
У, Ф, Х	Двухслойные стеклопакеты в деревян- ных или пластиковых переплетах	6,0х2,45
Ц, Ч, Ш	Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах	3,7х1,9
Щ, Э, Ю, Я	Трехслойные стеклопакеты в деревян- ных или пластиковых переплетах	4,0х1,15

Габариты здания

Вторая буква фамилии	Высота этажа	Количество этажей в здании	Размеры наружной стены lхh, м
А, Б, В	2,700	5	7,62х5,25
Г, Д, Е	3,100	7	9,1х5,35
Ж, З, И	3,300	9	2,9х2,8
К, Л, М	2,750	7	4,5х3,5
Н, О, П	3,200	9	4,8х4,5
Р, С, Т	3,400	12	6,3х3,3
У, Ф, Х	2,800	9	10,4х3,45
Ц, Ч, Ш	3,000	12	4,8х2,55
Щ, Э, Ю, Я	3,50	7	8,66х3,35