

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»  
« 12 » января 2021 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: 080301-06-21

Тула 2021 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  $\varphi_{int}$  – 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  $\phi_{int}$  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  $R_{req}$ , м<sup>2</sup>·°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/м<sup>3</sup> и зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации (осенью или весной), нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_{req}$ , м<sup>2</sup>·°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;  $\Delta t_n$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_{int}$  и температурой внутренней поверхности  $t_{int}$  ограждающей конструкции, °С;  $\alpha_{int}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°С);  $t_{int}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С;  $t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С.

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 °С 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

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

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

$t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

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

$\Delta t^n$  – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С;

$\alpha_e$  - 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,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ,

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

$\delta$  - толщина слоя, м;

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

$\alpha_n$  - 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, м<sup>2</sup>/Вт;

$R_e = \frac{1}{\alpha_e}$  - термическое сопротивление теплообмену на внутренней поверхности ограждения м<sup>2</sup>/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.



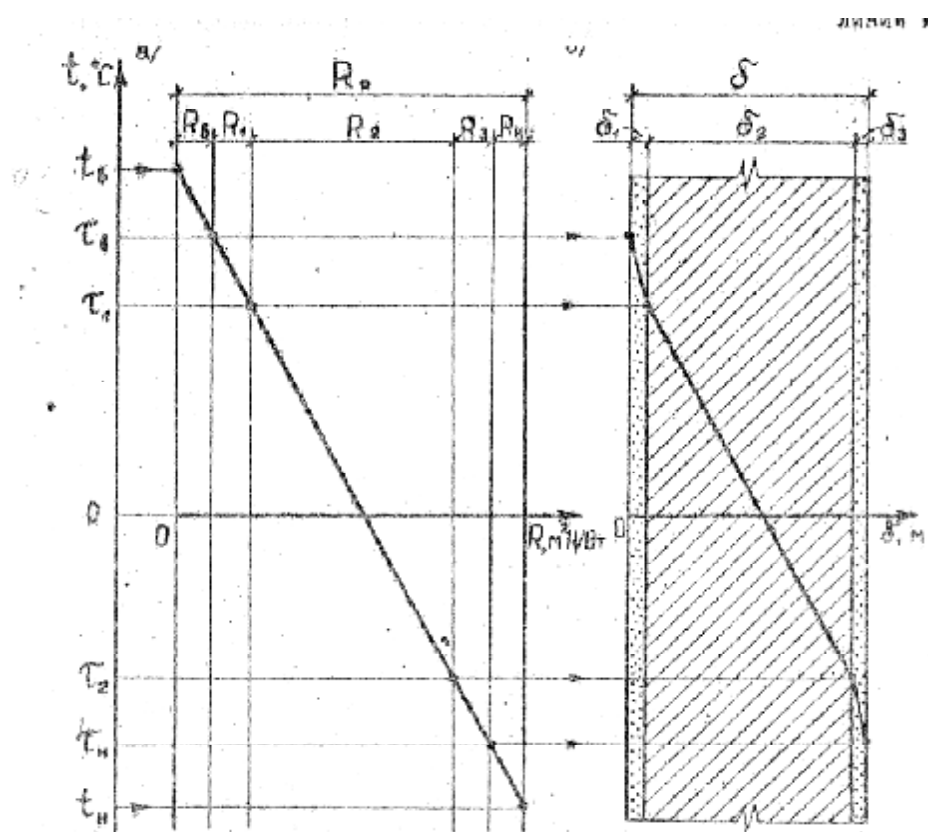


Рис. 1 Построение стационарного температурного поля в многослойном наружном ограждении:  
а- в масштабе термических сопротивлений;  
б- в сечении стены.

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  $\tau_{ye}$  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  $\tau_e$  - 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  $R_o^{\phi}$  - 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

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

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

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

При определении величины  $\alpha_{fi}$  для откоса светового проёма вместо  $R_o^{\phi}$  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 <sup>2</sup>	$F_o, \text{м}^2$	$R_o^{np}$ м <sup>2</sup> /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

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

$\rho$  - плотность материала слоя с учётом его влажности. Кг/м<sup>3</sup>,

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

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

$\omega$  - 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  $\Delta z$ .

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  $\Delta z$  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  $\Delta x$  разбивают только основной слой. Сопротивление наружного и внутреннего конструктивных слоёв  $\delta_k/\lambda_k$  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  $\Delta z$  определяют из формулы (5) при значении критерия Фурье, равном  $F_{o_{\Delta}} = 0,5$ . Значения  $\lambda$ ,

$\sigma$  и  $\rho$  в формуле (5) принимаются в этом случае для материала утеплителя.

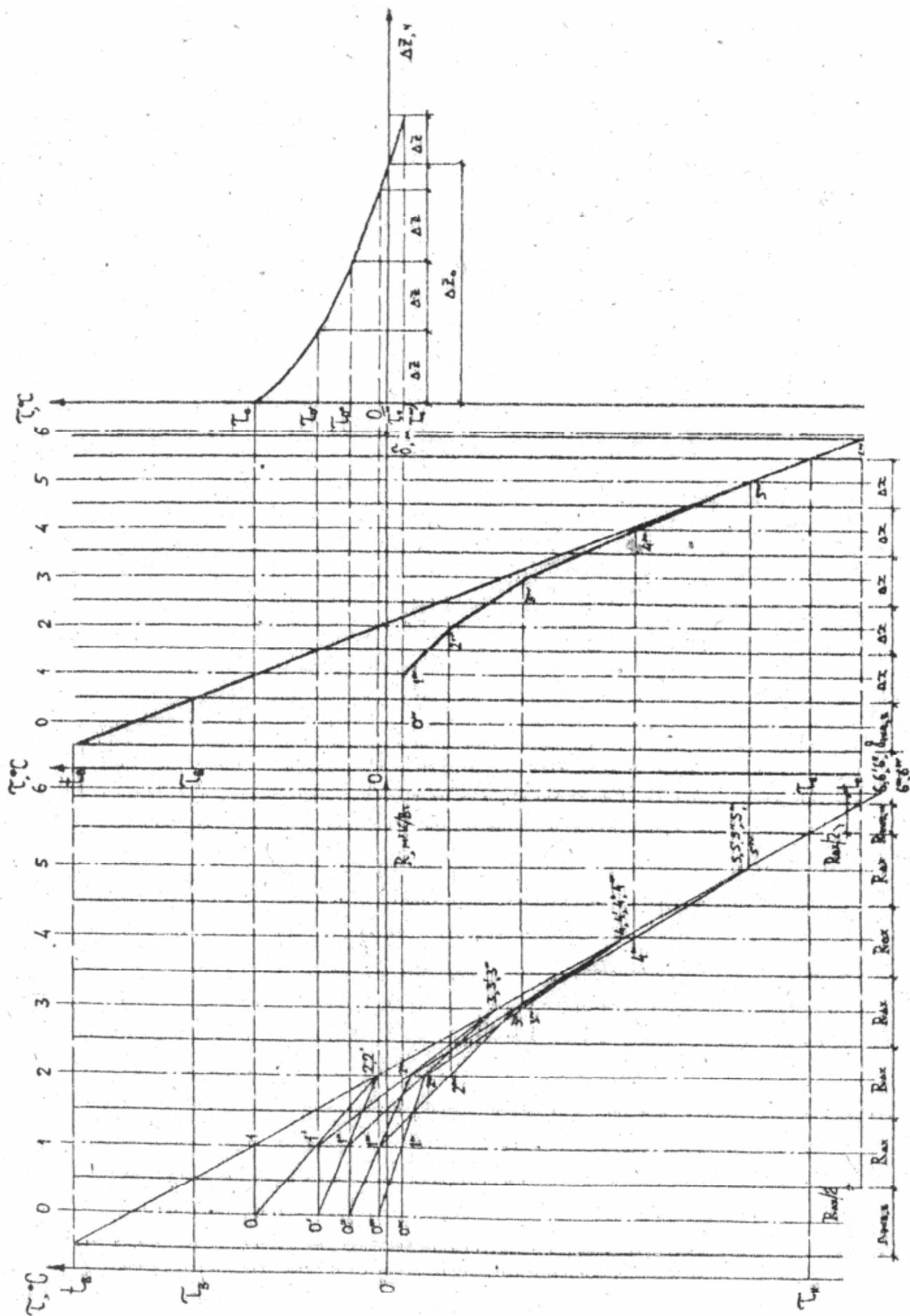
Построение линий распределения температуры производится следующим образом. В прямоугольной системе координат  $[t, R]$  на горизонтальной оси  $R$  откладывают последовательно значения  $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ . Через полученные точки проводят вертикальные прямые, в результате чего получается условное 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  $\Delta z_0$ , в течение которого температура внутренней поверхности стены понизится до  $0^\circ\text{C}$ . 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  $\Delta z_0$ .



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  $\Delta x_1$  сначала разбивают внутренний (ближний к помещению) слой, а толщину  $\Delta x_2$  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  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  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  $\Delta x_2$ . 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  $t_{n,\Delta x}$  и  $t_{n+1,\Delta x}$  на осях пограничных элементарных, слоёв в конце расчетного интервала времени определяют следующим образом (рис.3).

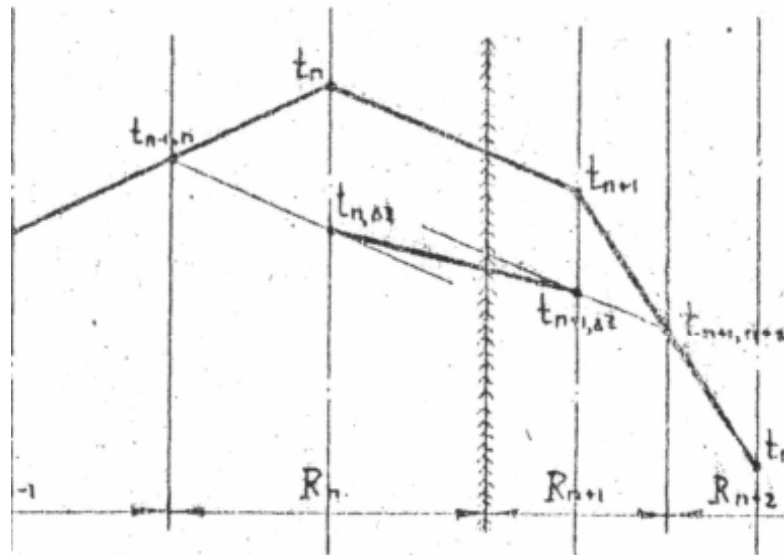


Рис.3. Построение линий распределения температуры на стыке двух материальных слоев ограждений.

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  $t_{n,\Delta x}$ ,  $t_{n+1,\Delta x}$ .

#### 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  $\nu$  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  $\nu$  ограждающей конструкции с тепловой инерцией  $D \geq 1,5$  допускается определять по приближенной формуле (25) в [1 осн.]. В этой формуле поправочный коэффициент  $\beta_1$ , 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  $\beta_1$  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  $\nu$  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/м<sup>2</sup>·ч определяется по формуле

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

где  $\Delta p$  - 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 м<sup>2</sup>·чПа<sup>2/3</sup>/кг и других ограждающих конструкций м<sup>2</sup>·чПа/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]:

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

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/м<sup>3</sup>; определяется по формуле  $\rho = 353 / (273 + t)$ ;

$t$  - температура воздуха, °С;

$g = 9,81$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,

$C_{н}, C_з$  - 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  $\Delta p$  (Па) для жилых и общественных зданий с естественной вытяжной вентиляцией следует учитывать проблемы давления в вентиляционных системах  $\Delta p_c$  (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/м<sup>3</sup>. 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/м<sup>2</sup>ч, 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  $\Delta p$ .

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, м<sup>2</sup>чПа/кг, принимаемые по [1 осн.]. после определения величины  $R_u$  необходимо проверить соблюдение условий (12).

В контрольно-курсовой работе необходимо определить значения  $\Delta p$  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			$\Delta p$ , Па			G, кг/(м <sup>2</sup> 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  $\theta_e = \theta_{en} = \frac{\tau_{en} - \tau_{nn}}{t_e - t_{nn}} = \frac{R_0 - R_e}{R_0}$  - 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/(м<sup>2</sup>ч), принимается из табл.3 ;

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

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

$$\tau_{en} = t_{nn} + \theta_{en}(t_e - t_{nn}).$$

Полученной значение  $\tau_{en}$  необходимо сравнить с температурой  $\tau_e$ , 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/м<sup>2</sup>) определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{t_e - t_{nn}}{R_0}$$

Полные затраты теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха  $q_n$  (Вт/м<sup>2</sup>) определяются по формуле

$$q_n = \chi q_0$$

Удельные тепловые потери через наружную стену с учетом инфильтрации  $q_{o,n}$  (Вт/м<sup>2</sup>) 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  $\eta$  (%) 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 глады наружной стены и наружного угла.

Во избежание конденсации водяного пара на внутренней поверхности глады ограждения и наружного угла необходимо, чтобы их температура  $\tau$  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  $\varphi_e$  с максимальной упругостью водяного пара  $E_{te}$  при температуре  $t_e$ , определённый из условия  $t_n = t_{nn}$  и  $E_\tau$  при температуре  $\tau_{vz}$ .

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  $E_\tau$  определяют по прилож. 3 в зависимости от температур  $t_e$  и  $\tau$  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  $0,0053 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ ,

$\mu_i$  – 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:

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

где  $R_{он-x}$  – 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 паропрооницанию 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 паропрооницанию 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 паропрооницанию. 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  $\delta_k$  (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/м<sup>2</sup>ч):

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

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

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

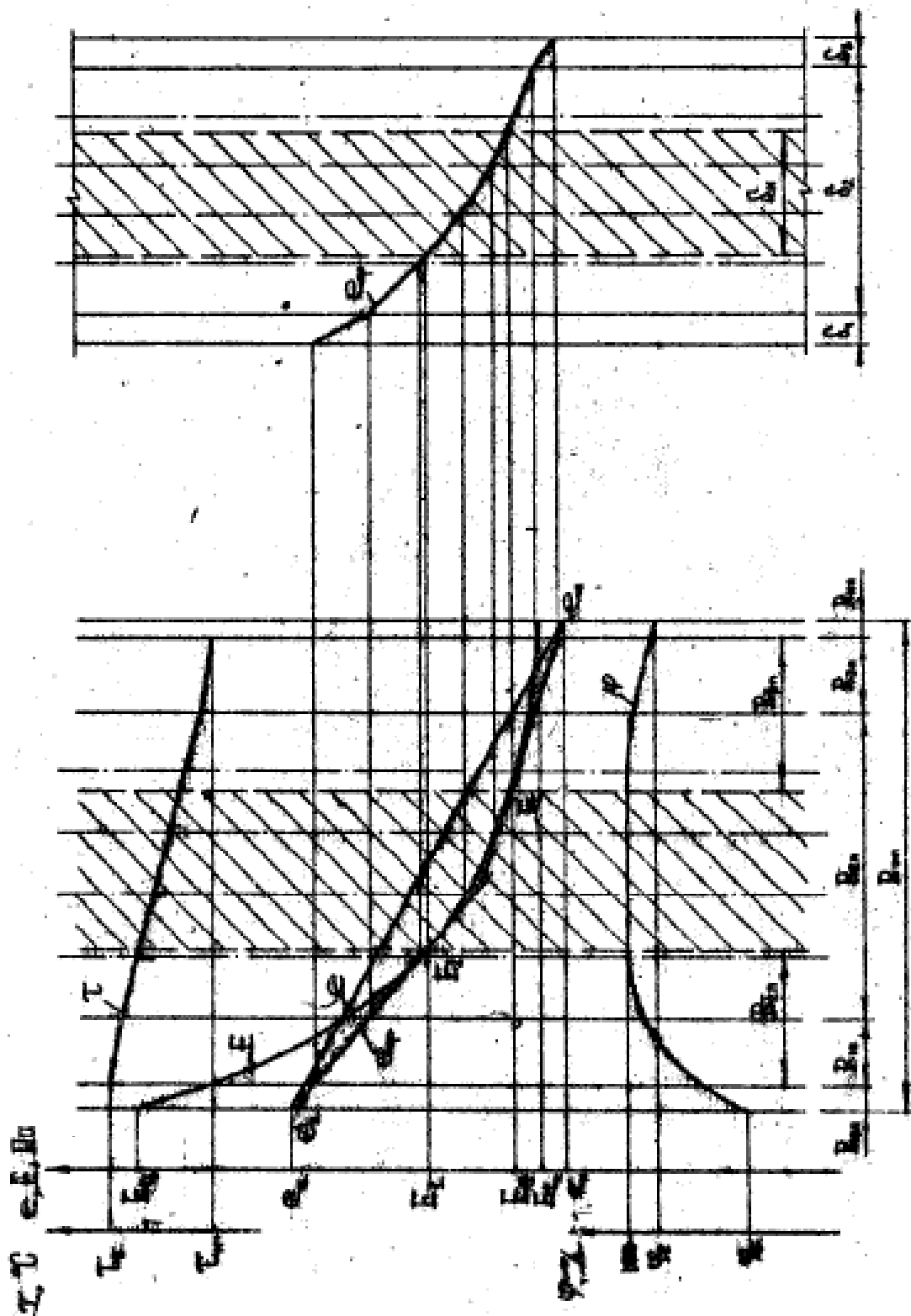


Рис. 4. Построение зоны возможной конденсации водяного пара в многослойном ограждении.



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/м<sup>2</sup> 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  $\varphi$ . Для построения линии относительной упругости необходимо определить значение  $\varphi_x$  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  $\tau$ ,  $e$ ,  $E$ ,  $\varphi$ , 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 на  $m$  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]

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

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

$$Q_{\max} = 2M Q_{\text{ср}},$$

$M$  - 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 теплопотери 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:

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

$\alpha_6^{cp}$  - осредненное по всем поверхностям в помещении значение коэффициента теплообмена,  $\alpha_6^{cp} = 4.1$  Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\Omega$  - коэффициент прерывистости, опр.по прил 4.

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

$$P_{вен} = \frac{1}{3,6} L c_p,$$

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

$L$ - воздухообмен в помещении, м<sup>3</sup>/ч, для жилой комнаты определяется из расчёта 3 м<sup>3</sup>/ч на 1м<sup>2</sup>; для кухни, оборудованной двухкомфорочными плитами- не менее 75 м<sup>3</sup>/ч, четырёхкомфорочными плитами- не менее 90 м<sup>3</sup>/ч, для других помещений принимается по нормативной литературе;

$c_p$ -объёмная теплоёмкость воздуха, равна 1,3 кДж/м<sup>3</sup>К.

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

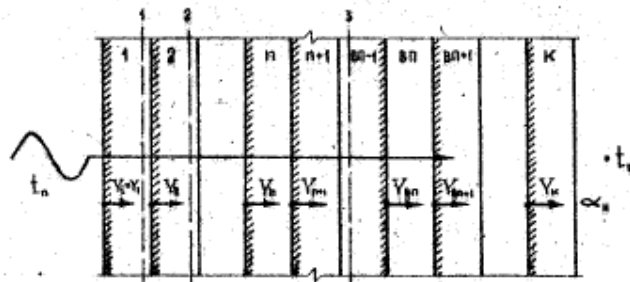


Рис. 5. Расположение и нумерция слоев при определении показателя теплоусвоения внутренней поверхности наружного ограждения.

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

Особенность данного расчёта состоит в том, что значения коэффициента теплоусвоения материала слоёв  $s$ , Вт/м<sup>2</sup>К, 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/м<sup>2</sup>К.

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  $\alpha_n$  -коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/м<sup>2</sup>К.

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;

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

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

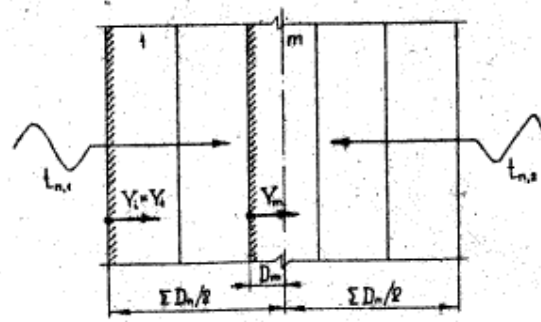


Рис.6. Расположение и нумерация слоев при определении показателя теплоусвоения внутренней поверхности внутреннего ограждения

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).

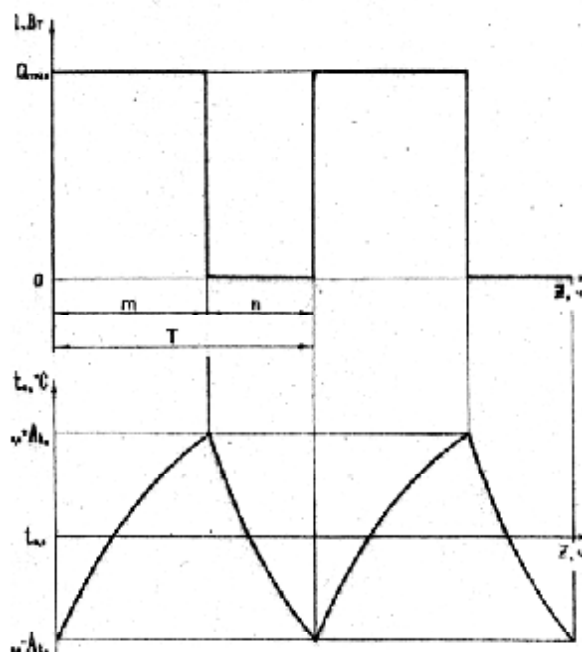


Рис.7.График изменения теплового потока и температуры помещена при периодическом отоплении.

## 8. Заключение

В заключении необходимо подвести итоги выполненным в курсовой работе расчетам, сделать выводы по принятым решениям, направленным на обеспечение в помещении требуемых санитарно-гигиенические 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 а 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 бумага других стандартных форматов.

При написаний пояснительной записки следует выполнять также следующие правила:

1) нумерация страниц текста, списка литературы а 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/(м<sup>2</sup> К), м<sup>2</sup>/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.

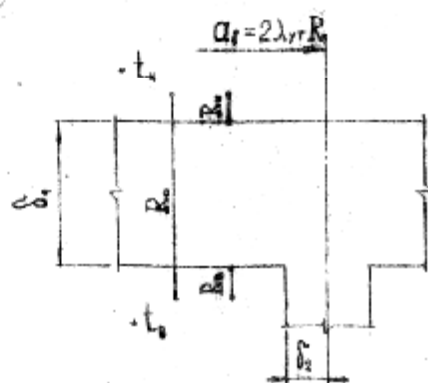
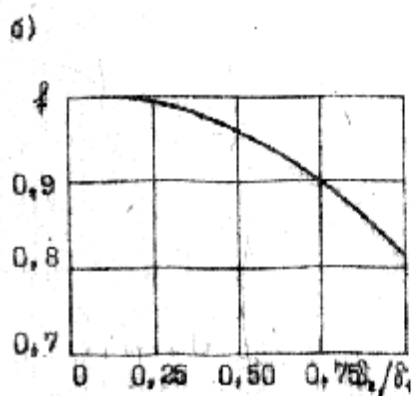
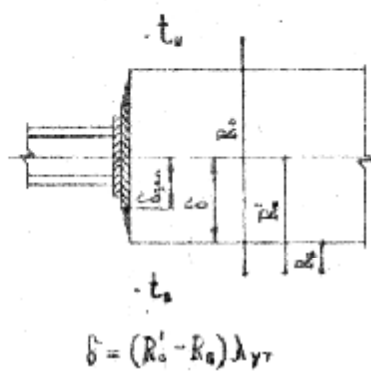
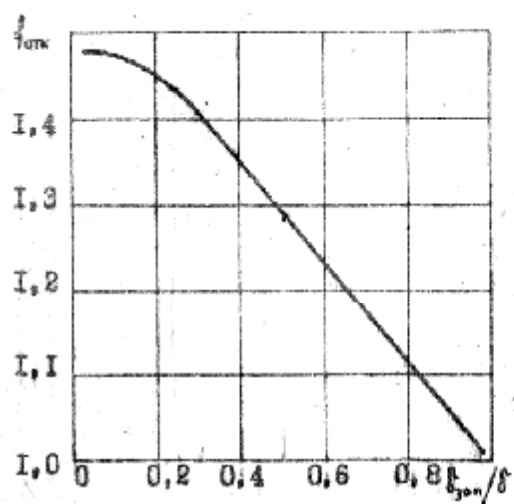
### **Дополнительный.**

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.



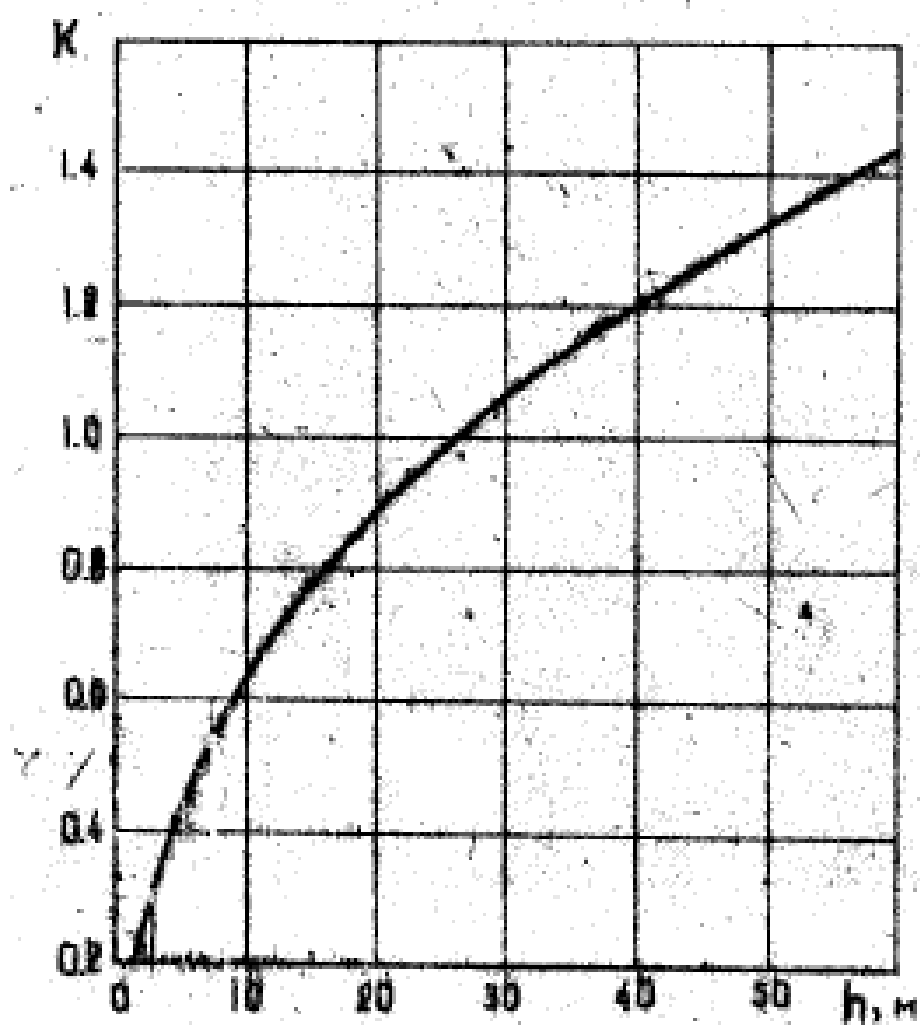
## Приложения

# 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  $\Omega$

$m/T$	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
$\Omega$	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