**Практическое занятие 2.**

**Анализ влияния геометрических неоднородностей на обеспечение тепловой защиты наружных ограждающих конструкций**

## 2.1. Основные требования к ограждающим конструкциям

Уровень теплозащиты ограждающих конструкций должен соответствовать климатическим воздействиям места строительства и обеспечивать санитарно-гигиенические условия в помещениях зданий. Ограждающие конструкции должны сохранять теплозащитные качества в процессе эксплуатации, то есть быть долговечными. Это может быть достигнуто рациональным проектированием и конструированием ограждения с учетом процессов теплопередачи (исключение конденсации влаги на внутренних поверхностях ограждений), паропроницаемости (исключение накопления конденсированной влаги в ограждении).

Согласно СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в).

## 2.2. Этапы проектирования теплозащиты

Для Российской Федерации, основная территория которой находится в умеренном и холодном климате, проектирование теплозащиты зданий для холодного периода года является основным. Проектирование состоит из следующих этапов:

1. Определение расчетных климатических параметров географического места строительства (наружные климатические условия).
2. Выбор параметров микроклимата помещений в зависимости от назначения помещений (параметры внутренней среды помещений).
3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б) для выбора коэффициентов теплопроводности материалов *λА* и *λБ* и других расчетных параметров.
4. Определение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций .
5. Разработка конструктивного решения наружных стен и обеспечение основных параметров теплозащиты (необходимого сопротивления теплопередаче; защиты от переувлажнения конструкции; санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты).

## 2.3. Наружные климатические условия

Расчетными климатическими параметрами холодного периода года являются:

а) расчетная температура наружного воздуха tн, °С;

Величина tн теплотехническом расчете должна определяться в зависимости от тепловой инерции проектируемого ограждения D. Чем меньше тепловая инерция ограждения (т.е. его теплоаккумулирующая способность), тем меньшую температуру необходимо принимать в качестве расчетного значения.

Так как на начальном этапе проектирования тепловая инерция ограждения неизвестна, то согласно СП «Тепловая защита зданий» tн принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.

В дальнейшем, когда будет определена тепловая инерция проектируемого ограждения, величина tн должна быть скорректирована:

при D ≥ 7 – tн принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

при 4 ≥ D < 7 – tн принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98;

при 1,5 ≥ D < 4 – tн принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92;

при D < 1,5 – tн принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98.

б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период *tот,* °С; в) продолжительность отопительного периода *zот*, сут.;

tот и zот принимаются по СП 131.13330 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С при проектировании жилых и общественных зданий, и не более 10 °С при проектировании лечебно- профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых;

г) зона влажности места строительства (влажная, нормальная, сухая), определяемая по «Карте зон влажности» СП 50.13330 (Приложение Б);

д) средняя годовая температура наружного воздуха, , °С;

е) среднее годовое парциальное давление водяного пара наружного воздуха, *eн*, Па.

## 2.4. Параметры внутренней среды помещений

Расчетные параметры внутренней среды помещений устанавливаются в зависимости от типа здания и назначения помещений. В одном здании могут оказаться помещения различного назначения, для которых устанавливаются различные по величине расчетные параметры.

Перечень параметров внутренней среды помещений и их расчетные значения устанавливаются нормативными документами.

Для жилых и общественных зданий это:

а) температура внутреннего воздуха tв, °С;

Согласно СП 50.13330 tв принимается по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий и помещений по ГОСТ 30494;

б) относительная влажность внутреннего воздуха φв, %.

Для определения точки росы φв принимается по СП 50.13330:

для помещений жилых зданий, больничных учреждений, школ, детских садов и детских домов – 55%;

для кухонь – 60%;

для ванных комнат – 65%;

для других помещений общественных зданий (за исключением вышеуказанных) – 50%.

Температура внутреннего воздуха *tв* и его относительная влажность

*φв* определяют влажностный режим помещений (таблица 1).

Таблица 2.1.

Влажностный режим помещений зданий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Режим | Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С | | |
| до 12 | свыше 12 до 24 | свыше 24 |
| Сухой | До 60 | До 50 | До 40 |
| Нормальный | Свыше 60 до 75 | Свыше 50 до 60 | Свыше 40 до 50 |
| Влажный | Свыше 75 | Свыше 60 до 75 | Свыше 50 до 60 |
| Мокрый | - | Свыше 75 | Свыше 60 |

## 

## 2.5. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции находятся между двумя влажностными зонами: влажностным режимом помещения и зоной влажности места строительства. В зависимости от сочетания этих влажностных зон изменяется уровень влажности ограждения (условия эксплуатации) и изменяется величина коэффициентов теплопроводности материалов ограждения.

В инженерных расчетах принято разделять теплотехнические свойства материалов в ограждениях на две группы в зависимости от их эксплуатационной влажности: группа А (меньшая эксплуатационная влажность) и группа Б (большая эксплуатационная влажность).

В соответствии с этим введены различные коэффициенты теплопроводности материалов *λА* и *λБ*.

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются в зависимости от влажностного режима помещения и зоны влажности места строительства (таблица 2).

Таблица 2.2.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Влажностный режим помещений зданий | Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности | | |
| сухой | нормальной | влажной |
| Сухой | А | А | Б |
| Нормальный | А | Б | Б |
| Влажный или  мокрый | Б | Б | Б |

## 2.6. Требуемое сопротивление теплопередаче

Величина требуемого сопротивления теплопередаче определяется климатическими условиями места строительства, но зависит также от назначения здания (жилое, общественное, производственное) и вида ограждающей конструкции (стены, покрытия, перекрытия, окна и т.д.). Климатические условия места строительства определяются градусо- сутками отопительного периода ГСОП по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 1 |

По значению ГСОП из нормативной таблицы 3 СП 50.13330 выбирается величина в зависимости от назначения здания и вида ограждения.

0

Например, для жилого здания в районе строительства с ГСОП = 6000 требуемое сопротивление теплопередаче будет равно: для наружной стены – 3,5(м2·°С)/Вт,для покрытий - 5,2 (м2·°С)/Вт, а для окна – только 0,6(м2·°С)/Вт.

0

## 2.7. Разработка конструктивного решения наружных стен и определение основных параметров теплозащиты

Современные ограждающие конструкции состоят из трех основных функциональных слоев: конструкционного, теплоизоляционного и облицовочного. В зависимости от используемых материалов, слои могут выполнять несколько функций. В некоторых конструктивных решениях используют специальные ветро-, влаго-, паронепроницаемые слои (пленки или обмазки).

Конструкционные слои выполняются из плотных и прочных материалов, которые имеют высокую теплопроводность и низкую паропроницаемость. Это кирпич, камень, бетон различных видов, железобетон и т.п.

Теплоизоляционные слои выполняются из материалов, имеющих низкую плотность и прочность, высокую пористость, низкую теплопроводность и высокую паропроницаемость. Это плиты и маты из минеральных волокон, пенопласты, теплоизоляционные бетоны и т.п.

Облицовочные слои выполняются из декоративных материалов и изделий, имеющих различные свойства, основными из которых являются высокая стойкость к атмосферным воздействиям и долговечность. Облицовочные слои выполняются из штукатурки, лицевого кирпича, природного камня, керамических плитных изделий и т.п.

## 2.8. Выбор конструктивной схемы наружной стены

Все многообразие применяемых в массовом строительстве конструктивных решений многослойных стен сводится к трем основным типам (рисунок 1):

а) двухслойные конструкции с тонким облицовочным штукатурным слоем (системы по типу «мокрый фасад»);

б) трехслойные конструкции с облицовочным слоем из керамического кирпича;

в) системы навесного фасада («вентфасад»).

|  |
| --- |
|  |
| *Рис. 2.1. Основные конструктивные типы наружных стен*  *1 – конструкционный слой; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – наружная штукатурка; 4 – лицевой камень или кирпич; 5 – ветро-, влагозащитная мембрана; 6 – воздушная прослойка; 7 – листовой или плитный облицовочный материал.* |

## 2.9. Подбор стеновых материалов и изделий

При выборе стеновых материалов следует отдавать предпочтение местным высокоэффективным материалам. Для выбора используют техническую и справочную документацию, в которой приведены геометрические размеры и физико-технические свойства стеновых материалов и изделий.

Для оценки теплозащитных качеств ограждающих конструкций используются следующие физико-технические показатели:

* плотность ρ0, кг/м3,
* коэффициент теплопроводности материала λА или λБ, Вт/ (м·°С),
* коэффициент теплопроводности конструкции стены из этого материала λ, Вт/(м·°С) (теплопроводность стены из штучных материалов зависит от свойств кладочного раствора, («холодный» или «теплый» раствор, клей и т.д.), – коэффициент паропроницаемости материала μ мг/(м·ч·Па), размеры изделий, которые формируют толщину функционального слоя δi, м.

## 2.10. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены

Под гладью стены понимается такая часть стены, в которой материальные слои расположены параллельно друг другу и отсутствуют теплопроводные включения.

Базовым требованием теплозащиты ограждающих конструкций является условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2 |

где – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции (м2·°С)/Вт,

**–** сопротивление теплопередаче проектируемой конструкции (м2·°С)/Вт.

Расчет сопротивления теплопередаче конструкции ограждения выполняют по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3 |

где δn – толщина n-го слоя, м;

λn – теплопроводность n-го слоя, Вт/(м·°С);

αв– коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности Вт/(м2·°С), определяемый по таблице 4 СП 50.13330, для стен αв = 8,7 Вт/(м2·°С);

αн – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности Вт/(м2·°С), определяемый по таблице 6 СП 50.13330, для стен αн = 23 Вт/(м2·°С).

Соответственно, обеспечение неравенства (2) выполняется изменением толщины материальных слоев в ограждении (δi) или использованием материалов с различными коэффициентами теплопроводности (λi).

Толщины конструкционных и облицовочных слоев в ограждении назначаются, как правило, конструктивно. Толщины слоев должны быть привязаны к модульной системе (укрупненной или дробной), к толщинам используемых изделий с учетом монтажных швов.

Например, толщина кирпичной кладки будет кратна ширине кирпича (120 мм) с учетом толщины растворных швов (10 мм): толщина в 1 кирпич – 250 мм (120+10+120), толщина в 1,5 кирпича – 380 мм (250+10+120), толщина в 2 кирпича –

510 мм (250+10+250).

Толщина теплоизоляционного слоя может быть принята конструктивно с последующим определением *Rто* или может определиться путем расчета по формуле (3), в которой *Rто* заменено на .

**2.11. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций**

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропроницанию внутренних слоев не менее требуемого значения исходя из двух условий:

1. Из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации. То есть конденсированная влага, накопившаяся в ограждении за зимний период, должна удалиться (испариться) за летний период.
2. Из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции до определенной величины ΔW, которая регламентируется нормами для разных материалов (таблица 10 СП 50.13330).

Расчет требуемого сопротивления паропроницанию исходя из данных условий по действующим нормативным документам достаточно сложен, так как требует сбора большого количества исходных данных.

**2.12. Определение плоскости максимального увлажнения**

Проектируемая ограждающая конструкция разделяется на две зоны по плоскости максимального увлажнения (плоскости возможной конденсации): в двухслойной и трехслойной стене эта плоскость проходит по наружной поверхности утеплителя; в системе навесного фасада – на расстоянии 1/3 толщины теплоизоляционного слоя от наружной поверхности утеплителя.

|  |
| --- |
|  |
| *Рис. 2.2. Определение плоскости максимального увлажнения* |
|  |

### 2.12. Определение дополнительных расчетных данных

а) парциальное давление насыщенного водного пара внутреннего воздуха

|  |  |
| --- | --- |
|  | 4 |

б) парциальное давление водного пара внутреннего воздуха

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5 |

в) сопротивление паропроницанию наружных слоев до плоскости максимального увлажнения

|  |  |
| --- | --- |
|  | 6 |

где δн, м – толщина материального слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения,

μн, мг/(м·ч·Па) – паропроницаемость материала этого слоя;

г) температура в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7 |

где λн, Вт/(м·°С) – теплопроводность материала слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения;

|  |
| --- |
|  |

*Рис.2.3. К расчету защиты от переувлажнения конструкции наружной стены*

д) парциальное давление насыщенного водного пара в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

### 2.13. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев

Определяется требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев от плоскости максимального увлажнения до внутренней поверхности

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9 |

Проверяется условие

|  |  |
| --- | --- |
|  | 10 |

где – сопротивление паропроницанию внутренних слоев ограждающей конструкции.

Если условие не выполняется, необходимо уменьшить сопротивление паропроницанию облицовочного слоя за счет уменьшения его толщины или увеличения коэффициента паропроницаемости или увеличить сопротивление паропроницанию внутренних слоев за счет увеличения их толщины или уменьшения коэффициента паропроницаемости.

## 2.14. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты

Наряду с необходимой теплозащитой ограждающие конструкции определяют ряд санитарно-гигиенических условий в помещениях зданий, которые контролируются нормативными документами:

а) тепловой комфорт, который устанавливается по перепаду Δ*t0* между температурой внутреннего воздуха *tв* и температурой внутренней поверхности стены «по глади» *τв*;

б) недопустимость выпадения конденсата на внутренней поверхности наружного ограждения в местах теплотехнических неоднородностей.

### 2.15. Обеспечение теплового комфорта в помещении

Оценка соответствия теплового комфорта в помещении нормативным требованиям идет путем сравнения расчетного перепада температур Δt0 с нормируемым Δtн:

|  |  |
| --- | --- |
| t0  tн | 11 |

Расчетный перепад Δt0 определяется как:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 12 |

где n – коэффициент, зависящий от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для наружных стен n = 1.0);

tв и tн – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С; Rто – сопротивление теплопередаче ограждения по глади стены (м2·°С)/Вт;

αв – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждения, Вт/(м2·°С).

Чем меньше разность Δt0 = (tв - τв), тем выше тепловой комфорт в помещении.

Нормируемые значения Δtн приведены в таблице 5 СП 50.13330:

Δtн = 4,0 °С – для жилых зданий, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ и интернатов;

Δtн = 4,5 °С – для общественных зданий, кроме указанных выше.

Стоит отметить, что в действующей редакции СП «Тепловая защита зданий» контроль теплового комфорта помещений как одного из санитарно-гигиенических требований тепловой зашиты исключен. Это произошло в связи с тем, что повышенный нормативный уровень теплозащиты современных ограждающих конструкций в подавляющем большинстве случаев удовлетворяет этому условию изначально.

### 2.16. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен

Выпадение конденсата на внутренних поверхностях наружных стен свидетельствует о неблагополучном конструктивном решении ограждений или о неправильном выборе материалов. Чаще всего конденсат на внутренних поверхностях появляется в местах теплотехнических неоднородностей, где выше теплопотери ограждения и, следовательно, ниже температуры внутренних поверхностей.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в в местах теплотехнических неоднородностей *τв'* должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха *tр* при расчетной температуре наружного воздуха – *tн* °C:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 13 |

Величина температуры точки росы *tр* определяется в зависимости от температуры *tв* и относительной влажности *φв* внутреннего воздуха (Приложение В).

Величина температуры *τв'* согласно СП 50.13330 должна определяться по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью.

В данной работе студенту предлагается определить температуру *τв'* для двух характерных узлов согласно индивидуального задания с применением компьютерной программы Elcut (или аналога). Пояснения к расчету температурных полей в узлах ограждающих конструкций при помощи программы Elcut приведены в Приложении Г.

Если в результате расчетов окажется, что *τв'* ниже температуры точки росы *tр*, то в этом сечении будет выпадать конденсат. Такое положение не соответствует нормам СП и требует исправления.

Исключить конденсацию водяных паров на внутренних поверхностях стен в зонах теплопроводных включений можно двумя путями:

1. введением термовкладышей в зонах высокотеплопроводных несущих конструкций;
2. устройством теплозащитных накладок со стороны помещения.

|  |
| --- |
|  |
| *Рисунок 2.4. Температурные поля в месте опирания плит перекрытия на обвязочную балку:*  *а) без устройства утепления; б) при утеплении минеральной ватой* |

В завершении работы приводится сводная таблица результатов проектирования и расчета, а также заключение о соответствии (или несоответствии) параметров теплозащиты разработанного ограждения требованиям СП 50.13330.2012.

Таблица 2.3.

Сводная таблица результатов расчета

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование параметров, размерность | Величина | Условия соответствия  нормам | Заключение о  соответствии |
| 1 | Сопротивление  теплопередаче, (м2·°С) /Вт; |  | *R*  *Rтр*  *то* 0  … | … |
| – по глади стены *Rто*  – требуемое | … |
|  | … |
| 2 | Разность температур  Δ*t0 = (tв - τв)* |  | *t*0  *tн*  … | … |
| – Δ*t0* по расчету | … |
| – Δ*tн* по норме СП | … |
| 3 | Температуры *tр* и *τв' ,* °C |  |  '  *t*  *в р* |  |
| – температура точки росы *tр* | … |  |  |
| – температура внутренней  поверхности в узле 1, *τв'* | … | … | … |
| – температура внутренней  поверхности в узле 2, *τв'* | … | … | … |
| 4 | Сопротивление паропроницанию  внутренних слоев |  | *R*  *Rтр*  *пв пв*  … | … |
| – *Rтв* по расчету | … |
| – требуемое *Rтр*  *пв* | … |