

Тема 1.1.

Основные понятия теплофизики.

1. Предмет строительной физики.
2. Строительная теплотехника и её роль в проектировании зданий.
3. Основные понятия и величины строительной теплотехники.

1. Предмет строительной физики.

Ещё в глубокой древности римский теоретик архитектуры Марк Витрувий отмечал, что архитектурное сооружение должно обладать тремя качествами: *пользой, прочностью и красотой*.



Марк Витрувий

Предмет строительной физики рассматривает архитектуру с точки зрения качества среды, связанного с критерием пользы, обеспечивающей комфортные условия для человека.

Основные проблемы строительной физики связаны в первую очередь:

- 1) со *строительной теплотехникой* (процессы теплопередачи, влажностного режима, воздухопроницания в наружных ограждающих конструкциях зданий);
- 2) со *строительной светотехникой* и инсоляцией¹ (вопросы естественного и совмещённого освещения, инсоляционный режим помещений, солнцезащитные мероприятия, цветовые решения и т.д.);

¹ Инсоляция - — (in-sol, in — внутрь, solis — солнце) — облучение поверхностей солнечным светом (солнечной радиацией) или поток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность

3) со **строительной и архитектурной акустикой** (звукоизоляция, виброзащита, передача звука через несущие и ограждающие конструкции, снижение шума в помещениях и т.п.).

2. Строительная теплотехника и её роль в проектировании зданий

При проектировании зданий ограждающим конструкциям должны быть приданы качества, обеспечивающие возможность поддержания определенного *микроклимата внутри здания и температурно-влажностного режима самих ограждений*. В связи с этим **строительная теплотехника** рассматривает теплотехнические свойства строительных материалов и ограждающих конструкций, а также физические процессы, происходящие в них при эксплуатации здания. Рациональное проектирование ограждающих конструкций (выбор материала, расположение его в ограждении, установление оптимальной толщины) может быть обеспечено при учете климата и тепло-влажностного режима помещений.

3. Основные понятия и величины строительной теплотехники

Теплотехнические показатели ограждающих конструкций устанавливаются *теплотехническим расчетом*. Необходимым условием для правильного теплотехнического расчета и последующего проектирования ограждения является знание теплотехнических свойств строительных материалов и правильное использование их в зависимости от особенностей наружного и внутреннего климата здания.

1. Объемный вес и пористость строительных материалов

Одним из основных показателей строительных материалов является объемный вес

$$\gamma = \frac{P}{V},$$

где γ - объёмный вес материала в кг/м³;

P - вес материала в кг;

V - объём материала в м³.

Объемный вес строительных материалов колеблется в пределах от 25-30 кг/м³ (материалы из пористых пластмасс) до 2800-3000 кг/м³ (гранит, мрамор).

Все строительные материалы за малым исключением в своей массе содержат поры, заполненные воздухом. Вследствие этого объемный вес многих однородных материалов неодинаков.

Пористость материала выражается процентным отношением объема пор в материале к объему всего материала. При известных значениях удельного веса материала и его объемного веса значение степени пористости определяется по формуле

$$\Pi = \frac{g - \gamma}{g} \cdot 100\% ,$$

где Π - пористость материала в %;
 γ - объемный вес материала в кг/м³;
 g - удельный вес материала в кг/м³.

Удельный вес органических материалов $g = 1450 - 1550$ кг/м³,
неорганических $g = 2400 - 3000$ кг/м³.

Для строительных материалов силикатного происхождения пористость изменяется от нуля (плотные породы — гранит) до 75% (высокопористый кирпич).

2. Влажность строительных материалов

Строительные материалы в ограждающих конструкциях здания всегда находятся в увлажненном состоянии. Влажностное состояние материала характеризуется в относительных весовых и объемных величинах (в %).

Весовая влажность материала

$$\omega_B = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\% ,$$

где ω_B - весовая влажность материала в %;
 P_1 - вес влажного материала в г;
 P_2 - вес сухого материала в г.

Объемная влажность материала

$$\omega_O = \frac{V_1}{V_2} \cdot 100\% ,$$

где ω_O - объемная влажность материала в %;

V_1 - объем влаги, содержащейся в материале, в см^3 ;

V_2 - объем сухого материала в см^3 .

Зависимость между объемной и весовой влажностью одного и того же образца материала выражается в следующем виде:

$$\frac{\omega_o}{\omega_B} = \frac{\gamma}{1000}.$$

В большинстве случаев поры внутри строительных материалов не замкнуты и сообщаются друг с другом и окружающей средой.

При соприкосновении материала с влагой последняя под действием капиллярных сил проникает в материал. Таким путем происходит увлажнение материала атмосферными осадками и влагой, конденсирующейся на его поверхности; кроме этого увлажнение может происходить при внутренней конденсации водяных паров воздуха, проникающих в поры материала.

Влажностное состояние материала ограждения при его влажностном равновесии с окружающей воздушной средой зависит от влажности воздуха, эксплуатационных условий, вида материала и конструктивного решения ограждения. При нормальных условиях эксплуатации здания для каждого вида материала характерно определенное содержание влаги. Это влажностное состояние материала называется нормальным, а влажность материала — нормальной влажностью материала.

3. Теплопроводность строительных материалов

Основным теплотехническим показателем строительных материалов является теплопроводность, т. е. способность материала проводить тепло через свою массу.

Теплопроводность материала характеризуется величиной коэффициента теплопроводности λ , выражающей собой количество тепла в килограмм-калориях, которое будет проходить в 1 ч через 1 м^2 плоской стены толщиной в 1 м из данного материала при разности температуры на внутренней и внешней поверхностях в 1° . Коэффициент теплопроводности имеет размерность в $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$. Строительные материалы имеют численные значения λ от 0,035 (мипора) до 2,8 $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$ (гранит, мрамор).

На коэффициент теплопроводности оказывает влияние объемный вес (пористость), влажность, температура и химико-минералогический состав материала.

а) *Зависимость λ от пористости* материала. Основные строительные материалы имеют пористую структуру, состоящую из твердого вещества, образующего истов (скелет) материала, и воздуха,

заполняющего пространство (поры) между твердым веществом. Составные части материала обладают различным коэффициентом теплопроводности. Коэффициент теплопроводности вещества материала примерно в 100 раз превышает коэффициент теплопроводности воздуха, заключенного в порах материала.

Коэффициент теплопроводности пористого материала представляет собой некоторую промежуточную величину между коэффициентами теплопроводности основного материала и воздуха, заключенного в его порах. Изменение соотношения между общим объемом пор и объемом твердого вещества вызывает соответствующие изменения величины коэффициента теплопроводности материала. Так, например, пенобетон в зависимости от объемного веса имеет следующие значения коэффициента теплопроводности:

при $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$	$\lambda = 0,34 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$
при $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$	$\lambda = 0,18 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$
при $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$	$\lambda = 0,13 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$

б) *Зависимость λ от химико-минералогического состава материала.* Строительные материалы в своей основной массе могут содержать в различных соотношениях кристаллические и аморфные вещества, обладающие различным коэффициентом теплопроводности при одном и том же химическом составе.

Коэффициент теплопроводности кристаллических веществ превосходит в несколько раз коэффициент теплопроводности аморфных веществ подобного химического состава. Большое количество кристаллических веществ может содержаться также в бетонах на кварцевом песке, гравии или на щебенке из плотных изверженных пород. Вследствие этого материалы одинакового химического состава с одним и тем же объемным весом могут обладать различным коэффициентом теплопроводности. Например, материалы с объемным весом $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, но с различным содержанием кристаллических веществ имеют следующие значения коэффициента теплопроводности:

- раствор цементно-песчаный $\lambda = 0,8 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$
- кирпич красный машинный $\lambda = 0,66 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$
- раствор портландцементный без песка $\lambda = 0,4 \text{ ккал/(м}^*\text{ч}^*\text{град)}$

в) *Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры материала.* Коэффициент теплопроводности строительных материалов зависит от средней температуры материала, при которой происходит теплопередача. С повышением температуры повышается и коэффициент теплопроводности материала.

В интервале положительных температур от 0 до 100° зависимость между коэффициентом теплопроводности и температурой материала выражается эмпирической формулой

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \rho t),$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности материала при $t = 0^\circ\text{C}$;
 λ_t - коэффициент теплопроводности материала при температуре t ;
 t - температура материала;
 ρ - коэффициент пропорциональности, равный 0,0025.

г) *Зависимость λ от влажности* материала. При увлажнении материала влага вытесняет воздух из пор материала и заполняет их частично или полностью, т. е. поры материала заполняются веществом, теплопроводность которого примерно в 20 раз превышает теплопроводность воздуха.

При замерзании влаги и превращении ее в лед коэффициент теплопроводности последнего превышает в 4 раза коэффициент теплопроводности жидкой влаги и в 80 раз коэффициент теплопроводности воздуха, заполняющего полностью поры этого материала. В зависимости от степени заполнения пор влагой и от агрегатного ее состояния коэффициент теплопроводности материала как средняя величина между коэффициентами теплопроводности твердого вещества, воздуха и влаги, заполняющих поры материала, имеет различные значения. С повышением влажности материала возрастает λ . Еще большее повышение λ имеет место при замерзании влаги в порах материала, что приводит к дальнейшему понижению его теплозащитных свойств.

При переходе жидкой влаги в иней коэффициент теплопроводности материала, наоборот, понижается.

В зависимости от степени заполнения пор влагой коэффициент теплопроводности материала имеет различные значения. С повышением влажности материала возрастает λ и тем самым понижаются его теплозащитные свойства.

4. Теплоемкость строительных материалов

Для повышения температуры материала на Δt° требуется затратить определенное количество Q тепловой энергии. При понижении температуры этого же материала на Δt° такое же количество Q тепла выделяется из него.

Свойство материала поглощать (аккумулировать) тепло при нагревании и выделять его при охлаждении называется **теплоемкостью** материала.

Показателем теплоемкости материала является удельная теплоемкость, численно равная количеству тепла в ккал, которое необходимо сообщить 1 кг материала для повышения температуры всей его массы на 1°С.

Удельная теплоемкость, обычно называемая теплоемкостью материала, имеет размерность в ккал/(кг*град).

Потребное количество тепла для повышения температуры на Δt° определяется по формуле

$$Q = c\gamma V \Delta t ,$$

где Q - количество тепла в ккал;

c - удельная теплоемкость материала в ккал/(кг*град);

γ - объемный вес материала в кг/м³;

V — объем материала в м³;

Δt - изменение температуры материала в град.

Теплоемкость строительных материалов изменяется в пределах от $c = 0,18$ (бетон) до $c = 0,6$ (древесина) и зависит от влажности материала. С повышением влажности материала повышается его теплоемкость (теплоемкость воды $c=1$ ккал/кг град).