

**Змістовий модуль 1. Основи архітектурної кліматології.
Лекція № 1. Тема №1.1. Основні поняття теплофізики.**

План лекції.

1. Предмет будівельної фізики.
2. Будівельна теплотехніка і її роль у проектуванні будинків.
3. Основні поняття й величини будівельної теплотехніки.

1. Предмет будівельної фізики.

Ще в далекій давнині римський теоретик архітектури Марко Вітрувій відзначав, що архітектурна споруда повинна мати три якості: **користь**, **міцність** й **красу**.



Марко Вітрувій

Предмет будівельної фізики розглядає архітектуру з погляду якості середовища, пов'язаного із критерієм користі, що забезпечує комфортні умови для людини.

Основні проблеми будівельної фізики пов'язані в першу чергу:

- 1) з **будівельною теплотехнікою** (процеси теплопередачі, вологісного режиму, повітрепроникнення в зовнішніх огорожувальних конструкціях будинків);
- 2) з **будівельною світлотехнікою** й інсоляцією¹ (питання природнього й сполученого освітлення, інсоляційний режим приміщень, сонцезахисні заходи, колірні рішення і т.д.);
- 3) з **будівельною й архітектурною акустикою** (звукоізоляція, віброзахист, передача звуку через несучі огорожувальні конструкції, зниження шуму в приміщеннях і т.п.).

¹ Інсоляція - (in-sol, in - внутр, solis - сонце) – опромінення поверхонь сонячним світлом (сонячною радіацією) або потік прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню

2. Будівельна теплотехніка і її роль у проектуванні будинків.

При проектуванні будівель огорожувальним конструкціям повинні бути додані якості, що забезпечують можливість підтримки певного мікроклімату усередині будинку й температурно-вологісного режиму самих огорожень. У зв'язку із цим **будівельна теплотехніка** розглядає теплотехнічні властивості будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій, а також фізичні процеси, що відбуваються в них при експлуатації будинку. Раціональне проектування огорожувальних конструкцій (вибір матеріалу, розташування його в огороженні, установлення оптимальної товщини) може бути забезпечене при урахуванні клімату й тепло-вологісного режиму приміщень.

3. Основні поняття й величини будівельної теплотехніки.

Теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій *установлюються теплотехнічними* розрахунками. Необхідною умовою для правильного теплотехнічного розрахунку і наступного проектування огороження є знання теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів і правильне використання їх залежно від особливостей зовнішнього й внутрішнього клімату будівлі.

1. Об'ємна вага й пористість будівельних матеріалів

Одним з основних показників будівельних матеріалів є об'ємна вага

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

де γ - об'ємна вага матеріалу в кг/м³;

P - вага матеріалу в кг;

V - об'єм матеріалу в м³.

Об'ємна вага будівельних матеріалів коливається в межах від 25-30 кг/м³ (матеріали з пористих пластмас) до 2800-3000 кг/м³ (граніт, мармур).

Усі будівельні матеріали за малим виключенням у своїй масі містять пори, заповнені повітрям. Внаслідок цього об'ємна вага багатьох однорідних матеріалів неоднакова.

Пористість матеріалу виражається процентним відношенням обсягу пор у матеріалі до обсягу всього матеріалу. При відомих значеннях питомої ваги матеріалу і його об'ємної ваги значення ступені пористості визначається по формулі

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

де Π - пористість матеріалу в %;
 γ - об'ємна вага матеріалу в кг/м³;
 g - питома вага матеріалу в кг/м³.

Питома вага органічних матеріалів $g = 1450 - 1550$ кг/м³, неорганічних $g = 2400 - 3000$ кг/м³.

Для будівельних матеріалів силікатного походження пористість змінюється від нуля (щільні породи - граніт) до 75% (високопориста цегла).

2. Вологість будівельних матеріалів

Будівельні матеріали в огорожувальних конструкціях будинку завжди перебувають у зволоженому стані. Вологісний стан матеріалу характеризується у відносних вагових і об'ємних величинах (в %).

Вагова вологість матеріалу

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

де ω_B - вагова вологість матеріалу в %;
 P_1 - вага вологого матеріалу в г;
 P_2 - вага сухого матеріалу в г.

Об'ємна вологість матеріалу

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

де ω_O - об'ємна вологість матеріалу в %;
 V_1 - об'єм води, що міститься в матеріалі, у см³;
 V_2 - об'єм сухого матеріалу в см³.

Залежність між об'ємною й ваговою вологістю того самого зразка матеріалу виражається в наступному вигляді:

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

У більшості випадків пори усередині будівельних матеріалів не замкнені й сполучуються одна з одною і навколишнім середовищем.

При зіткненні матеріалу з вологою остання під дією капілярних сил проникає в матеріал. Таким шляхом відбувається зволоження матеріалу атмосферними опадами й вологою, що конденсується на його поверхні; крім цього зволоження може відбуватися при внутрішній конденсації водяних пар повітря, що проникають у пори матеріалу.

Вологісний стан матеріалу огороження при його вологісній рівновазі з навколишнім повітряним середовищем залежить від вологості повітря, експлуатаційних умов, виду матеріалу й конструктивного рішення огороження. При нормальних умовах експлуатації будинку для кожного виду матеріалу характерний певний зміст вологи. Цей вологісний стан матеріалу називається *нормальним*, а вологість матеріалу - *нормальною* вологістю матеріалу.

3. Теплопровідність будівельних матеріалів

Основним теплотехнічним показником будівельних матеріалів є теплопровідність, тобто здатність матеріалу проводити тепло через свою масу.

Теплопровідність матеріалу характеризується величиною коефіцієнта теплопровідності λ , що виражає собою кількість тепла в кілокалоріях, яке буде проходити в 1 год через 1 м² плоскої стіни товщиною в 1 м з даного матеріалу при різниці температури на внутрішній і зовнішньої поверхнях в 1°. Коефіцієнт теплопровідності має розмірність у ккал/(м*год*град). Будівельні матеріали мають чисельні значення λ від 0,035 (міпора) до 2,8 ккал/(м*год*град) (граніт, мармур).

На коефіцієнт теплопровідності впливає об'ємна вага (пористість), вологість, температура й хіміко-мінералогічний склад матеріалу.

а) *Залежність λ від пористості* матеріалу. Основні будівельні матеріали мають пористу структуру, що полягає із твердої речовини, що утворює остов (кістяк) матеріалу, і повітря, що заповнює простір (пори) між твердою речовиною. Складові частини матеріалу мають різний коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності речовини матеріалу приблизно в 100 разів перевищує коефіцієнт теплопровідності повітря в порах матеріалу.

Коефіцієнт теплопровідності пористого матеріалу являє собою деяку проміжну величину між коефіцієнтами теплопровідності основного матеріалу й повітря в його порах. Зміна співвідношення між загальним обсягом пор і обсягом твердої речовини викликає відповідні зміни величини коефіцієнта теплопровідності матеріалу. Так, наприклад, пінобетон залежно від об'ємної ваги має наступні значення коефіцієнта теплопровідності:

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

б) *Залежність λ від хіміко-мінералогічного складу* матеріалу. Будівельні матеріали у своїй основній масі можуть містити в різних співвідношеннях кристалічні й аморфні речовини, що мають різний коефіцієнт теплопровідності при тому самому хімічному складі.

Коефіцієнт теплопровідності кристалічних речовин перевершує в кілька раз коефіцієнт теплопровідності аморфних речовин подібного хімічного складу. Велика кількість кристалічних речовин може втримуватися також у бетонах на кварцовому піску, гравії або на щебінці із щільних вивержених порід. Внаслідок цього матеріали однакового хімічного складу з тією самою об'ємною вагою можуть мати різний коефіцієнт теплопровідності. Наприклад, матеріали з об'ємною вагою $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, але з різним змістом кристалічних речовин мають наступні значення коефіцієнта теплопровідності:

- | | | |
|--------------------------------------|------------------|-------------------|
| • розчин цементно-піщаний | $\lambda = 0,8$ | ккал/(м*год*град) |
| • цегла червона машинний | $\lambda = 0,66$ | ккал/(м*год*град) |
| • розчин портландцементный без піску | $\lambda = 0,4$ | ккал/(м*год*град) |

в) *Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури* матеріалу. Коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів залежить від середньої температури матеріалу, при якій відбувається теплопередача. З підвищенням температури підвищується й коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

В інтервалі позитивних температур від 0 до 100° залежність між коефіцієнтом теплопровідності й температурою матеріалу виражається емпіричною формулою

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

- де λ_0 - коефіцієнт теплопровідності матеріалу при $t = 0^\circ\text{C}$;
 λ_t - коефіцієнт теплопровідності матеріалу при температурі t ;
 t - температура матеріалу;
 ρ - коефіцієнт пропорційності, рівний 0,0025.

г) *Залежність λ від вологості* матеріалу. При зволоженні матеріалу волога витісняє повітря з пор матеріалу й заповнює їх частково або повністю, тобто пори матеріалу заповнюються речовиною, теплопровідність якого приблизно в 20 раз перевищує теплопровідність повітря.

При замерзанні води й перетворенні її в лід коефіцієнт теплопровідності останнього перевищує в 4 рази коефіцієнт теплопровідності рідкої води й в 80 раз коефіцієнт теплопровідності повітря, що заповнює повністю пори цього матеріалу. Залежно від ступеня заповнення пор водою й від агрегатного її стану коефіцієнт теплопровідності матеріалу як середня величина між коефіцієнтами теплопровідності твердої речовини, повітря й води пор, має різні значення. З підвищенням вологості матеріалу зростає λ . Ще більше підвищення λ має місце при замерзанні води в порах матеріалу, що приводить до подальшого зниження його теплозахисних властивостей.

При переході рідкої вологи в іній коефіцієнт теплопровідності матеріалу, навпаки, знижується.

Залежно від ступеня заповнення пор вологою коефіцієнт теплопровідності матеріалу має різні значення. З підвищенням вологості матеріалу зростає λ й тим самим знижуються його теплозахисні властивості.

4. Теплоємність будівельних матеріалів

Для підвищення температури матеріалу на Δt° потрібно затратити певну кількість Q теплової енергії. При зниженні температури цього ж матеріалу на Δt° таке ж кількість Q тепла виділяється з нього.

Властивість матеріалу поглинати (акумуляувати) тепло при нагріванні й виділяти його при охолодженні називається **теплоємністю** матеріалу.

Показником теплоємності матеріалу є **питома теплоємність**, чисельно рівна кількості тепла в ккал, яке необхідно надати 1 кг матеріалу для підвищення температури всієї його маси на 1°C .

Питома теплоємність, звичайно називана теплоємністю матеріалу, має розмірність у ккал/(кг*град).

Потрібна кількість тепла для підвищення температури на Δt° визначається по формулі

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

де Q - кількість тепла в ккал;

c - питома теплоємність матеріалу в ккал/(кг*град);

γ - об'ємна вага матеріалу в кг/м³;

V — обсяг матеріалу в м³;

Δt - зміна температури матеріалу в гради.

Теплоємність будівельних матеріалів змінюється в межах від $c = 0,18$ (бетон) до $c = 0,6$ (деревина) і залежить від вологості матеріалу. З підвищенням вологості матеріалу підвищується його теплоємність (теплоємність води $c = 1$ ккал/кг*град).

Питання для самоконтролю

1. Що вивчає будівельна фізика і з чим пов'язані проблеми, які вона вивчає?
2. Що вивчає будівельна теплотехніка і чим забезпечується раціональне проектування огорожувальних конструкцій?
3. Для чого потрібне знання теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів і правильне використання їх залежно від особливостей зовнішнього й внутрішнього клімату будівлі?
4. Що таке об'ємна вага й пористість будівельних матеріалів? Як вони пов'язані з питомою вагою?
5. Що таке вагова і об'ємна вологість будівельних матеріалів? Як вони пов'язані з об'ємною вагою?
6. Який вологісний стан матеріалу називається нормальним?

7. Що є основним теплотехнічним показником будівельних матеріалів?
8. Що впливає на коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів?
9. Що таке теплоємність? Як поррахувати потрібну кількість тепла для підвищення температури на Δt° ?

Список літератури

1. Гусев Н.М., Климов П.П. Строительная физика. М.: Стройиздат, 1965. – 229 с.
– розділ III, глава 1 (с. 173 – 177).
2. Вавилин В.Ф. Строительная физика. Учеб. пособие / В.Ф.Вавилин, С.А.Коротаев, Н.М.Кузнецов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. – гл. 1, § 1.1 (с. 5 – 6).
3. Архитектурная физика. Учеб. для вузов/ В.К.Лицкевич, Л.И.Макриненко, И.В.Мигалина и др.; Под. ред. Н.В.Оболенского. М.: Архитектура-С, 2007. Вступ, глава 1 (с. 7 – 45).
4. Стецкий С.В. Строительная физика: Краткий курс лекций / - М: Изд-во МГСУ, 2014. - Эл. из-ие. §1 (с. 6 - 11), §6 (с. 42 – 47).