

---





# СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

## ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ПОМЕЩЕНИЯ

Тема 2

---

# Содержание

- **§ 1. Теплозащитные свойства ограждений и их влияние на тепловой режим помещения** 
- **§ 2. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций** 
- **§ 3. Влажность воздуха в помещении и влияние на воздушно-тепловой режим помещения** 
- **§ 4. Повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций** 

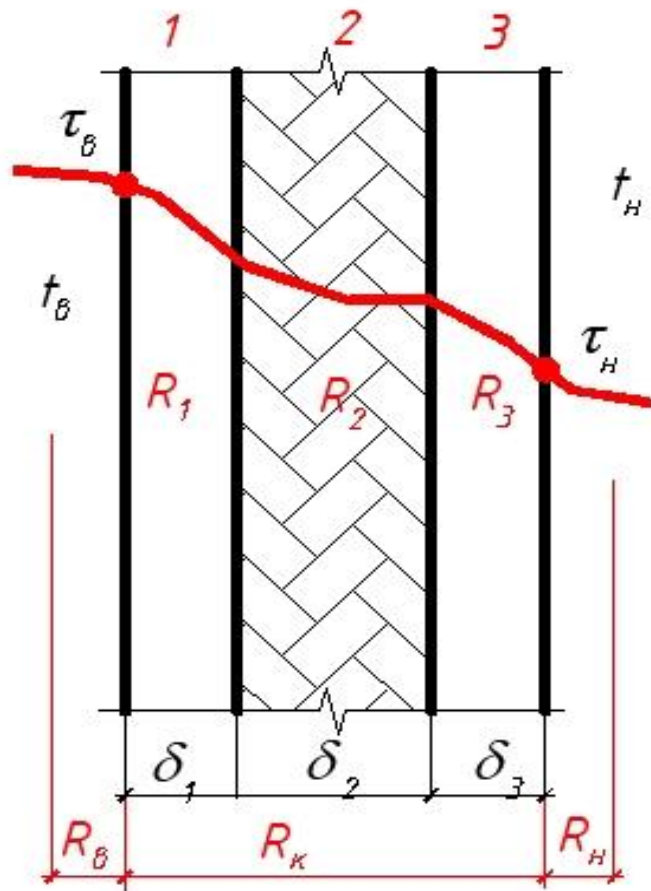
# § 1. Теплозащитные свойства ограждений и их влияние на тепловой режим помещения

В процессе разработки конструктивного решения наружных ограждений изучаются их теплотехнические показатели. Это:

- сопротивление теплопередаче;
- тепловая инерция;
- теплоустойчивость;
- сопротивление воздухопроницанию;
- сопротивление паропроницанию.

## Сопротивление теплопередаче

— определяет уровень теплоизоляции, показывает какое сопротивление оказывает ограждающая конструкция при движении через нее теплового потока от одной среды, более теплой, в другую, более холодную.



Теплозащитные качества ограждения принято характеризовать величиной **сопротивления теплопередаче  $R_0$** , которая численно равна падению температуры в градусах при прохождении теплового потока, **равного 1 Вт через 1 м<sup>2</sup> ограждения.**

Правильно выбранная конструкция ограждения и строго обоснованная величина его сопротивления теплопередаче обеспечивают требуемый микроклимат и экономичность конструкции здания.

У **особо легких** (без инерционных) ограждающих конструкций  $D < 1,5$ ; у **лёгких** (с малой тепловой инерцией)  $1,5 < D < 4$ ; у конструкций **средней массивности** (со средней тепловой инерцией)  $4 < D < 7$ ; у **массивных конструкций** (с большой тепловой инерцией)  $D > 7$ .

По величине тепловой инерции  $D$  можно оценить время, необходимое для предельного понижения температуры у внутренней поверхности ограждения в случае отключения источника отопления. Очень лёгкие ограждения, например панели «сэндвич» при резком похолодании полностью охлаждаются в течение нескольких часов. Однако для бетонных панелей, кирпичной кладки, полное охлаждение наступает в течение нескольких суток. Кратковременное похолодание практически не изменяет температуру внутренней поверхности таких ограждений.

Применительно к наружному ограждению здания можно записать:

$$R_0 = R_B + R_K + R_H \quad (1)$$

где  $R_B = 1/\alpha_B$  - сопротивление теплоотдачи внутренней поверхности ограждения;

$R_H = 1/\alpha_H$  - тоже наружной поверхности;

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;

$\alpha_H$  - тоже наружной поверхности из СНиП 23-02-2003, таб. 6\*;

$R_K$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$$R_K = R_1 + R_2 + \dots R_n, \quad (2)$$

величина  $R_K$  определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоев, м<sup>2</sup>°С/Вт;  $R$  - это термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки СНиП 23-02-2003, прил. 4.

Термическое сопротивление каждого слоя однородной ограждающей конструкции определяют по формуле:

$$R = \delta/\lambda, \quad (3)$$

Термическое сопротивление каждого слоя однородной ограждающей конструкции определяют по формуле:

$$R = \delta/\lambda , \quad (3)$$

Сопротивление теплопередаче наружных ограждений отапливаемых зданий  $R_o$  должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче  $R_o^{TP}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, которое должно быть оптимальным с технико-экономической точки зрения.

Требуемое сопротивление теплопередаче является минимально допустимым сопротивлениям теплопередаче по санитарно-гигиеническим требованиям и определяется по формуле:

$$R_o^{mp} = \frac{n(t_B - t_H)}{\Delta t^H \cdot \alpha_B} , \text{ м}^2\text{°C/Вт}; \quad (4)$$

где  $n$  - коэффициент учитывающий положение наружного ограждения по отношению к наружному воздуху СНиП 23-02-2003, прил. 3\*;

$t_B$  - расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемого помещения СНиП 31-05-2003 «Общественные здания и сооружения, прил.4;

$t_H$  - тоже наружного воздуха, принимается по СНиП 23-01-99;

$\Delta t^H$  - нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции СНиП 23-02-2003, прил. 2\*.

Тепловую инерцию (массивность)  $D$  ограждающих конструкций определяют по формуле:

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n, \quad (5)$$

$S_1, S_2$  - коэффициент теплоусвоения материала, Вт/м<sup>2</sup>°С, по СНиП 23-02-2003, прил. 3\*.

Коэффициент теплоусвоения материала  $S$  показывает способность поверхности стенки, площадью 1 м<sup>2</sup> усваивать тепловой поток мощностью 1Вт при температурном перепаде в 1°С. Он зависит от продолжительности отопительного периода  $z$ , сут., и физических свойств материала, характеризующихся коэффициентами теплоёмкости  $c$  и плотности  $\rho$ :

$$S = \sqrt{2\pi\lambda c\rho / z}, \text{ Вт/м}^2\text{°С}, \quad (6)$$

## § 2. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Она оценивается по величине сопротивления воздухо-проницанию :

$$R_u = \delta / i, \quad (7)$$

где  $\delta$  - толщина слоя, м.;

$i$  - коэффициент воздухопроницаемости материала, кг/м<sup>2</sup> ч Па, характеризующий количество воздуха в кг., которое проходит через 1 м<sup>2</sup> ограждения за 1 час при разности давлений 1 Па .

Фильтрация наружного воздуха через ограждения в холодный период года вызывает дополнительные потери теплоты, а также охлаждение внутренних поверхностей ограждения, особенно в современных многоэтажных зданиях. Поэтому СНиП 23-02-2003 ограничивает воздухопроницаемость ограждающих конструкций.

Сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  должна быть не менее требуемого по СНиП 23-02-2003, п.5.1  $R_u^{TP}$ :

$$R_u \geq R_u^{TP} = \Delta p / G^H, \quad (8)$$

где  $R_{u1} \dots R_{un}$  - гравитационное давление, Па;

$G^H$  - нормативная воздухопроницаемость ограждающей конструкции (СНиП 23-02-2003, т.12 см. дополнения), кг/м<sup>2</sup>.



Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции определяют по формуле:

$$Ru \geq Ru_1 + Ru_2 + \dots + Ru_n, \text{ м}^2/\text{Вт}, \quad (9)$$

где  $Ru_1 \dots Ru_n$  - сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждения, прил. 9 СНиП 23-02-2003.

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, а также окон и фонарей производственных зданий  $Ru$  должно быть не менее  $Ru^{TP}$ :

$$Ru^{mp} = \frac{1}{G^H} \cdot \left( \frac{\Delta\rho}{\Delta\rho_0} \right)^{2/3}, \quad (10)$$

где  $\Delta\rho = 10\text{Па}$  - разность давлений воздуха, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию  $Ru$ .

Приведенное сопротивление теплопередаче  $Ro^{TP}$  окон, дверей и т. д. смотри приложение 6 дополнений к СНиП 23-02-2003.

### § 3. Влажность воздуха в помещении и влияние на воздушно-тепловой режим помещения

Повышение влажности строительных материалов увеличивает их теплопроводность, что существенно снижает теплозащитные качества ограждений. Влажный строительный материал, неприемлем и с гигиенической точки зрения. Кроме того влажностный режим влияет и на долговечность ограждения.

В ограждающих конструкциях может оказаться: строительная влага, вносимая при возведении зданий или при изготовлении сборных железобетонных конструкций; грунтовая влага, проникающая в ограждающие конструкции в следствии капительного всасывания; атмосферная влага, проникающая в ограждение при косом дожде или при неисправной кровле; эксплуатационная влага - в процессе эксплуатации; гигроскопическая влага, находящаяся в ограждающих конструкциях вследствие гигроскопичности его материалов.

Конденсационная влага. От всех видов влаги, кроме конденсационной, можно и должно избавиться до начала эксплуатации здания. Влага из воздуха может конденсироваться, как на внутренней поверхности ограждения, так и в его толще.

В зимнее время температура воздуха с внутренней стороны ограждения бывает значительно выше температуры наружного воздуха, значит и парциальное давление (упругость) водяного пара в воздухе помещения окажется более высоким, чем для наружного воздуха. Разность величины упругости водяного пара с одной и с другой стороны ограждения вызывает диффузионный поток водяного пара через ограждение от внутренней поверхности к наружной. Поэтому можно записать :

$$G = (e_B - e_H)(\mu / \delta), \quad (11)$$

где  $G$  - количество диффундирующего пара, кг;

$e_B$  и  $e_H$  - упругости водяного пара у внутренней и наружной поверхности ограждения, Па;

$\mu$  - коэффициент паропроницаемости материала стенки, кг/м · ч · Па;

$\delta$  - толщина стенки, м.

Коэффициент паропроницаемости материала  $\mu$  зависит от физических свойств данного материала и представляет собой количество водяного пара, которое диффундирует в течении 1 часа через 1 м<sup>2</sup> плоской стенки толщиной 1 м при разности упругостей водяного пара с одной и с другой её сторон, равной 1 Па. Принимается по СНиП 23-02-2003, прил. 3\*.

Оценка паропроницаемости ограждающих конструкций проводится по величине сопротивления паропроницанию.

Для однородного слоя эта величина равна:

$$R_H = \delta / \mu, \quad (12)$$

Сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции равно:

$$\begin{aligned} R_{оп} &= R_{Вн} + R_{1н} + R_{2н} + \dots + R_{нп} + \dots + R_{Нп} = \\ &= R_{Вн} + \delta_1 / \mu_1 + \delta_2 / \mu_2 + \dots + \delta_{нп} / \mu_{нп} + R_{Нп}, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $R_{1н} \dots R_{нп}$  - сопротивление паропроницанию отдельных слоев ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ ;

$n$  - число слоев ограждения;

$R_{Вн}, R_{Нп}$  - сопротивление влагообмену у внутренней и наружной поверхности ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ .

При оценке паропроницаемости ограждения необходимо выполнить условие: величина сопротивления паропроницанию  $R_{нп}$  ограждающей конструкции должна быть не менее наибольшего из требуемых сопротивлений  $R_{1н}$  и  $R_{2н}$ , в соответствии с п. 6.1. СНиП .

Для предупреждения конденсации в толще ограждения более плотные, теплопроводные и малопаропроницаемые материалы должны располагаться у внутренней поверхности ограждения, а к наружной поверхности, наоборот пористые, малотеплопроводные и более паропроницаемые. В этом случае у внутренней поверхности будет более высокая температура.

Для предупреждения конденсации влаги на внутренней поверхности наружного ограждения необходимо, чтобы  $t_B > t_P$ . Температура точки росы  $t_P$  воздуха помещения определяется:

$$t_P = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_B)^2,$$

где  $e_B$  - упругость водяного пара, Па.

Если условие  $t_B > t_P$  не соблюдается. То необходимо увеличить сопротивление теплопередаче ограждения  $R_0$ .

Кроме того, целесообразно вентилирование помещений, обдувка или обогрев внутренних поверхностей ограждения.



## § 4. Повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций

Значительный дефицит топливно-энергетических ресурсов в стране и тяжелое положение обусловили повышение требований к теплозащите ограждающих конструкций.

В связи с этим вышло постановление правительства РФ № 18-81 от 11.08.95 «О принятии изменений № 3 к СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника». В которых установлено, что начиная с 1.09.95г. - проектирование, а с 1.07.96г. - новое строительство, реконструкцию и капитальный ремонт зданий осуществлять с учетом повышенных требований к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций.

Кроме того, с 1.02.2000г перейти на более высокие требования к теплозащитным качествам ограждений.

В связи с применением новых изменений к СНиП (23-02-2003), актуализированная редакция, нормируемые величины сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций значительно выросли и оказались сопоставимыми с аналогичными величинами в некоторых развитых странах Запада (с  $R_0$  1,29...до 3,2 по наружным стенам).

С учетом новых требований с применением существующих строительных материалов и конструкций, значительно увеличивается толщина ограждающих конструкций (например для г.Пензы толщина стен из кирпича - > 1 м, а панелей - до 0,5 м).

Это приводит к значительным капитальным затратам и увеличению нагрузки на фундаменты. Следовательно, нужны новые строительные материалы и принципиально новые строительные конструкции.

1. Перспективный метод повышения теплоизоляционных качеств ограждающих конструкций - использование легких бетонов, в состав которых входят пористые заполнители с аморфизированной структурой (шлаковая пемза, азерит) и вяжущие пониженной теплопроводности.

2. Теплоизоляционные качества ограждающих конструкций можно также повысить путем нанесения эффективных «теплых» штукатурок на поверхность панели в процессе ее изготовления на заводе или в построечных условиях.

3. Новым направлением является устройство воздушных прослоек, по которым свежий наружный воздух передвигаясь постепенно нагревается.

4. Использование тепла солнечной радиации и т.д.

Предлагается следующая методика расчета толщины утепляющего слоя стены.

При выполнении теплотехнического расчета для зимних условий прежде всего необходимо убедиться, что конструктивное решение проектируемого ограждения позволяет обеспечить необходимые санитарно-гигиенические и комфортные условия микроклимата.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_0^{\text{норм}}$ ,  $\text{м}^2\text{°С/Вт}$ , следует определять по формуле:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} m_p; \quad (14)$$

где  $R_0^{\text{тп}}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2\text{°С})/\text{Вт}$ , следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), регион строительства и определять по таблице 2.2. [7];

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства.

Согласно СНиП 23-02-2003, актуализированная редакция, допускается снижение значения коэффициента  $m_p$ .



В случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания выполняются требования раздела к данной удельной характеристике. Значения коэффициента  $m_p$  при этом должны быть не менее:  $m_p = 0,63$  – для стен,  $m_p = 0,95$  – для светопрозрачных конструкций,  $m_p = 0,8$  – для остальных ограждающих конструкций.

Градусо-сутки, °Ссут, отопительного периода следует определять по формуле:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{оп}) \cdot Z_{оп}, \quad (15)$$

где  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий, [15];

$t_{оп}$  – средняя температура отоп. периода, °С, по [6, табл. 3.1];

$Z_{оп}$  – продолжительность отоп. периода, сут, по [6, табл. 3.1].

В случаях, когда средняя наружная или внутренняя температура для отдельных помещений отличается от принятых в расчете ГСОП, базовые значения  $R_0^{мп}$ , умножаются на коэффициент  $n_t$ .

Который рассчитывается по формуле:

$$n_t = \frac{t_{\text{в}}^* - t_{\text{от}}^*}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}}; \quad (16)$$

где  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{от}}$  - то же, что в формуле (15);

$t_{\text{в}}^*$ ,  $t_{\text{от}}^*$  - средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, °С.

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле:

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t \cdot \alpha_{\text{в}}}; \quad (17)$$

где  $t_{\text{в}}$  - то же, что в формуле (15);

$t_{\text{н}}$  - расчетная зимняя температура, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [6, табл. 3.1];

$\alpha_{\text{в}}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), по [7, табл. 4];

где  $\Delta t$  - нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, по [7, табл. 5].

Далее определяют предварительную толщину слоя утеплителя  $\delta_{ут}$ , м, по формуле:

$$\delta_{ут} = \left[ R_0^{норм} - \left( \frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right], \quad (18)$$

где  $\delta_i$  – толщина отдельных слоев ограждающей конструкции, м, по заданию;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности отдельных слоев ограждающей конструкции в зависимости от условий эксплуатации ограждающей конструкции, Вт/(м·°С), по ;

$\lambda_{ут}$  – коэффициент теплопроводности утепляющего слоя в зависимости от условий эксплуатации ограждающей конструкции, Вт/(м·°С), по [4, прил.3];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаем по [4, табл. 8].

Вычисленное значение  $\delta_{yT}$ , м, должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений. Для наружных стеновых панелей – 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 м, для кирпичной кладки – 0,38, 0,51, 0,64, 0,77.

После выбора толщины утеплителя уточняют приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций,  $R_0^{пр}$ , (м<sup>2</sup>°С)/Вт, для всех слоев ограждения по формуле:

$$R_0^{пр} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{1}{\alpha_н}; \quad (19)$$

и проверяют условие :

$$R_0^{пр} \geq R_0^{норм}, \quad (20)$$

т.к. согласно [7, п.5.1]  $R_0^{пр}$  должно быть не менее нормируемых значений  $R_0^{норм}$ .

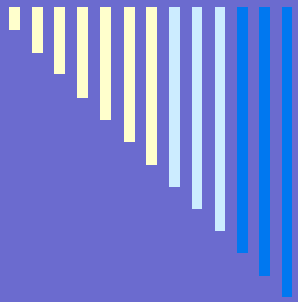
Если условие (20) не выполняется, то целесообразно выбрать строительный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{yT}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С), или можно увеличить толщину утеплителя  $\delta_{yT}$ , м.

Коэффициент теплопередачи принятого ограждения стены  $k$ , Вт/м<sup>2</sup>°С, определяют из уравнения:

$$k = 1 / R_0^{ПР} \quad (21)$$

где  $R_0^{ПР}$  – общее фактическое сопротивление теплопередаче, принимаемое по уравнению (20), (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.





# СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

## ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ПОМЕЩЕНИЯ

### Тема 2