

Лекция 1. Понятие микроклимата. Теплопередача

1. Микроклимат помещений
2. Системы инженерного оборудования зданий для обеспечения заданного микроклимата помещений
3. Виды теплообмена, теплопередача
4. Теплопередача через наружные ограждений
5. Влияние основных характеристик наружного ограждения на величину теплопередачи

1. Микроклимат помещений

В помещениях любого назначения, в которых находятся люди, а также в помещениях, где ведутся технологические процессы, необходимо обеспечить определенные метеорологические условия. Наружные ограждающие конструкции зданий защищают помещения от непосредственного воздействия атмосферных условий. Однако зачастую этого оказывается недостаточно. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха поддерживают в помещениях в течение всего года определенные параметры внутренней среды.

Комплекс инженерных средств и устройств по обеспечению требуемых метеоусловий в помещениях называется системой кондиционирования микроклимата (СКМ) здания. Этот комплекс инженерных средств должен обеспечивать требуемый тепловой режим здания. Тепловым режимом здания называют совокупность факторов и процессов, которые под влиянием внешних, внутренних воздействий и инженерных устройств формируют: тепловую обстановку в его помещениях.

Здоровье, самочувствие и работоспособность человека в значительной степени зависят от санитарно-гигиенической обстановки в помещении, которая должна удовлетворять его физиологическим требованиям. Санитарно-гигиеническая обстановка в помещении определяется ее микроклиматом. Микроклимат помещения создается совокупностью теплового, воздушного и влажностного режимов в их взаимодействии и должен обеспечивать благоприятные условия для людей, находящихся в помещении, и требования технологического процесса.

В процессе жизнедеятельности в организме человека вырабатывается? теплота, которая путем конвекции, излучения, теплопроводности и испарения пота с поверхности тела должна быть передана окружающей среде. Организм человека обладает системой терморегуляции. Эта система стремится поддерживать постоянную температуру (36,6 °C) тела человека. Для нормальной жизнедеятельности и хорошего самочувствия человека должен сохраняться баланс между теплотой, вырабатываемой организмом, и теплоотдачей, отдаваемой в окружающую среду. В противном случае происходит переохлаждение или перегрев тела человека, ведущие к ухудшению самочувствия, к потере работоспособности. При продолжительном тепловом дисбалансе в организме человека возникают различные заболевания, а в отдельных случаях может быть летальный исход.

Количество теплоты, вырабатываемой организмом человека и отдаваемой в окружающую среду, зависит от его возраста, индивидуальных особенностей, эмоционального состояния и тяжести выполняемой работы.

В спокойном состоянии взрослый человек отдает окружающей среде до ~120 Вт, при легкой работе - до ~ 250, при тяжелой - до ~ 500, а при максимальных

кратковременных нагрузках - до ~ 1000 Вт. Отдача теплоты, вырабатываемой взрослым человеком в спокойном состоянии при обычных условиях - более 90% (приблизительно половина - излучением, по четверти - конвекцией и испарением пота и менее 10% - в результате естественного обмена веществ). При тяжелой работе основная доля теряемой теплоты приходится на испарение пота. Способность организма к терморегуляции ограничена, а интенсивность теплоотдачи человеком зависит от тепловой обстановки в помещении, поэтому микроклимат помещения должен поддерживаться на заданном уровне.

Микроклимат помещения характеризуется температурой внутреннего воздуха t_{int} осредненной радиационной температурой поверхностей t_R (внутренних поверхностей наружных ограждений, пола, потолка, перегородок и поверхностей мебели, технологического оборудования и др. предметов), скоростью (подвижностью) v_{int} и относительной влажностью воздуха ϕ_{int} . Так как значения τ_n для различных поверхностей неодинаковы, то

$$t_R = \Sigma(\tau_n \cdot f_n) / \Sigma f_n, \quad (1.1)$$

где f_n - площади этих поверхностей, m^2 , τ_n - их температура, $^{\circ}C$.

Совокупность этих показателей микроклимата, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции, называют зонами комфорта. Они могут быть оптимальными и допустимыми. Допустимыми являются такие метеоусловия, при которых возникает некоторая напряженность в системе терморегуляции и имеет место допустимая дискомфортность тепловой обстановки в помещении для человека.

Еще в 1884 г. российский ученый И.Д. Флавицкий указывал, что только требуемое совокупное воздействие параметров микроклимата помещений обеспечивает комфортность среды.

Наиболее важно поддерживать в помещении в первую очередь благоприятные температурные условия, так как подвижность и относительная влажность воздуха чаще всего имеют незначительные колебания. Деятельность человека обычно связана с частью объема помещения (обслуживаемой или рабочей зоной). Комфорт должен быть обеспечен прежде всего в этой зоне.

2. Системы инженерного оборудования зданий для обеспечения заданного микроклимата помещений

Заданный микроклимат помещений создается системой кондиционирования микроклимата (СКМ). Наружные ограждения зданий защищают помещения от внешних климатических воздействий, а системы инженерного оборудования зданий обеспечивают заданные параметры микроклимата в любое время года. К ним относятся системы отопления, охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Системы отопления создают и поддерживают в помещениях в зимнее время нормируемые температуру воздуха t_{int} и среднюю радиационную температуру помещения t_R . Они решают одну из задач СКМ — создают и поддерживают требуемый тепловой режим помещений.

В тесной связи с тепловым режимом находится воздушный режим помещений. Системы вентиляции предназначены для удаления из помещений загрязненного различными вредностями воздуха и подачи в них чистого специально

обработанного наружного воздуха, при этом количества удаляемого и приточного поступающего воздуха между собой равны, а требуемая температура внутреннего воздуха не должна меняться. Приточный воздух в специальных устройствах перед подачей в помещения предварительно подвергается обработке: нагревается или охлаждается, увлажняется или осушивается и очищается от пыли, находящейся в приземном слое атмосферы.

Кондиционирование воздуха решает задачу создания и поддержания состояния воздушной среды в помещениях для комфортного самочувствия людей (бытовое кондиционирование) или требований технологического процесса (промышленное кондиционирование). В определенной мере эту же задачу решают системы вентиляции, однако они не могут обеспечить поддержания заданного режима помещения при меняющихся параметрах наружного воздуха и режимах выделения вредностей в помещениях. Таким образом, под кондиционированием воздуха понимают автоматическое создание и поддержание параметров микроклимата в помещениях. Приточный воздух автоматически в определенном количестве (объеме) в специальных устройствах кондиционера подвергается термовлажностной обработке (нагреву-охлаждению, увлажнению-осушке) и очищается от пыли. При наличии специальных требований, например, в лечебно-оздоровительных учреждениях системы кондиционирования могут очищать воздух от запахов, придавать специальные запахи, ионизировать воздух и т.д. В типовых кондиционерах, выпускаемых промышленностью, осуществляются очистка от пыли и регулируемая термовлажностная обработка воздуха. Современные бытовые сплит-системы в теплое время года охлаждают и осушают воздух помещений, очищают его от пыли, а в холодное время года могут частично решать задачу отопления, нагревая воздух помещения при незначительных для климатической зоны России понижениях температуры наружного воздуха до минус 5-15 °С. Более подробно системы инженерного оборудования зданий будут рассмотрены в следующих разделах.

3. Виды теплообмена, теплопередача

В природе, технике, строительстве многие явления связаны с переносом теплоты от более нагретого тела или среды менее нагретому. При проектировании, строительстве и эксплуатации инженерного оборудования зданий многие задачи решаются на основе теории теплообмена. Потери теплоты помещениями в холодное время года и поступление теплоты в них летом через наружные ограждения происходят по законам теории теплообмена. Как излагалось выше, создать и поддерживать микроклимат помещений в требуемых пределах возможно только правильным выбором конструкции наружных ограждений и экономически обоснованным решением задач при проектировании и строительстве систем инженерного оборудования зданий. Решение этих задач излагается в специальных дисциплинах, таких как отопление, вентиляция, кондиционирование, тепло- и газоснабжение, изучение которых невозможно без знаний общеобразовательных и общетехнических дисциплин: физики, термодинамики и теплопередачи, строительной теплофизики и др. Поэтому достаточная профессиональная подготовка инженеров-строителей по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» возможна при хорошем знании всех вышеприведенных дисциплин.

Теплопередача является сложным физическим процессом перехода теплоты через разделяющую стенку от среды с более высокой к среде с меньшей температурой.

Этот процесс теплопередачи складывается из трех элементарных видов теплообмена: теплопроводности, конвекции и излучения.

При изучении отдельных видов теплообмена используют следующие общие понятия и определения:

1. Перенос теплоты от одного тела к другому, а также между их частицами происходит только при разности температур и всегда направлен в сторону более низкой температуры.

2. Количество теплоты, переносимой в единицу времени, называют тепловым потоком Q , Вт, а отношение Q к единице площади A , м², - поверхностной плотностью теплового потока q , Вт/м²:

$$q = \frac{Q}{A}. \quad (1.2)$$

3. Температурное состояние тела или системы тел характеризуется температурным полем, под которым понимается совокупность мгновенных значений температур во всех точках изучаемого пространства.

Температурное поле, изменяющееся с течением времени, называется нестационарным. Примером нестационарного температурного поля может служить температурное поле поверхности остывающего или нагреваемого тела. В этом случае тепловой режим и тепловой поток будут тоже нестационарными.

Если температура в любой точке тела с течением времени не изменяется, то температурное поле называется стационарным. В этом случае тепловой режим и тепловой поток будут тоже стационарными.

Простейшим температурным полем является одномерное стационарное поле, которое характеризуется изменением температуры в одном направлении. Примером такого поля может служить распределение температуры в наружных ограждениях (наружные стены, чердачные перекрытия и др.), толщина которых по сравнению с их площадью невелика.

При решении практических задач теплопередачи в строительстве чаще всего ограничиваются рассмотрением одномерных и стационарных полей как наиболее простых.

Теплопроводность - это передача теплоты от одной частицы вещества к другой без их перемещения. Когда передача теплоты происходит через плоскую однородную стенку (при неизменности температур сред во времени) в направлении, перпендикулярном к ее поверхности (одномерное температурное поле), уравнение теплопроводности, согласно закону Фурье, имеет вид:

$$Q_T = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) \cdot A, \quad (1.3)$$

где Q_T - тепловой поток, Вт,

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м · °С;

δ - толщина стенки, м;

t_1 и t_2 - температуры на ее поверхностях, °С;

A - площадь поверхности стенки, м².

Такой процесс теплообмена происходит в любых телах и зависит от их агрегатного состояния. Теплопроводность жидких и в особенности газообразных тел незначительна. Твердые тела обладают различной теплопроводностью, и с

увеличением их плотности теплопроводность растет. Тела с малой теплопроводностью называют теплоизоляционными.

Конвективный теплообмен - это перенос теплоты в жидкостях или газах. Этот теплообмен описывается уравнением Ньютона:

$$Q_K = \alpha_K \cdot (t_n - t_{cp}) \cdot A, \quad (1.4)$$

где Q_K - тепловой поток, Вт;

α_K - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/м²·°С;

t_n и t_{cp} - соответственно температуры поверхности и среды;

A - площадь поверхности, м².

Процесс конвекции - это перенос теплоты в результате перемещения и перемешивания частиц жидкости или газа. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью.

Если перемещение частиц жидкости или газа происходит за счет разности их плотностей, такое перемещение называют естественной конвекцией. Например, воздух помещения соприкасается с нагретой поверхностью отопительного прибора, повышает свою температуру и поднимается вверх, уступая место более холодному воздуху. В результате этого теплота, полученная воздухом, передается от отопительного прибора в другие части помещения.

Если жидкость или газ перемещаются с помощью механического устройства (насос, вентилятор и др.), такое перемещение называют вынужденной конвекцией. Теплообмен в этом случае происходит значительно интенсивнее, чем при естественной конвекции.

Теплообмен излучением происходит между телами, разделенными лучепрозрачной средой, электромагнитными волнами.

Тепловая энергия на поверхности тела превращается в лучистую и передается через лучепрозрачную среду на поверхность другого тела, где вновь превращается в тепловую.

Теплообмен излучением может происходить между телами, находящимися на большом расстоянии друг от друга.

Наглядным примером этого вида теплообмена служит излучение солнца на землю.

Лучистая энергия, поступающая на какое-либо тело, в зависимости от его физических свойств и формы, а также от шероховатости поверхности частично поглощается этим телом, нагревая его (а иногда переходит в другие виды энергии), а остальная часть может отражаться и пропускаться через него (рисунок 1).

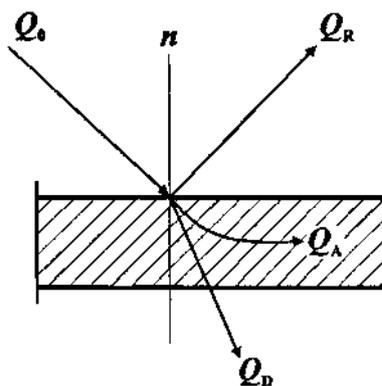


Рисунок 1 - Схема распределения лучистой энергии, падающей на тело

На рисунке 1 Q_0 - общее количество лучистой энергии, поступающей на тело, а Q_A , Q_R и Q_D - соответственно количество лучистой энергии, поглощённой, отраженной и прошедшей через него:

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_D. \quad (1.5)$$

Разделив правую и левую части уравнения на Q_0 , получим:

$$1 = A + R + D, \quad (1.6)$$

где $A = Q_A / Q_0$ - коэффициент поглощения;

$R = Q_R / Q_0$ - коэффициент отражения;

$D = Q_D / Q_0$ - коэффициент пропускания.

Эти безразмерные коэффициенты характеризуют соответственно поглощательную, отражательную и пропускную способность тела, а их численные значения могут быть различными и даже равными нулю.

Если $A = 1$, то $R = D = 0$, тогда тело полностью поглощает лучистую энергию и называется абсолютно черным. Абсолютно черных тел в природе не существует. Близки к абсолютно черному телу нефтяная сажа $A = 0,9 - 0,96$, вода и лед $A = 0,92 - 0,95$, черный бархат $A = 0,955$, черное сукно $A = 0,98$.

Если $R = 1$, то $A = D = 0$, тогда тело полностью отражает лучистую энергию. Такое тело называется зеркальным или абсолютно белым. Близок по своим свойствам ряд металлов (золото, медь и др.). Для некоторых полированных металлов $R = 0,95-0,97$.

Если $D = 1$, то $A = R = 0$, тогда тело пропускает через себя все падающие на него лучи и называется абсолютно проницаемым (прозрачным). Чистый воздух практически прозрачен, а твердые тела и многие жидкости непрозрачны. Например, оконное стекло пропускает световые лучи и почти непрозрачно для ультрафиолетового и длинноволнового инфракрасного излучения.

По закону Стефана - Больцмана тепловой поток $Q_{л}$ (Вт), который излучением отдает поверхность A_1 поверхности A_2 (m^2), имеющих температуры T_1 ($^{\circ}K$) и T_2 ($^{\circ}K$), будет равен:

$$Q_{л} = C_{пр} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A_1 \varphi_{1-2}, \quad (1.7)$$

где $C_{пр}$ - приведенный коэффициент излучения системы тел, $Вт/м^2 \cdot K^4$;

φ_{1-2} - безразмерный коэффициент облученности, показывающий долю лучистого потока, воспринятого поверхностью A_2 от всего потока, излучаемого поверхностью A_1 .

Обычно в строительной теплотехнике пользуются более простой формулой

$$Q_{л} = \alpha_{л} (t_1 - t_2) A, \quad (1.8)$$

где $\alpha_{л}$ - коэффициент теплообмена излучением, $Вт/м^2 \cdot ^{\circ}C$, который можно вычислить, приравняв уравнения (1.7) и (1.8);

t_1 и t_2 - температуры тепло-обменивающихся поверхностей, $^{\circ}C$.

4. Теплопередача через наружные ограждений

Передача теплоты из помещения наружной среде в холодное время года является

сложным процессом теплопередачи. Для упрощения решения этой задачи принято считать процесс теплопередачи стационарным, который характеризуется постоянством температур t_{int} и t_{ext} во времени и представлен на рисунке 2.

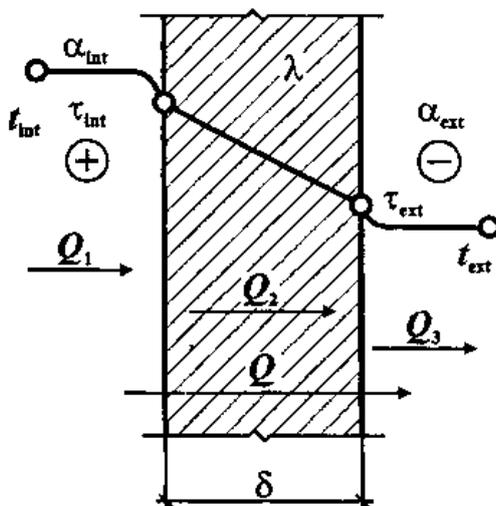


Рисунок 2 - Теплопередача через однослойное наружное ограждение

Воздух помещения, имеющий более высокую температуру t_{int} чем внутренняя поверхность наружного ограждения τ_{int} , отдает ей теплоту конвекцией. Поверхности внутренних ограждений, обращенные в помещение, также имеют более высокую среднерадиационную температуру t_R , чем внутренняя поверхность наружного ограждения, и отдают ей теплоту излучением. Условно принято считать, что $t_R = t_{int}$. Тогда тепловой поток Q_1 , Вт, воспринятый внутренней поверхностью наружного ограждения за счет конвекции и излучения, будет равен:

$$Q_1 = [\alpha_K (t_{int} - \tau_{int}) + \alpha_L (t_{int} - \tau_{int})] \cdot A = \alpha_{int} (t_{int} - \tau_{int}) \cdot A;$$

или

$$Q_1 = \frac{1}{R_{int}} (t_{int} - \tau_{int}) \cdot A, \quad (1.9)$$

где $\alpha_{int} = \alpha_K + \alpha_L$ - коэффициент теплообмена на внутренней поверхности наружного ограждения, Вт/м²·°С;

$R_{int} = 1/\alpha_{int}$ термическое сопротивление теплообмену на внутренней поверхности, м²·°С/Вт.

Аналогично наружная поверхность наружного ограждения отдает теплоту в окружающую среду конвекцией и излучением. Температура этой поверхности - τ_{ext} . Условно принимают, что окружающие предметы имеют температуру наружного воздуха t_{ext} тогда тепловой поток Q_3 , Вт, отданный наружной поверхностью, равен:

$$Q_3 = \alpha_{ext} (\tau_{ext} - t_{ext}) \cdot A = \frac{1}{R_{ext}} (\tau_{ext} - t_{ext}) \cdot A, \quad (1.10)$$

где α_{ext} - коэффициент теплообмена на наружной поверхности наружного ограждения, Вт/м²·°С;

$R_{ext} = 1/\alpha_{ext}$ термическое сопротивление теплообмену на наружной поверхности, м²·°С/Вт.

Тепловой поток Q_2 , Вт, определяется разностью температур поверхностей и конструкцией ограждения. Если ограждение однослойное и состоит из однородного материала, то

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_{int} - \tau_{ext}) A = \frac{1}{R_{сл}} (\tau_{int} - \tau_{ext}) A, \quad (1.11)$$

где $R_{сл}$ - термическое сопротивление слоя ограждения, $m \cdot ^\circ C / Вт$;

δ - толщина слоя наружного ограждения, м;

λ - коэффициент теплопроводности материала ограждения, $Вт/м \cdot ^\circ C$.

В условиях стационарного процесса теплопередачи, когда температуры и другие характеристики остаются во времени неизменными $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$. Тогда сложив правые и левые части уравнений и сделав простейшие математические преобразования, получаем:

$$Q = \frac{1}{R_{int} + R_{сл} + R_{ext}} (t_{int} - t_{ext}) A = \frac{A}{R_0} (t_{int} - t_{ext}), \quad (1.12)$$

где $R_0 = R_{int} + R + R_{ext}$ - общее приведенное термическое сопротивление однослойного наружного ограждения, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Если ограждение состоит из нескольких плоских слоев, состоящих из однородных материалов, перпендикулярно расположенных к тепловому потоку, то термическое сопротивление толщии ограждения будет равно:

$$R_T = \sum R_{сл}, \quad (1.13)$$

где $R_{сл}$ - термическое сопротивление каждого отдельного слоя.

Если в ограждении имеется плоская воздушная прослойка, также перпендикулярно расположенная к тепловому потоку, то ее следует учитывать как термическое сопротивление $R_{в.п.}$

Таким образом, общее приведенное термическое сопротивление многослойного ограждения будет равно, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

$$R_0 = R_{int} + R_{сл1} + R_{в.п.} + R_{сл2} + R_{ext}$$

Обратную величину R_0 называют коэффициентом теплопередачи наружного ограждения:

$$k = 1/R_0.$$

5. Влияние основных характеристик наружного ограждения на величину теплопередачи

Основными характеристиками, определяющими процесс передачи теплоты, являются: теплопроводность материала отдельных слоев ограждения, коэффициенты теплообмена на поверхностях ограждения и термическое сопротивление воздушной прослойки.

Теплопроводность λ , $Вт/м \cdot ^\circ C$, строительных материалов изменяется в широких пределах в зависимости от плотности δ , влажности U и температуры t . Большинство строительных материалов являются сложными капилляропористыми коллоидными телами. Их поры и капилляры могут быть заполнены влажными

воздухом, водой и льдом.

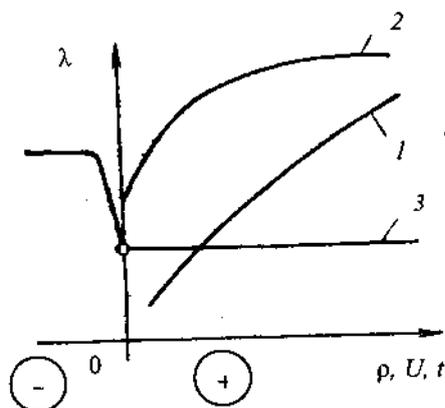


Рисунок 3 - Характер зависимости теплопроводности λ от плотности материала ρ (1), влажности U (2) и температуры t (3)

На рисунке 3 показана зависимость теплопроводности от плотности, влажности и температуры материала. Изменение теплопроводности обусловлено в основном тем, что скелет материала, воздух, вода и лед в нем могут находиться в разных соотношениях.

Теплопроводность скелета из неорганических материалов составляет 4,6-7 Вт/м \cdot $^\circ\text{C}$ и более. При увеличении его плотности теплопроводность растет из-за уменьшения доли объема, занимаемого воздухом, теплопроводность которого составляет всего лишь 0,023 Вт/м \cdot $^\circ\text{C}$. Теплопроводность воды равна 0,58 Вт/м \cdot $^\circ\text{C}$, в 25 раз больше воздуха, поэтому при увеличении влажности материала его теплопроводность значительно растет, так как вода заполняет поры, вытесняя из них воздух.

При положительной температуре теплопроводность строительных материалов практически не изменяется. Резкое увеличение теплопроводности происходит при понижении температуры ниже 0°C . При таком понижении температуры большая часть влаги, содержащейся в материале, превращается в лед, теплопроводность которого составляет 2,3 Вт/м \cdot $^\circ\text{C}$, что в 4 раза больше, чем у воды.

Так как абсолютное большинство строительных материалов воздухопроницаемо и влагопроницаемо, то эти явления уменьшают или увеличивают передачу теплоты через них.

Многие теплоизоляционные материалы, применяемые в конструкциях наружных ограждений, в процессе эксплуатации деформируются, уплотняются и изменяют свои свойства, что также ведет чаще всего к увеличению их теплопроводности.

Коэффициенты теплообмена на внутренней a_{int} и наружной a_{ext} , поверхностях ограждения зависят от конвективного и лучистого теплообменов на этих поверхностях.

Величина теплообмена на внутренней поверхности a_{int} зависит от конструкции этой поверхности (гладкая, оребренная и т.д.) и направления теплового потока. Так, для горизонтальной поверхности по сравнению с вертикальной, через которую теплота передается снизу вверх, его величина увеличивается на 30%, а при направлении теплового потока сверху вниз уменьшается на 30%.

Коэффициент теплообмена на наружной поверхности a_{ext} зависит в основном от скорости и направления движения воздуха относительно поверхности, а также от ее

положения по отношению к наружному воздуху (непосредственное обдувание ветром наружных стен либо чердачное перекрытие и др.).

Термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{e,n}$ зависит от разности температур на поверхностях прослойки, ее средней температуры, толщины и направления теплового потока.

Теплопередача через воздушную прослойку происходит лучистым теплообменом между ограничивающими ее поверхностями, а также конвекцией и теплопроводностью.

Передача теплоты в горизонтальных воздушных прослойках в направлении снизу вверх происходит в большей мере, чем сверху вниз, вследствие возникновения в первом случае конвективных токов.

Общее термическое сопротивление воздушной прослойки увеличивается с увеличением ее толщины, стабилизируясь при толщине более 5 см.

Уменьшения теплопередачи прослойки можно добиться покрытием ее поверхностей материалами с малыми коэффициентами излучения и перенесением прослойки ближе к наружной поверхности в зону отрицательных температур.