

Лекция 4. Воздействие наружной среды на здание

Микроклимат в помещениях формируется за счет возмущающих воздействий внешней среды и технологического процесса внутри здания, нейтрализуемых системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

Взаимодействие здания с внешней средой проявляется в виде потоков **теплоты, влаги и воздуха**, приходящих извне внутрь или наоборот. Направление и интенсивность тепло-влаго-воздухопередачи через наружные ограждения обусловлены разностью по потенциалов переноса.

Схема воздействия наружной среды на тепло-массопередачу наружных ограждений представлена на рисунке 1. Определяющими являются параметры наружной среды: температура воздуха (t_n), температура грунта ($t_{гр}$) и небосвода ($t_{неб}$), скорость и направление ветра (V), интенсивность прямой (S) и диффузной (D) солнечной радиации, парциальное давление водяного пара P .

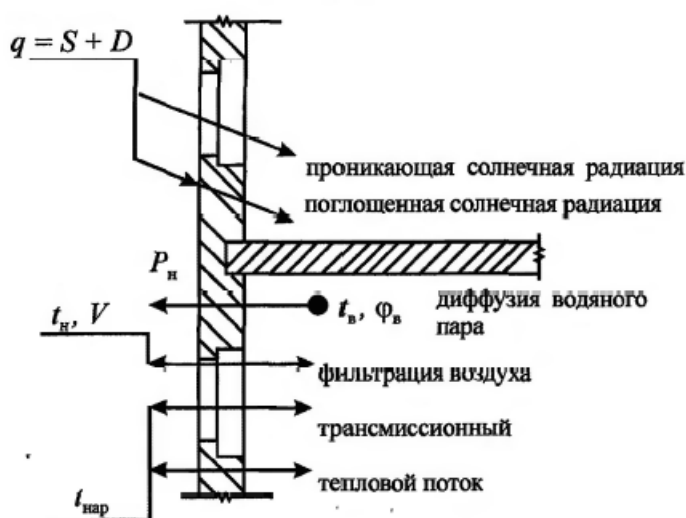


Рисунок 1 - Схема воздействия наружной среды на тепло-массопередачу наружных ограждений

Теплопередача через наружные ограждения обусловлена разностью температуры наружной и внутренней среды. Для определения понятия температуры наружной среды следует рассмотреть условия теплообмена на наружной поверхности (рисунок 2).

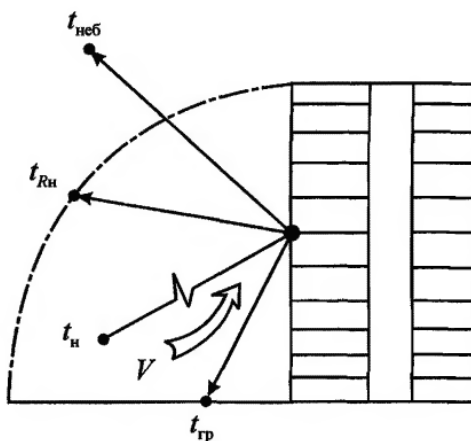


Рисунок 2 - Условия теплообмена поверхности ограждения с наружной средой

Теплообмен наружной поверхности складывается из лучистого и конвективного. Уравнение теплового баланса на поверхности имеет вид:

$$q_{\Pi} = pq + \alpha_{\text{н.л}} (t_{\text{РН}} - t) + \alpha_{\text{н.к}} (t_{\text{н}} - t), \quad (1)$$

где q_{Π} - поток теплоты, проходящий через поверхность, Вт/м²;

p - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью;

q - интенсивность падающей на поверхность суммарной солнечной радиации, Вт/м²;

$t_{\text{РН}}$ - радиационная температура наружной среды, °С;

t - температура наружной поверхности, °С;

$\alpha_{\text{н.л}}$, $\alpha_{\text{н.к}}$ - коэффициенты соответственно лучистого и конвективного теплообмена, Вт/(м² К).

Интенсивность падающей на поверхность суммарной солнечной радиации q , Вт/м², определяется по формуле:

$$q = S + D. \quad (2)$$

Введем в уравнение (1) температуру наружной среды:

$$t_{\text{нар}} = \frac{\alpha_{\text{н.л}} t_{\text{РН}} + \alpha_{\text{н.л}} t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (3)$$

откуда получим:

$$q_{\Pi} = pq + \alpha_{\text{н}} (t_{\text{нар}} - t). \quad (4)$$

Для учета теплоты солнечной радиации, поглощенной поверхностью ограждения, используется понятие условной температуры:

$$t_{\text{усл}} = t_{\text{нар}} + \frac{pq}{\alpha_{\text{н}}}. \quad (5)$$

Уравнение (1) в этом случае приобретает вид:

$$q_{\Pi} = \alpha_{\text{н}} (t_{\text{усл}} - t),$$

где $\alpha_{\text{н}}$ - суммарный коэффициент ($\alpha_{\text{н.л}} + \alpha_{\text{н.к}}$) теплообмена на наружной поверхности, Вт/(м² К).

Наружная поверхность обменивается конвективной теплотой с наружным воздухом и лучистым теплом с небосводом, грунтом и противостоящими зданиями.

Условия *лучистого теплообмена* рассмотрены в рамках дисциплины ТГС с ОТ. Коэффициент лучистого теплообмена поверхности, расположенной под углом к горизонту Δ , находят по формуле:

$$\alpha_{\text{л}} = 5,77\varepsilon [\cos \Delta + \varepsilon_{\text{гр}} (1 - \cos \Delta)], \quad (6)$$

где ε — степень черноты наружной поверхности ограждения;

$\varepsilon_{\text{гр}}$ — степень черноты грунта.

Конвективный теплообмен на наружной поверхности протекает в режиме вынужденной конвекции. Для выяснения закономерности течения воздуха у внешних поверхностей рассмотрим аэродинамику здания.

Как известно, у наветренной поверхности происходит плоскопараллельное движение воздуха, а на заветренных поверхностях образуются вихри. Так как характер вихря вытянутый, можно считать, что непосредственно у поверхности также имеет место плоское обтекание. На рисунке 3 показана идеализированная картина обтекания пластины, когда набегающий по нормали поток растекается по поверхности. Таким образом, для выбора критериальной зависимости конвективного теплообмена следует принять условия обтекания плоской пластины.

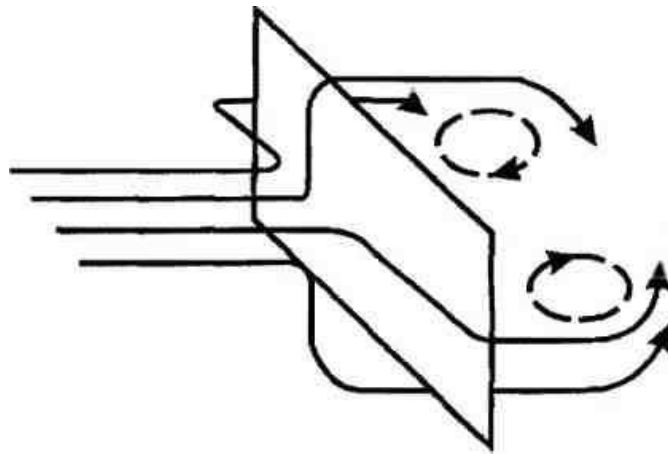


Рисунок 3 - Идеализированная картина обтекания пластины

Известно, что турбулентный режим течения характеризуется критическим числом Рейнольдса $Re > 5 \cdot 10^5$. Это означает, что при температуре воздуха $t_n = 0$ °С турбулентный режим соответствует произведению скорости ветра V на характерный размер l : $Vl > 6,8$. Если принять минимальную скорость ветра, равную 1 м/с, то характерный размер $l > 6,8$ м. Это условие удовлетворяется практически во всех случаях обтекания здания. Для турбулентного обтекания пластины используют критериальное уравнение $Nu = 0,037Re^{0,8}$, где критерий Нуссельта $Nu = (\alpha_k/\lambda)l$, критерий Рейнольдса $Re = (Vl)/\nu$.

Учитывая, что при $l^{0,8} < 50$ м справедливо приближение $l^{0,8} \approx 0,5l$, получаем значение среднего коэффициента конвективного теплообмена при нулевой температуре $\alpha_k = 2,95V^{0,8}$.

Для учета температуры воздуха можно применить поправку $k_t = 1 - 0,002t$. Когда поток набегает на фасады здания, то скорость его течения по плоскости отличается от скорости ветра. Если приравнять полное давление потоков вдали от здания и на его поверхности, то с учетом уравнения Бернулли получим соотношение искомой скорости обтекания V_x и скорости ветра V :

$$V_x = V\sqrt{1-C}, \quad (7)$$

где C - аэродинамический коэффициент.

Отсюда следует, что на наветренной стороне, где $C > 0$, наблюдается торможение потока, а на заветренной стороне, где $C < 0$, - ускорение. Этот вывод соответствует физической сущности процесса. Таким образом, в окончательном виде получим формулу расчета коэффициента теплообмена на наружной поверхности:

$$\alpha_n = 5,77\epsilon [\cos\Delta + \epsilon_{гр}(1 - \cos\Delta)] + 2,95V^{0,8}(1-C)^{0,4}(1 - 0,002t_n). \quad (8)$$

В упрощенном виде это выражение имеет вид:

$$\alpha_n = 5,2 + 2,1V, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (9)$$

В длинноволновой части спектра поверхность ограждения отдает лучистое тепло в сторону небосвода, обменивается теплом с поверхностями грунта и окружающих зданий.

Эквивалентную *температуру небосвода* $t_{неб}$ рассчитаем, зная эффективное излучение поверхности земли E и температуру грунта $t_{гр}$ по формуле:

$$t_{неб} = 100\sqrt[4]{\left(\frac{t_{гр} + 273}{100}\right)^4 - \frac{E}{5,77\epsilon_{гр}}} - 273. \quad (10)$$

Полученная формула $t_{\text{неб}}$ использует измеряемые метеорологические параметры E и $t_{\text{гр}}$ и поэтому представляется более достоверной в отличие от известных, в которых, как правило, $t_{\text{неб}}$ выражается косвенно через влажность воздуха.

Формулу для расчета **наружной радиационной температуры** получим из уравнения баланса лучистого тепла на наружной поверхности:

$$t_{R.н} = 100 \sqrt[4]{\frac{\epsilon_{\text{гр}} \left(\frac{t_{\text{гр}} + 273}{100} \right)^4 - \cos \Delta \frac{E}{5,77}}{\cos \Delta + \epsilon_{\text{гр}} (1 - \cos \Delta)}} - 273. \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

В формулах (10) и (11) дополнительно принято:

$\epsilon_{\text{гр}}$ - коэффициент длинноволнового излучения поверхности грунта (различен зимой и летом);

Δ - угол наклона поверхности к горизонту, $^\circ\text{C}$.

В силу изменения наружных параметров во времени передача тепла наружными ограждениями носит нестационарный характер. При этом тепловой поток, проходящий через окна, не искажается по величине и во времени из-за ничтожной тепловой инерции окон. В то же время массивные ограждения (стены, перекрытия) передают тепловой поток трансформированным.

Наружные ограждения по-разному передают тепловые потоки от коротковолновой солнечной радиации. В **массивных** ограждениях происходит поглощение теплоты солнечной радиации поверхностью. Нагретая поверхность (рисунок 4) возвращает частично теплоту в наружную среду, а частично передает через толщу ограждения внутрь помещения.

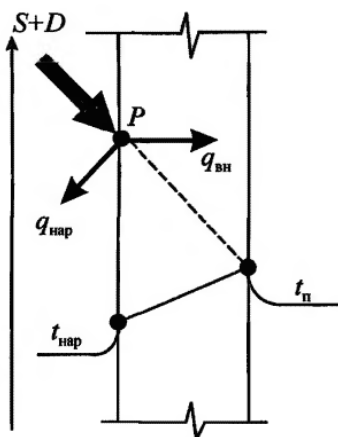
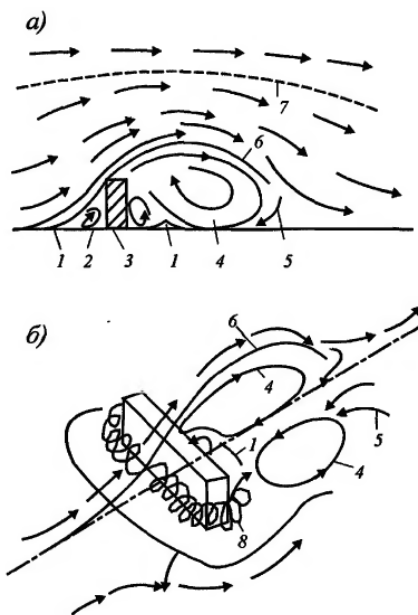


Рисунок 4 - Схема передачи тепловых потоков от коротковолновой солнечной радиации через массивное наружное ограждение

Аналогично процесс теплопередачи протекает в **светопрозрачных** ограждениях. Отличие этих ограждений состоит в том, что обычное оконное стекло обладает малым коэффициентом теплопоглощения P ($\approx 0,07$) и, кроме того, пропускает через свою толщу тепловой **поток от солнечной радиации**. Величина проникающего теплового потока зависит от интенсивности солнечной радиации, конструкции окна и солнцезащитных устройств и в теплое время года может быть определяющей в сравнении с остальными факторами наружной среды.

Скорость ветра сказывается на конвективном теплообмене на наружной поверхности ограждения. Более весомым с точки зрения воздействия наружной среды является влияние скорости ветра на распределение давления снаружи здания.

При торможении потока воздуха (рисунок 5) на наветренном фасаде здания возникает избыточное по отношению к атмосферному давление.



а — вертикальный разрез; б — схема движения воздуха в зоне аэродинамического следа; 1 — граница между вихрями в зоне аэродинамического следа, участок с нулевой скоростью движения воздуха; 2 — зона избыточного давления; 3 — здание; 4 — зона разрежения и вихревого движения воздуха; 5 — обратные потоки воздуха, входящие в зону аэродинамического следа; б — граница зоны аэродинамического следа; 7 — граница влияния здания на поток воздуха; 8 — вихреобразные потоки воздуха из зоны избыточного давления в зону разрежения

Рисунок 5 - Схема обтекания здания потоком воздуха

На наветренной стороне здания в зоне вихреобразования давление оказывается ниже атмосферного. Величина давления на фасадах здания определяется скоростью и направлением ветра и конфигурацией здания. Таким образом, в результате действия ветра возникает разность давления на противоположных фасадах здания. Помимо ветрового напора перепад давления снаружи и внутри здания формируется гравитационным напором, обусловленным разностью объемного веса наружного и внутреннего воздуха. Совокупность двух факторов воздействия наружной среды приводит к фильтрации наружного и внутреннего воздуха через открытые проемы и неплотности в ограждениях.

Разность парциального давления внутри и снаружи здания служит потенциалом переноса водяного пара. Диффузия водяного пара наиболее существенна в массивных ограждениях в холодное время года. Влажностный режим ограждений оказывает существенное влияние на их теплозащитные свойства и долговечность.

Нарушение нормальной влагопередачи приводит к накоплению влаги в толще ограждения и появлению на его внутренней поверхности плесени.

Наружный воздух, передаваемый в помещение системой вентиляции, оказывает непосредственное влияние на формирование параметров внутреннего микроклимата.

Так, **влажность наружного воздуха** в значительной мере определяет влажность внутреннего воздуха, если здание не оборудовано специальными системами увлажнения для холодного времени года и осушки воздуха в теплый период. Аналогично в теплый период года при отсутствии в здании системы охлаждения температура внутреннего воздуха прямо зависит от температуры наружного воздуха.