

Результати визначення температури теплоносія на вході до центрального теплового пункту зі зворотного трубопроводу опалювальної мережі подано на рис.4, з якого видно, що при утепленні зовнішніх огорожень будівель має місце зниження температури теплоносія майже на 20 °С, що помітно зменшуватиме теплову продуктивність теплообмінних апаратів першого ступеня водопідігрівної установки гарячого водопостачання.

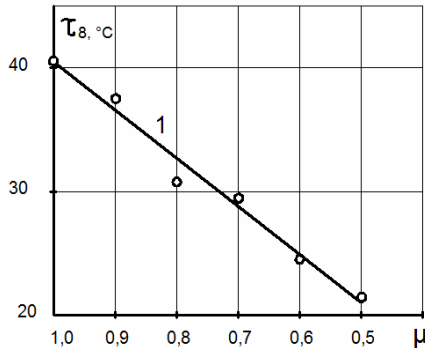


Рис.4 – Температура теплоносія на вході до першого ступеня водопідігрівної установки гарячого водопостачання.

- 1.Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. – М.: Энергия, 1979. –360 с.
- 2.Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 185 с.
- 3.Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.
- 4.Савиловский В.В., Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. – Харьков: Ватерпас, 1999. – 287с.
- 5.Маляренко В.А. Основы теплофизики будівель та енергозбереження. – Харків, 2006. – 484 с.

Отримано 15.12.2011

УДК 679.14

М.А.ОЛЕНЕЦ

Технологический университет «Свентокшинская политехника», г. Кельце (Польша)

ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ФАСАДЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗОМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК

Рассмотрены ограждающие конструкции с разомкнутой воздушной прослойкой. Выполнен анализ существующих методов расчета температуры воздуха в произвольном

сечения разомкнутой воздушной прослойки. Намечены пути дальнейших исследований с целью улучшения теплотехнических качеств ограждений.

Розглянуто огорожувальні конструкції з розімкнутим повітряним прошарком. Проведено аналіз існуючих методів розрахунку температури повітря в довільному перерізі розімкнутого повітряного прошарку. Визначено шляхи подальших досліджень з метою покращення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

In the article are considered the building envelope with an open air gap. An analysis of existing methods of calculating the temperature in any cross section of open air layer has been made. Ways of further studies to improve the thermal qualities of fencing have been defined.

Ключевые слова: разомкнутая воздушная прослойка, вентилируемый фасад, тепло-влажностный режим, балансные уравнения, параметры воздуха, температура.

Ограждающие конструкции с разомкнутой воздушной прослойкой достаточно широко распространены при строительстве зданий с эффективным использованием энергии. В таких зданиях воздушная прослойка служит для отвода влаги из ограждения, за счет чего улучшаются его теплотехнические свойства. Но с другой стороны, в зимний период, в результате интенсификации теплообмена в воздушной прослойке и низкой температуры воздуха в ней, отвод тепла из помещения увеличивается.

Снижение потерь тепла из помещения, при использовании ограждающих конструкций с вентилируемой воздушной прослойкой – одна из интереснейших проблем, которая в настоящее время привлекает исследователей.

Для оценки теплотехнических свойств ограждающих конструкций с разомкнутыми воздушными прослойками необходимо иметь достоверную методику расчета, особенностью которой является теплотехнический расчет разомкнутой воздушной прослойки.

Методика теплотехнического расчета разомкнутой воздушной прослойки приведена в классических учебниках [1, 2]. Существуют также более поздние публикации [3] и рекомендации по проектированию фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором [4].

Однако эти публикации и рекомендации не позволяют наметить путь дальнейших исследований для совершенствования ограждающих конструкций. В то же время можно предположить, что при более глубоком анализе процессов тепло- и массообмена в воздушной прослойке возможно создать ограждающую конструкцию с улучшенными теплотехническими свойствами.

Цель статьи – проанализировать существующие ограждающие конструкции с разомкнутой воздушной прослойкой и методы ее расчета, наметить пути дальнейших исследований, чтобы улучшить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций.

Конструкция ограждения с вентилируемой воздушной прослойкой

В общем случае вентилируемый фасад представляет собой конструкцию, которая состоит из следующих конструктивных элементов (рис.1):

- основной конструктивный слой (стена);
- слой теплоизоляции;
- элементы для крепления облицовочного слоя;
- облицовочный слой (экран).

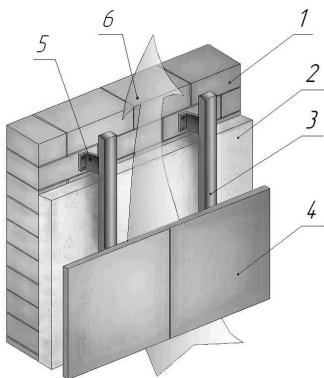


Рис.1 – Основные элементы ограждающей конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой: 1 – основной конструктивный слой (стена); 2 – слой теплоизоляции; 3 – направляющая рейка; 4 – облицовочный слой; 5 – кронштейн; 6 – поток воздуха в воздушной прослойке (стрелка указывает направление движения потока воздуха).

Основным конструктивным слоем вентилируемой ограждающей конструкции является наружная стена здания. Воздушный зазор находится между слоем теплоизоляции и облицовочными плитами. При монтаже слой теплоизоляции иногда покрывают специальной полимерной пленкой (паропроницаемой, водоотталкивающей мембраной). Она пропускает воду (водяные пары) и воздух только в одном направлении, что препятствует прониканию атмосферной влаги и возникновению явления продольной фильтрации воздуха в теплоизоляционном слое во время монтажа и эксплуатации здания. Паропроницаемая мембрана представляет собой гидроизоляционный слой, который не препятствует процессу диффузии водяных паров из помещения и предотвращает выветривание волокон теплоизоляционного материала. Необходимость наличия гидроизоляционного слоя в значительной мере зависит от вида теплоизоляционного материала (степени его гидрофобности, плотности). К тому же в процессе эксплуатации гидроизоляционный слой подвергается физическому износу, теряя свои первоначальные физико-механические свойства, и требует постоянного возобновления, что создает определенные трудности. Теплоизоляционный слой не является обязательным элементом конструкции, если теплотехнические свойства ограждающей конструкции обеспечиваются ее толщиной.

Системы фасадов с вентилируемым воздушным зазором различаются конструктивными особенностями, способами крепления облицовочных плит и материалом из которых изготавливаются те или иные элементы ограждающей конструкции.

Основные функции разомкнутой воздушной прослойки

Движение наружного воздуха в прослойке вдоль стены здания приводит к потерям теплоты на его нагрев, но в то же время воздух в зазоре будет увлажняться у поверхности наружной стены, предотвращая скопления конденсата. Это сохранит теплотехнические свойства ограждающей конструкции или теплоизоляционного слоя на наружной поверхности ограждения. При этом уменьшится расход теплоты на отопление помещений в холодный период года, снизится возможность образования грибков и плесени, что продлит срок службы конструкции.

В летний период года охлаждение стены в результате движения потока воздуха позволит уменьшить теплоступления в помещение и снизить затраты на кондиционирование воздуха, а также уменьшить температурные деформации материала основного слоя конструкции.

Кроме перечисленного выше, вентилируемый или навесной фасад, который включает воздушную прослойку, выполняет функцию защиты здания от погодного воздействия и механических повреждений. Защищает наружные ограждающие конструкции от воды, которая проникает в пористые материалы (внешний теплоизоляционный слой, песок, цемент) и попеременно то замерзая и расширяясь, то снова тая, создает и увеличивает трещины в конструкции, при изменении температур наружного воздуха в зависимости от периода года.

Возможность замены облицовочного слоя вентилируемого фасада позволяет увеличить срок службы ограждающих конструкций здания и длительный период сохранять их благоприятный архитектурно-художественный внешний вид.

Таким образом, разомкнутая воздушная прослойка совместно с облицовочным слоем выполняет следующие функции:

- энергосбережения (позволяет снизить затраты на кондиционирование воздуха в теплый период года, и за счет этого снизить капитальные затраты на строительство массивных стен и фундаментов);
- защитную (защищает конструкцию стены от погодных и механических воздействий, продлевая срок ее эксплуатации);
- эстетическую.

Кроме того, вентилируемый фасад может выполнять функцию звукоизоляции и поддается локальному ремонту. Все вышеизложенное свидетельствует о том, что вентилируемые конструкции являются достаточно перспективными.

К их недостаткам следует отнести дополнительные капитальные затраты на сооружение разомкнутой воздушной прослойки и несколько повышенный отток тепла в результате нагрева воздуха в прослойке.

Анализ методов расчета параметров температурного режима в разомкнутых воздушных прослойках

Существующие методы теплотехнического расчета разомкнутых воздушных прослоек позволяют количественно оценить отток теплоты в результате нагревания воздуха в воздушной прослойке. Зависимости, с помощью которых можно определить и проанализировать изменение температуры воздуха в произвольном сечении воздушного зазора, изложены в работах [1-3] и рекомендациях по проектированию [4]. В основе этих зависимостей лежит формула из источника [1].

Уравнение, с помощью которого можно определить температуру воздуха в воздушной прослойке получают на основании теплового баланса воздуха в воздушной прослойке. Часть теплового потока, который поступает из помещения к воздуху в вентилируемой прослойке, будет расходоваться на нагрев движущегося воздуха, другая часть – теряется в окружающую среду (рис.2).

$$Q_3 = Q_1 - Q_2, \quad (1)$$

где Q_3 – тепловой поток, который уходит на нагрев движущегося воздуха; Q_1 – тепловой поток, который поступает из помещения к воздуху в прослойке; Q_2 – тепловой поток, который уходит к наружному воздуху.

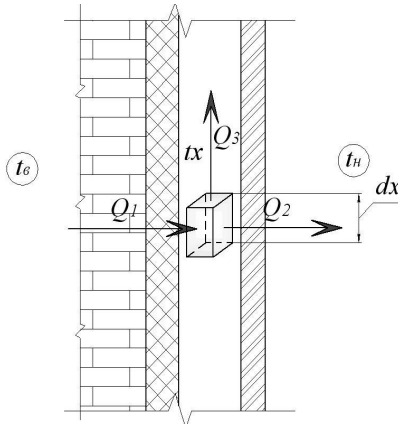


Рис.2 – Расчетная схема распределения теплового потока в конструкции с вентилируемой прослойкой (согласно [1])

Если выделить по длине прослойки бесконечно малый элемент dx

шириной 1 м, то количество тепла, которое передается от внутреннего воздуха к воздуху в прослойке

$$Q_1 = k_B(t_B - t_X)dx \cdot 1. \quad (2)$$

Количество тепла, которое передается от воздуха в прослойке к наружному воздуху

$$Q_2 = k_H(t_X - t_H)dx \cdot 1. \quad (3)$$

Количество тепла, которое расходуется на изменение температуры воздуха

$$Q_3 = Wcdt_X. \quad (4)$$

Подставив значения Q_1 , Q_2 и Q_3 в уравнение (1), получим дифференциальное уравнение, которое имеет вид:

$$Wcdt_X = k_B(t_B - t_X)dx - k_H(t_X - t_H)dx. \quad (5)$$

В уравнениях (2)-(4) t_X – температура воздуха в прослойке $t_X = f(x)$, x – координата; t_B, t_H – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха; k_B, k_H – коэффициенты теплопередачи от внутреннего воздуха к воздуху в прослойке и от воздуха в прослойке к наружному воздуху; W – расход воздуха; c – теплоемкость воздуха.

Неизвестной величиной в уравнении (5) является функция изменения температуры в зависимости от координаты, т.е. $t_X = f(x)$.

После интегрирования уравнения (5) имеем

$$t_X(k_B + k_H) - A = [t_0(k_B + k_H) - A] \cdot e^{-\frac{k_B + k_H}{Wc}x}, \quad (6)$$

где $A = k_B t_B + k_H t_H$.

В результате математических преобразований получена формула для определения температуры воздуха в прослойке на расстоянии x от места входа воздуха в прослойку

$$t_X = \frac{(k_B t_B + k_H t_H) + [t_0(k_B + k_H) - (k_B t_B + k_H t_H)] \cdot e^{-\frac{k_B + k_H}{Wc}x}}{k_B + k_H}, \quad (7)$$

где t_0 – температура воздуха входящего в воздушную прослойку.

Это уравнение получено В.Д. Мачинским и приведено в работе [1].

Мы повторили вывод этого уравнения с целью, чтобы глубже проанализировать упрощающие предпосылки, принятые при его выводе.

Данные вопросы рассматривались также в работе В.Н. Богословского [2]. Записанное им дифференциальное уравнение имеет несколько иной вид (8), а постановка задачи сводилась к тому, чтобы определить,

на каком расстоянии температура воздуха в прослойке будет практически неизменной.

$$(k_B + k_H)(t_{B.П.} - t_x)dx = Wcdt_x, \quad (8)$$

где $t_{B.П.}$ – некая неизменная температура воздуха, которую он принимает на определенном расстоянии, зависящая от условий передачи тепла через ограждение (при установившемся режиме теплопередачи).

$$t_{B.П.} = t_B - \frac{1}{k_B R_o} (t_B - t_H) = \frac{k_B t_B + k_H t_H}{k_B + k_H}. \quad (9)$$

После разделения переменных и интегрирования дифференциального уравнения (8) в заданном интервале получим

$$\begin{aligned} \int_0^x \frac{k_B + k_H}{cW} dx &= \int_{t_0}^{t_x} \frac{dt}{t_{B.П.} - t}; \\ \frac{k_B + k_H}{cW} x &= -\ln(t_{B.П.} - t_x) - \ln(t_{B.П.} - t_0); \\ \frac{k_B + k_H}{cW} x &= -\ln \frac{t_{B.П.} - t_x}{t_{B.П.} - t_0}; \\ \frac{t_x - t_{B.П.}}{t_0 - t_{B.П.}} &= e^{-\frac{k_B + k_H}{cW} x}. \end{aligned} \quad (10)$$

Откуда

$$t_x = t_{B.П.} - (t_{B.П.} - t_0) e^{-\frac{k_B + k_H}{cW} x}. \quad (11)$$

Уравнение (10) позволяет определить расстояние от входа воздуха в прослойку до момента, когда температура воздуха по длине прослойки станет неизменной (т.е. $t_x \approx t_{B.П.}$).

При подстановке значения $t_{B.П.}$ из (9)

$$t_x = \frac{k_B t_B + k_H t_H}{k_B + k_H} - \left[\frac{k_B t_B + k_H t_H}{k_B + k_H} - t_0 \right] \cdot e^{-\frac{k_B + k_H}{cW} x}. \quad (12)$$

В результате некоторых математических преобразований уравнение (12) принимает вид уравнения (7):

$$t_x = \frac{(k_B t_B + k_H t_H) + [t_0(k_B + k_H) - (k_B t_B + k_H t_H)] \cdot e^{-\frac{k_B + k_H}{Wc} x}}{k_B + k_H}.$$

Анализируя существующие уравнения для определения температуры воздуха в воздушной прослойке, можно сделать вывод, что они являются несколько приближенными и не учитывают ряд факторов.

Прежде всего, это относится к определению коэффициентов теплопередачи, в частности к оцениванию коэффициентов теплообмена в воздушной прослойке. При определении коэффициента теплопередачи, лучисто-конвективный теплообмен у одной и второй поверхности воздушной прослойки учитывают с помощью суммарного коэффициента теплообмена. В то же время лучистый и конвективный теплообмен – это совершенно разные физические процессы, которые, на наш взгляд, нельзя объединять. На основании существующих уравнений невозможно проанализировать, каким будет соотношение конвективного и лучистого тепловых потоков в воздушной прослойке. Автор работы [1] оставляет вопрос определения коэффициентов теплоотдачи внутренней и наружной поверхности воздушной прослойки на усмотрение читателей, в методе же, изложенном в [2], автор совсем пренебрегает лучистой составляющей теплообмена между поверхностями прослойки при определении k_B и k_H , учитывая лишь конвективную составляющую.

Не представляется возможным ответить также на вопрос, как будет влиять степень черноты той или иной поверхности, ограничивающей воздушную прослойку, на изменение температуры воздуха в ней.

Таким образом, для повышения теплотехнических качеств ограждающих конструкций с разомкнутой воздушной прослойкой необходимо провести дополнительные исследования, цель которых – разработать математическую модель процессов теплообмена в воздушной прослойке при раздельном рассмотрении лучистого и конвективного теплообмена. Это даст возможность глубже проанализировать процессы теплообмена в воздушной прослойке и наметить пути совершенствования ограждающих конструкций.

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – 4-е изд. – М.: Стройиздат, 1973. – 278 с.

2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.

3. Гагарин В.Г. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, Е.Ю. Цыкановский // Журнал АВОК. – 2004. – №2. – С.20-26.

4. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г.Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором "СЕМ-СИСТЕМА". – М.: Москомархитектура, 2005.

Получено 19.12.2011