

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Гнездилова О.А., Кобелева О.Ю., Щедрин П.Ю., Кобелев В.Н.
 Научный руководитель – доцент Щедрина Г.Г.

Юго-Западный государственный университет

Как показывает анализ аварий в 2001-2010 гг. около 17 % разрушений строительных сооружений связано с повышенной влажностью и последующей конденсацией водяного пара из воздуха помещений на поверхности железобетонных, металлических, деревянных и кирпичных конструкций. Одной из причин внезапного разрушения потолочных перекрытий может быть интенсивная коррозия и размягчение соединительных швов в результате образования застойных (недостаточно вентилируемых) зон на поверхности конструкций.

В настоящее время как естественная, так и искусственная вентиляция воздушных прослоек строительных конструкций осуществляется насыщенным капле- и паробразным необработанным воздухом, забираемым из помещения или окружающей среды. Это, в общем-то, обеспечивает задаваемые стандартами условия эксплуатации при нормированной относительной влажности 55-70 % вентилируемого воздуха. Однако, как показали многолетние исследования, при вентилируемом воздухе с относительной влажностью около 100 %, и, особенно, при наличии в нем капельной влаги, наблюдается процесс не удаления влаги из воздушной полости, а наоборот – накопления влаги, причем наиболее интенсивно в местах с ламинарным течением пограничного потока.

Нами разработано новое научное направление, заключающееся в очистке от капельной влаги и последующей осушке вентилируемого воздуха до относительной влажности 55-70 %. Предлагается принципиальная схема воздушного фильтра, устанавливаемого на всасывающем патрубке устройства по производству вентилируемого воздуха, осуществляющего его обработку посредством испарительного охлаждения на пористой перегородке.

Оригинальное конструктивное выполнение воздушного фильтра обеспечивает более полный отбор из движущегося потока всасываемого атмосферного воздуха теплоты, идущей на испарение капельной влаги, что приводит к максимально возможному снижению его температуры.

Смесь всасываемого атмосферного воздуха и капельной влаги внезапно расширяется на выходе из суживающегося сопла и ударяется об отражательную пористую перегородку, образуя пограничный слой с «пятном» испаряющейся жидкости.

Исследуем влияние процесса испарения жидкости в пограничном слое, омывающем отражательную перегородку, на температуру обрабатываемого всасываемого воздуха. Обозначим массовый расход смеси обрабатываемого воздуха $M_{\text{вв}}$, его температуру $T_{\text{вв}}$, энтальпию, отнесенную к массе сухого воздуха $h_{\text{св}}$, массовый расход сухого воздуха $m_{\text{с}}$, массосодержание парожидкостного компонента $d_{\text{вв}}$, парового $d_{\text{вп}}$, жидкостного $d_{\text{вж}}$, которые связаны между собой соотношением

$$M_{\text{вв}} = m_{\text{с}}(1 + d_{\text{вв}}) \text{ и}$$

$$d_{\text{вв}} = d_{\text{вп}} + d_{\text{вж}} = \frac{d_{\text{п}}}{m_{\text{с}}} + \frac{d_{\text{ж}}}{m_{\text{с}}}, \quad (1)$$

Усредненная температура смеси всасываемого воздуха после внезапного расширения на выходе из суживающегося сопла может превышать температуру насыщения пара $T_{\text{вв}}''$ при его парциальном давлении $P_{\text{вв}}''$, тогда полный поток состоит из компонентов сухого воздуха и пара ($d_{\text{вв}} = d_{\text{вн}}$ и $d_{\text{вжс}} = 0$), и может быть равна температуре насыщения, тогда $d_{\text{вв}} = d_{\text{вн}} + d_{\text{вжс}}$. В пограничном слое, омывающем отражательную перегородку, наблюдается смешивание тепловых потоков: всасываемого воздуха, теплоты испарения и конденсации. В установившемся режиме тепломассообмена температура жидкости $T_{\text{жс}}$ будет соответствовать температуре холодного потока $T_{\text{вв}}^x$.

В начальный момент удара мелкодисперсных капель об отражательную перегородку температура жидкости $T_{\text{жс}}$ будет больше температуры $T_{\text{вв}}$ влажного воздуха. Вследствие теплопередачи испарения температура жидкости снижается, т.е. происходит нестационарный процесс испарения. Через некоторое время температуры жидкости и влажного воздуха уравниваются, тогда согласно известному уравнению:

$$q_{\text{ис}} = \alpha_{\text{ср}} (T_{\text{жс}} - T_{\text{вв}}), \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ - удельный коэффициент теплоотдачи конденсатно-испарительного процесса, Вт/м²К.

Теплоотдача прекратится, но процесс испарения продолжается, что приводит к дальнейшему понижению температуры жидкости, т.е. $T_{\text{жс}} < T_{\text{вв}}$. Жидкость начинает получать тепло от влажного воздуха, процесс испарения замедляется, так как $P_{\text{ни}}$ и $\Delta P = P_{\text{ни}} + P_{\text{нвв}}$ будут уменьшаться, а теплоотдача будет увеличиваться. Эти изменения происходят до тех пор, пока при некоторой температуре жидкости $T_{\text{жс}} = T_{\text{м}}$ установится динамическое равновесие между подводом тепла конвективной теплоотдачей и отводом тепла испарением и последующей диффузией. Следовательно, дальнейшее испарение жидкости происходит за счет полученного теплоотдачей тепла от влажного воздуха, при этом

$$\alpha_{\text{ср}} = (T_{\text{вв}} - T_{\text{у}}) = r\beta_p \cdot (P_{\text{вв}} - P_{\text{ни}}), \quad (3)$$

где β_p - коэффициент массоотдачи, отнесенной к разности парциальных давлений,

$$\beta_p = \frac{D}{dk} Nu_D \cdot S_p, \quad (4)$$

где Nu_D - критерий Нуссельта, характеризующий теплообмен наряду с массообменом

$$Nu_D = 4,55 \times 10^{-3} \cdot Re^{0,8} \cdot K^{0,4}_k, \quad (5)$$

где K_k - критерий Кутателадзе

$$K_k = \frac{r}{c_{\text{ржс}}(t_{\text{жс}} - t_{\text{вв}})}. \quad (6)$$

Тогда при $C_p = \text{const}$ имеем температуру смеси влажного воздуха после процесса конденсатно-испарительного тепломассообмена

$$T'_{\text{см}} = \frac{g_1 c_{\text{рвв}} T_{\text{вв}} + g_2 c_{\text{пу}} T_{\text{у}}}{g_1 c_{\text{рвв}} + g_2 c_{\text{пу}}}. \quad (7)$$

В результате проведенных теоретических исследований сделан вывод, что степень снижения температуры всасываемого воздуха в воздушном фильтре в процессе конденсатно-испарительного теплообмена на отрагательной пористой перегородке, определяется соотношением тепловлажностных параметров атмосферной среды.

Воздушный фильтр устройства по производству вентилируемого воздуха работает следующим образом. Атмосферный воздух поступает через сетку 1 во входное отверстие 2 суживающегося сопла 3, где, в результате образования воронки, закручивается с каплеобразными частичками. Это способствует их коагуляции и частичной конденсации соприкасающихся с укрупненными каплями паров влаги. Смесь атмосферного воздуха с каплеобразной влагой окружающей среды, внезапно расширяясь, ударяется об отрагательную пористую перегородку 5. Внезапное расширение сопровождается снижением скорости обрабатываемого потока атмосферного всасываемого воздуха, т.е. происходит эффект Джоуля Томпсона. Термодинамически расслоенный в суживающемся сопле 3, атмосферный всасываемый воздух представляет собой два потока: «холодный» - осевой, насыщенный мелкодисперсной влагой и «горячий» - периферийный, насыщенный твердыми загрязнениями (например, пылью) и крупнодисперсной жидкостью в случае наличия в окружающей фильтр среде дождя или тумана.

«Холодный» поток ударяется о пористую пластину 6 отрагательной перегородки 5 и мелкодисперсная жидкость, имеющая температуру «холодного» потока, заполняет поры пластины 6, задерживаясь пластиной 7, и образует пятно жидкости. Последующий контакт пятна жидкости с влажным воздухом, имеющим усредненную температуру, превышающую температуру жидкости в порах пластины 6 отрагательной перегородки 5, приводит к ее испарению. В результате наблюдается дополнительный отбор тепла от атмосферного всасываемого воздуха в корпусе фильтра 8.

После удара об отрагательную перегородку неиспарившиеся капли мелкодисперсной жидкости под воздействием силы тяжести выпадают из движущегося потока в коническое днище 9, где накапливаются и, воздействуя на поплавок-конденсатор 10, выбрасываются из корпуса воздушного фильтра 8.

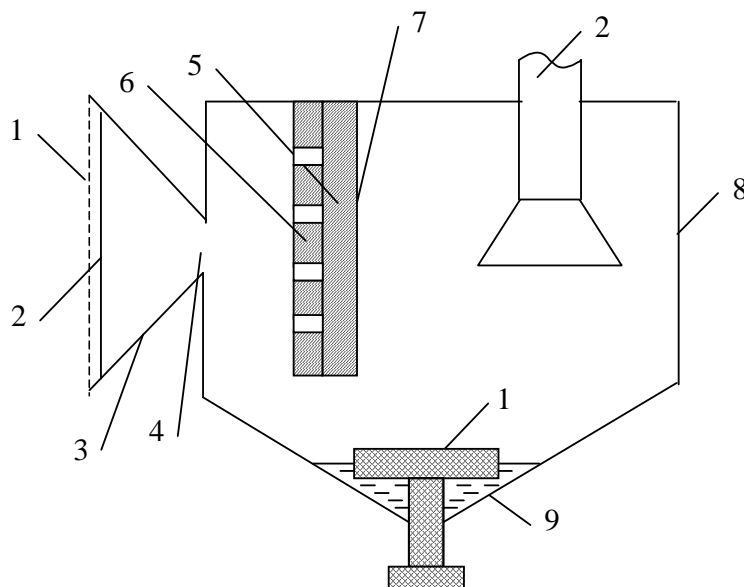


Рис. 1 – Воздушный фильтр

Очищенный от каплеобразной влаги и частично осушенный до нормированной относительной влажности вентилируемый поток в воздушных полостях устраняет возможность увлажнения элементов строительных конструкций, обеспечивая в процессе длительной эксплуатации поддержание их нормированных прочностных параметров.