

# Влияние городской среды на образование конденсата в воздушной прослойке вентилируемых фасадов



В настоящее время, благодаря использованию конструкций вентилируемых фасадов, позволяющих использовать отделочные плитки и панели различных фактур, цветов и оттенков, многие здания приобретают выразительность и красоту. Конструкции вентилируемых фасадов, устраиваемых при строительстве новых зданий или при реконструкции существующих, придают городу современный стиль и архитектурную выразительность, органически вписываются в традиционную застройку городского ансамбля и создают особый архитектурный колорит

Автор статьи: Н. П. Умнякова, кандидат технических наук, доцент МГСУ

Для оценки теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций с вентилируемым фасадом существенный интерес представляют условия их эксплуатации в зимнее время. Особенно следует обратить внимание на периоды с резкими колебаниями температуры наружного воздуха и их переходы через нулевую отметку. Для многих районов России типичным климатическим фактором является периодическое вторжение масс холодного арктического воздуха, приводящее к резкому понижению температуры наружного воздуха, чередующееся с поступлением масс теплого воздуха, вследствие чего происходят резкие колебания температуры. Она изменяется от минусовой к плюсовой, а затем от плюсовой к минусовой.

Количество переходов через ноль на территории России показаны на рис. 1. Колебания температуры наружного воздуха в зимнее время приведены для некоторых городов России в табл. 1. [1, 2]. В таблице также даются максимальные амплитуды колебания температуры по наиболее хо-

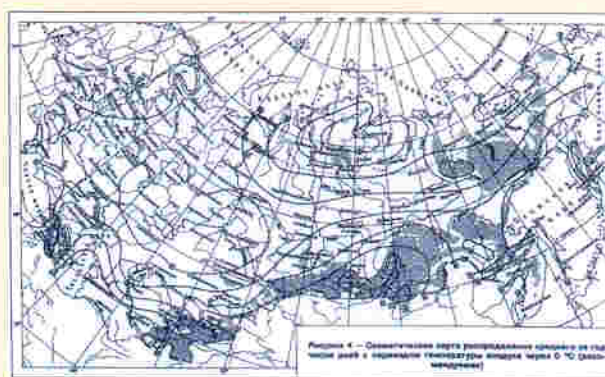


Рис. 1. Схематическая карта распределения среднего за год числа дней с переходом температуры воздуха через 0°C

лодным месяцам.

## Анализ таблицы 1

Как видно из таблицы, среднее за год число переходов температуры наружного воздуха через ноль колеблется от 50 до 70. В различных городах России значение максимальной амплитуды колебаний температуры в ноябре – марте составляет  $\Delta \max_{\text{тн}} = 13 - 40^\circ\text{C}$ , а ее среднее значение колеблется в пределах  $20 - 30^\circ\text{C}$ .

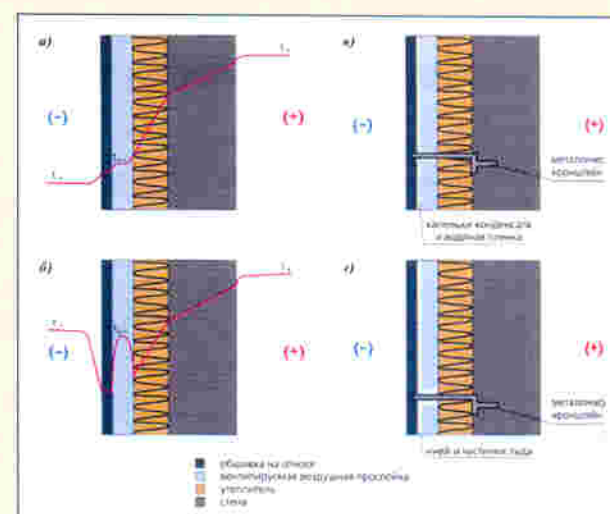


Рис. 2. Схема колебаний температуры воздуха в воздушной прослойке вентфасада

а – характер распределения температуры в стене; б – характер распределения температуры при резких колебаниях температуры наружного воздуха; в – образование конденсата в виде капель и водяной пленки на поверхности облицовки и кронштейнов; г – образование конденсата в частицы льда и инея на поверхности облицовки и кронштейнов

→ ТАБЛ. 1 КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Город	Среднее за год число дней перехода температуры наружного воздуха через 0°C	Максимальная амплитуда колебаний температуры по месяцам, °C				
		ноябрь	декабрь	январь	февраль	март
Москва	65	12,9	24,4	22	21,2	19,2
Екатеринбург	60	20	23,2	22	21,7	24
Кемерово	70	26,9	27,7	29	39,9	24,7
Хабаровск	50	35,8	20,2	17,5	19,6	27,8



Город	Загрязняющие вещества
Владивосток	Взвешенные вещества, $SO_2$ , $CO$ , $NO_2$ , $NO$ , $H_2S$ , сульфаты растворимые, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, формальдегид
Красноярск	Взвешенные вещества, $SO_2$ , $CO$ , $NO_2$ , $NO$ , $H_2S$ , $NH_3$ , $Cl_2$ , $HCl$ , сульфаты растворимые, формальдегид, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, бензол, ксилол, толуол, этилбензол
Москва	Взвешенные вещества, $SO_2$ , $CO$ , $NO_2$ , $NO$ , $H_2S$ , $NH_3$ , $HCl$ , формальдегид, фенол, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, бензол, ксилол, толуол
Ростов-на-Дону	Взвешенные вещества, $SO_2$ , $CO$ , $NO_2$ , $NO$ , $H_2S$ , $NH_3$ , $HF$ , сульфаты растворимые, формальдегид, фенол, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, фториды, сажа

Резкие перепады наружной температуры воздуха (от минусовой к плюсовой и наоборот) приводят к тому, что колебания температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке вентфасада соответствуют колебаниям наружного воздуха. На рис. 2 показан характер изменения температуры в конструкции вентилируемого фасада при резком изменении температуры наружного воздуха от отрицательной  $t_n$  (рис. 2а) к положительной  $t_n'$  (рис. 2б).

Резкие колебания температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке вентфасада при некоторых сочетаниях температуры и парциального давления приводят к полному насыщению воздуха. Конденсация на поверхности происходит, когда парциальное давление ненасыщенного и насыщенного водяного пара сравнивается между собой и температура поверхности ниже температуры насыщенного пара при данном давлении.

При этом вначале на охлажденной поверхности происходит капельная конденсация, когда при положительных температурах образуются капельки конденсата, которые затем превращаются в водяную пленку (рис. 2в), а при отрицательных температурах – в иней и частички льда (рис. 2г).

## Анализ таблицы 2

Как видно из таблицы, выбросы аэрозолей и различных газов, происходящие в настоящее время, значительно ухудшают атмосферу городов. К сожалению, мало надежды, что в ближайшее время количество выбросов уменьшится и атмосферный воздух в городах станет чище, несмотря на то, что проводятся работы по его очистке от загрязняющих веществ.

В атмосферном воздухе всегда содержится некоторое количество влаги в газообразном состоянии. При повышении влажности воздуха, изменении его температуры в воздухе образуются мельчайшие капельки влаги, в которых растворяются частицы загрязняющих веществ, образуя растворы кислот, часто высокой концентрации. Эти растворы, осаждаясь на поверхностях строительных конструкций, в том числе на металлических элементах

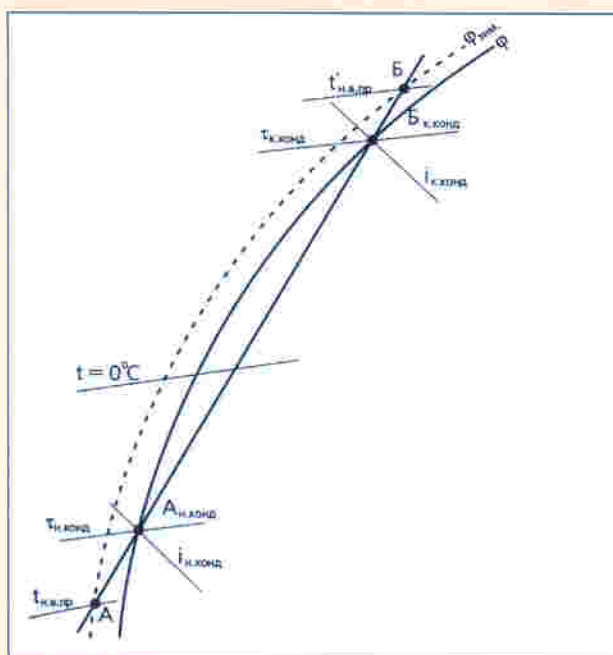


Рис. 3. Определение конденсации на поверхности, вентилируемой воздушной прослойке при резких колебаниях температуры наружного воздуха

вентилируемых фасадов, вызывают интенсивную коррозию, протекающую по механизму электрохимической.

Важным фактором, влияющим на эксплуатационные характеристики конструкций вентилируемых фасадов, являются резкие колебания температуры наружного воздуха и их переходы через нулевую отметку, особенно в условиях загрязненной воздушной среды.

Определим расчетным путем, какое ко-

личество конденсата будет образовываться на поверхности фасадной облицовки на отnose, обращенной в вентилируемую воздушную прослойку, и металлических крепежных элементах. В системе координат I-d диаграммы (рис.3) находим точки А и В по температурам  $t_{n,вп}$  и  $t'_{n,вп}$  и относительной влажности  $\varphi_{зипм}$  и через них проведем прямую линию, которая будет пересекаться с кривой относительной влажности равной 100%. Область конденсации на диаграмме расположена ниже кривой  $\varphi = 100\%$  и соответствует насыщенному водяными парами воздуху, а выше этой кривой – ненасыщенному водяными парами воздуху. Из графика видно, что при резком повышении температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке от  $t_{n,вп}$  до  $t'_{n,вп}$  можно определить начало и конец конденсации на поверхности в точках  $A_{н,конд}$  и  $B_{к,конд}$ , находящихся на пересечении с температурной прямой и относительной влажности. Так начало конденсации в точке  $A_{н,конд}$  характеризуется температурой  $T_{н,конд}$ , энтальпией  $i_{н,вп}$  и влагосодержанием  $d_{н,вп}$ , в точке  $B_{к,конд}$  – температурой  $T_{к,конд}$ , энтальпией  $i_{к,вп}$  и влагосодержанием  $d_{к,вп}$ .

Количество конденсирующегося водяного пара  $G_{конд}$ , г/ч, образовавшегося в вентилируемой воздушной прослойке с учетом теплоты парообразования  $r$ , кДж/кг, разности энтальпии конца и начала конденсации температурой  $T_{н,конд}$ , энтальпией  $i_{н,вп}$  и влагосодержанием  $d_{н,вп}$ ,  $- i_{н,вп}$ , кДж/кг, и количества тепла, образующегося при образовании конденсата  $\alpha_{вп}$ ,  $(T_{к,конд} - T_{н,конд})$ , Вт, можно определить:

$$G_{конд} = 3598 \frac{\alpha_{вп} (T_{к,конд} - T_{н,конд}) F}{r + (i_{к,конд} - i_{н,конд})} \text{ г/час.}$$

Где  $\alpha_{вп}$  – коэффициент теплообмена у поверхности облицовки, обращенной в вентилируемую воздушную прослойку, Вт/м<sup>2</sup>·°C; 3598 – переводной коэффициент;  $T_{к,конд}$ ,  $T_{н,конд}$  – определяются по I-d диаграмме;  $F$  – площадь поверхности облицовки, м<sup>2</sup>.

В вентилируемую воздушную прослойку через приточные отверстия [3] поступает воздух с температурой  $0,95 t_n$  и относи-

## → ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Следует отметить, что растущей современной инфраструктуре городов сопутствует более высокое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Поступление различных химических веществ от промышленных объектов и, главным образом, отработанных газов от автомобильного транспорта резко ухудшают атмосферу. Концентрация загрязняющих веществ часто приближается к биологически опасному пределу не только для людей, животных и растений, но и строительных конструкций, что вызывает интенсивную коррозию металла. В атмосфере городов присутствуют различные загрязняющие вещества.



тельной влажностью  $\Phi_{\text{внм}}$ . Состав воздуха определяется следующими условиями:

- количеством влаги в виде водяного пара, поступающего в результате диффузии через конструкцию наружной стены;
- наличием в воздухе различных аэрозолей.

Для определения количества влаги, выпадающей в виде конденсата на поверхности конструкций в вентилируемой воздушной прослойке, по I-d диаграмме определим угловой коэффициент процесса  $\epsilon$  как отношение количества тепла и влаги, поступающих с поверхности стены в прослойку (рис. 4). На I-d диаграмме построим луч изменения тепловлажностного состояния воздуха

$$\epsilon = \frac{3,6 Q}{W}$$

Координаты точки А характеризуют параметры температуры и относительной влажности при поступлении воздуха в воздушную прослойку вентфасада (на притоке), а координаты точки В – параметры температуры и относительной влажности воздуха на выходе из воздушной прослойки (на вытяжке). Рассмотрим изменение состояния воздуха в точке В, параметры которой зависят от ранее перечисленных условий. На I-d диаграмме из точки В проводим прямую линию, параллельную лучу процесса  $\epsilon$ , до пересечения с кривой относительной влажности  $\Phi = 100\%$  и обозначим точкой В.

Количество пара, поступающего в вентилируемую прослойку с поверхности стены, колеблется от 0,002 до 0,005 г/ч. Приращение по влагосодержанию составит величину  $\Delta d_{\text{пар}}$ , которая будет изменяться в пределах от 0,01 до 0,02 г/кг.

В городском воздухе содержатся различные химические соединения, являющиеся выбросами от промышленных предприятий и автомобильного транспорта, в виде мельчайших твердых частиц, взвешенных в воздухе аэрозолей. Размеры частиц в аэрозолях могут составлять 10-7 см. Эти аэрозоли вместе с наружным воздухом по-

## → ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО КОНДЕНСАТА

Образование аэрозольного конденсата на элементах крепления, особенно если строительные работы выполнены недостаточно качественно, может привести к интенсивной коррозии, а затем и разрушению навесных вентилируемых фасадов. Исследования, проведенные В. Г. Гагариным в НИИ Строительной физики по расчету температурных полей с учетом теплопроводных включений показали, что в вентилируемой воздушной прослойке температура на поверхности крепежных металлических элементов может быть ниже температуры поверхности фасадной облицовки. В этих условиях аэрозольная конденсация особенно негативно будет влиять на металлические элементы, имеющие высокие коэффициенты теплопроводности – у стали 50 Вт/м<sup>2</sup>°С, у алюминия 221 Вт/м<sup>2</sup>°С.

К этому необходимо добавить, что образование конденсата в зоне ниже нулевой изотермы будет начинаться раньше, чем в зоне положительных температур. Характер образования конденсата при положительных температурах в вентилируемой воздушной прослойке на поверхности фасадной облицовки и крепежных кронштейнов представлены на рис. 2в, а при отрицательных – на рис. 2в.

ступают в вентилируемую воздушную прослойку. При резком изменении температуры воздуха в воздушной прослойке, при соответствующем парциальном давлении насыщенного водяного пара на охлажденных поверхностях конструкции вентфасада происходит аэрозольная конденсация. Приращение влагосодержания в воздушной прослойке от аэрозолей составит  $\Delta d_{\text{аэр}}$  порядка 0,29 – 0,31 г/кг. Если сложить приращение влагосодержания  $\Delta d_{\text{пар}}$  и  $\Delta d_{\text{аэр}}$ , то получится общее приращение влагосодержания  $\Delta d_{\text{общ}}$  (рис.4). На прямой ВВ из точки В отложим  $\Delta d_{\text{общ}}$  и получим точку С, через которую будет проходить искомая кривая относительной влажности, характеризующая начало конденсации. Ее относительная влажность в зависимости от количества и вида аэрозолей может изменяться от 90 - 95%.

Полученное приращение влагосодержания  $\Delta d_{\text{общ}}$ , по аналогии с предыдущим, приведет к изменению координат точки А. Так, в качестве расчетных параметров вместо точки А следует использовать точку Д (рис. 4). Точки С и Д будут лежать на одной кривой влажности воздуха.

Если в зоне положительных температур начало конденсации определяется кривой относительной влажности, учитывающей влияние аэрозолей и дополнительное поступление водяного пара, то в зоне отрицательных температур из-за разного насыщения водяного пара надолгом и водой будет наблюдаться обра-

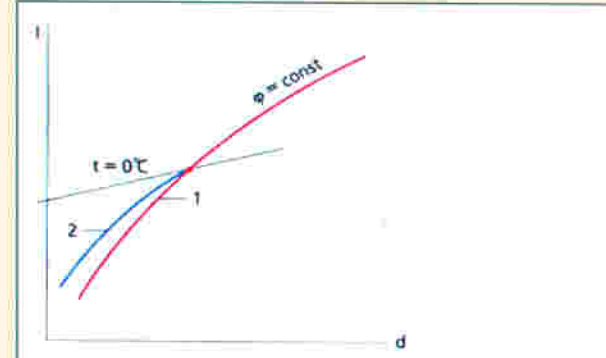


Рис. 5. I-d диаграмма в области минусовых температур:

- 1 – кривая относительной влажности с аэрозолями в капельно-жидком состоянии;
- 2 – кривая относительной влажности с частицами льда и инея

зование инея или частичек льда (рис. 5). Теплосодержание воздуха ниже изотермы  $t = 0^\circ\text{C}$  и кривой относительной влажности  $\Phi = \text{const}$ , содержащего в смеси капельножидкую влагу и влагу будет больше теплосодержания насыщенного воздуха, содержащего частицы инея и льда. На I-d диаграмме от нулевой температуры на кривой относительной влажности показано, что конденсация, при прочих равных условиях, будет наступать при более низких значениях относительной влажности. Как видно, пунктирная кривая характеризует кривую относительной влажности, соответствующую образованию конденсата.

В вентилируемых воздушных прослойках находятся элементы подблицовочных конструкций. Они воспринимают основные статические и динамические нагрузки, обеспечивают необходимую ширину вентиляционного зазора между утеплителем и защитной облицовкой. Большое значение придается несущей способности кронштейнов, когда возникают резкие порывы ветра и возрастают силовые нагрузки. Для подблицовочной конструкции используют элементы из алюминия, нержавеющей и оцинкованной стали. Кронштейны крепятся к стене специальными анкерными элементами. Крепеж элементов друг к другу осуществляется заклепками, болтами, винтами, гайками и пр.

При определенных колебаниях температуры наружного воздуха образовавшийся в воздушной прослойке конденсат в виде льда и инея может забить приточные и вытяжные отверстия и вызвать появление сосулек на наружной поверхности фасада.

### Библиографический список.

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.:1999. – с.65.
2. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М.:1983. – с.52-67
3. Качество воздуха в крупных городах России за 10 лет. СПб.: Гидрометеопиздат, 1999 г.
4. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М.: 2002. – с.56.

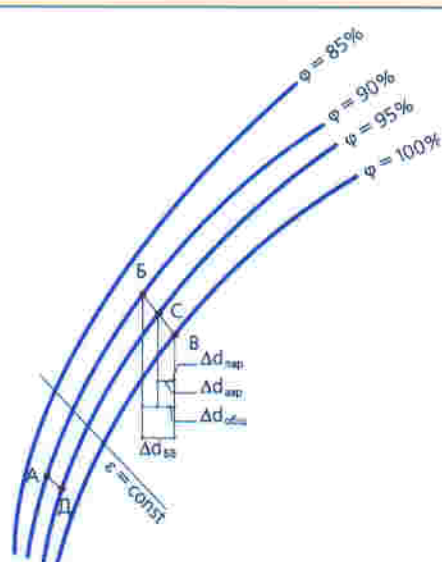


Рис. 4. Схема протекания процесса в вентилируемой воздушной прослойке