

УДК 697

ОЦЕНКА ВОЗДУХООБМЕНА, ТРЕБУЕМОГО ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ХОЛОДНЫХ ЧЕРДАКОВ

А.С. ГОРШКОВ, канд. техн. наук, директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; А.Ю. ДАДЧЕНКО, президент Национального кровельного союза; В.Я. ОЛЬШЕВСКИЙ, зав. лабораторией кафедры гидравлики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; П.П. РЫМКЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры физики Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского

Ключевые слова: кровля, чердачное перекрытие, карниз, снег, наледи, температурно-влажностный режим, теплоизоляция, теплопотери, уравнение теплового баланса, энергосбережение, энергетическая эффективность

Keywords: roofing, attic floor, cornice, snow, ice dams, temperature and humidity conditions, insulation, heat loss, equation of heat balance, energy conservation, energy efficiency

В статье представлены рекомендации по устранению причин образования ледяных дамб на крышах зданий с холодным чердаком и скатной кровлей в отопительный период эксплуатации. Более подробно рассмотрен случай расчета требуемого воздухообмена помещений холодного чердака без теплоизоляции строительных конструкций, ограждающих чердак от помещений или инженерных коммуникаций как источников поступления тепла.

В работах [1-4] подробно рассмотрены причины образования ледяных дамб и наледей на карнизных свесах жилых зданий со скатной кровлей и холодным чердаком, а также конструктивные решения по предотвращению наледей на крышах зданий. Подробно рассмотрены условия, необходимые и достаточные для их предотвращения. Комплекс рекомендуемых мероприятий включает:

- утепление всех ограждающих конструкций, отделяющих холодный чердак от помещений или инженерных систем с более высокой температурой (жилых, лестничных клеток, вентиляционных каналов);
- утепление трубопроводов системы отопления, проложенных на чердаке (при наличии);
- обеспечение воздухообмена путем устройства приточных и вытяжных отверстий (продухов), обеспечивающих теплосъем за счет постоянного притока холодного воздуха на чердак.

Данный перечень рекомендуемых мероприятий является исчерпывающим, т.к. при правильно подобранных параметрах, входящих в уравнение теплового баланса холодного чердака, в совокупности позволяет выполнить условие, обозначенное в Правилах [5]:

$$t_g^u - t_n \leq 2 - 4 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где t_g^u – температура воздуха на чердаке, $^\circ\text{C}$; t_n – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Как видно, в Правилах и нормах технической эксплуатации жилищного фонда [5] условие (1) выражено неопределенно: допускает диапазон значений требуемого температурного перепада. По этой причине при составлении уравнения теп-

лового баланса следует учитывать обеспечение как нижней (температурный перепад не более 2°C), так и верхней (температурный перепад не более 4°C) границы условия (1).

Методика расчета

Уравнение теплового баланса холодного чердака можно представить в следующем виде [1-4]:

$$\begin{aligned} (t_g - t_g^u) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + \sum_{j=1}^n (q_{pj} \cdot l_{pj}) = \\ = (t_g^u - t_n) \cdot \sum_{k=1}^n \left(\frac{A_k^-}{R_k^-} \right) + 0,28 \cdot V_q \cdot n_q \cdot (t_g^u - t_n), \end{aligned} \quad (2)$$

где t_g – температура внутреннего воздуха в помещениях верхнего этажа здания, $^\circ\text{C}$ (принимается согласно требованиям ГОСТ 30494 – для жилых и общественных зданий, ГОСТ 12.1.005 – для производственных зданий, или определяется инструментально в процессе проведения натурных измерений температуры внутреннего воздуха в эксплуатируемых помещениях); t_g^u – то же, что и в уравнении (1), $^\circ\text{C}$; A_i^+ , R_i^+ – соответственно, площадь, м^2 , и сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$, i -го участка ограждения между отапливаемыми в здании помещениями и помещениями холодного чердака (чердачное перекрытие, стены вентканалов, перегородки между чердачными помещениями и помещениями лестничных маршей и пр.); q_{pj} – линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящаяся на 1 п.м. длины трубопровода j -го диаметра с учетом теплопотерь через изолированные опоры, фланцевые соединения и арматуру, $\text{Вт}/\text{м}$ (для чердаков и подвалов значения q_{pj} в зависимости от условного диаметра трубопровода и средней температуры теплоносителя приведены в табл. 12 СП 23-101); l_{pj} – длина трубопровода j -го диаметра, м (для эксплуатируемых зданий принимается по фактическим данным); t_n – то же, что и в уравнении (1); A_k^- , R_k^- – соответственно, площадь, м^2 , и приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$, k -го участка наружных ограждающих конструкций чердачных помещений (покрытие, наружные стены, заполнения оконных проемов при наличии); V_q – объем внутрен-

него пространства холодного чердака, m^3 ; n_a — кратность воздухообмена в помещениях холодного чердака, $ч^{-1}$.

Существует предположение, что при реконструкции крыши достаточно установить приточные и вытяжные продухи в нижней и верхней частях крыши — и проблема образования наледей исчезнет сама собой. Рассмотрим на примере конкретного жилого объекта, построенного в Санкт-Петербурге в начале XX века (рис. 1), какой требуется при этом воздухообмен (n_a) для обеспечения условия (1).



Рисунок 1. Объект исследования — жилой дом в Санкт-Петербурге

Описание объекта исследования

Жилой многоквартирный дом, представленный на рис. 1, представляет собой здание, выполненное из глиняного полнотелого кирпича толщиной 510 мм (2 кирпича), оштукатуренное снаружи известково-песчаной штукатуркой.

Здание представляет собой типовой доходный дом постройки начала XX века в одном из спальных районов Санкт-Петербурга. Четырехэтажное строение со скатной крышей и холодным чердаком, бесподвальное.

На чердаке проложены трубопроводы системы отопления. Чердачное перекрытие выполнено из бетонных плит,



Рисунок 2. Карнизные приточные продухи



Рисунок 3. Слуховое окно



Рисунок 4



Рисунок 5



Рисунок 6. Вытяжные отверстия (вид со стороны крыши)

на которые сверху (со стороны чердака) засыпан шлак толщиной 18-22 см. Кровельное покрытие — стальное, оцинкованное толщиной 0,5 мм.

По периметру крыши выполнены приточные продухи (рис. 2) шириной от 5 до 7 см.

Для вентиляции чердака также используются два слуховых окна (рис. 3).

Вытяжные отверстия представлены цилиндрическими флюгарками (рис. 4, 5), расположенными в шахматном порядке по обе стороны конька крыши (рис. 6).

Площади ограждающих конструкций

Площади ограждающих конструкций (A_i^+), через которые тепловой поток в отопительный период поступает на чердак, составляют: чердачного перекрытия — 507 m^2 ; стен лестничного марша — 46 m^2 ; покрытия лестничного марша — 33 m^2 ; входной двери с лестницы на чердак — 2 m^2 ; вентиляционных каналов, выходящих на крышу через чердак, — 34 m^2 .

Площади ограждающих конструкций, отделяющих чердак от наружного воздуха (A_k^-), составляют: кровельного покрытия – 756 м²; торцевой стены – 72 м².

Строительный объем холодного чердака составляет 1215 м³. Площади измерены на основании проведения обмерных работ.

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций чердака

Сопrotивления теплопередаче ограждающих конструкций чердака составляют:

- чердачного перекрытия (пористый гравий из доменного шлака толщиной 180-220 мм поверх бетонной плиты толщиной 100 мм) – 1,3 м²·°C/Вт;
- стен лестничного марша (кладка из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 250 мм) – 0,5 м²·°C/Вт;
- покрытия лестничного марша (железобетонная пустотная плита толщиной 220 мм) – 0,35 м²·°C/Вт;
- деревянной неутепленной входной двери с лестницы на чердак – 0,3 м²·°C/Вт;
- вентиляционных каналов, проходящих через чердак, – 0,5 м²·°C/Вт;
- кровельного покрытия (металлический оцинкованный лист толщиной 5 мм) – 0,16 м²·°C/Вт;
- торцевой стены (кладка из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 510 мм) – 0,79 м²·°C/Вт.

Характеристики трубопроводов системы отопления

На чердаке размещена верхняя разводка труб системы отопления общей протяженностью 121 п.м. Из них 85 п.м. приходится на трубопроводы с условным диаметром 50 мм и 36 п.м. на трубопроводы с условным диаметром 32 мм.

Расчетная температура системы отопления с верхней разводкой 95°C.

Согласно данным табл. 12 СП 23-101-2004, при заданных условиях линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции трубопроводов q_{pi} , проложенных на чердаке, для трубопроводов с условным диаметром 50 мм составляет 25 Вт/м, для трубопроводов с условным диаметром 32 мм – 22,2 Вт/м при средней температуре окружающего воздуха 18°C.

Если температуру наружного воздуха принять равной минус 24°C, то исходя из обеспечения верхней границы условия (1) температура воздуха на холодном чердаке t_6^y не должна превышать минус 20°C, нижней границы условия (1) – минус 22°C.

При средней температуре окружающего воздуха минус 20°C линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции трубопроводов q_{pi} , проложенных на чердаке, для трубопроводов с условным диаметром 50 мм составит 43 Вт/м, для трубопроводов с условным диаметром 32 мм – 38,2 Вт/м.

При средней температуре окружающего воздуха минус 22°C линейная плотность теплового потока через поверх-

ность теплоизоляции трубопроводов q_{pi} , проложенных на чердаке, для трубопроводов с условным диаметром 50 мм составит 44 Вт/м, для трубопроводов с условным диаметром 32 мм – 39,1 Вт/м.

Результаты

Из уравнения (2) можно вывести уравнение для требуемого воздухообмена:

$$n_{\alpha} = \frac{(t_6 - t_6^y) \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + \sum_{j=1}^n (q_{pi} \cdot l_{pi}) - (t_6^y - t_n) \cdot \sum_{k=1}^n \left(\frac{A_k^-}{R_k^-} \right)}{0,28 \cdot V_{\alpha} \cdot (t_6^y - t_n)}, \quad (3)$$

где все обозначения те же, что и в уравнении (2).

Примем расчетную температуру наружного воздуха t_n равной минус 24°C (температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга).

В этом случае для выполнения условия (1), как уже было показано ранее, температура воздуха на холодном чердаке t_6^y не должна превышать минус 20°C.

Рассмотрим случай, когда не производятся работы по дополнительному утеплению ограждающих конструкций (чердачных перекрытий, стен и покрытия лестничного марша, вентиляционных каналов), отделяющих чердак от помещений с более высокой температурой воздуха. И рассчитаем величину воздухообмена, требуемого для выполнения условия (1), при расчетной для условий Санкт-Петербурга температуре наружного воздуха, равной минус 24°C.

Температуру внутреннего воздуха в помещениях верхнего этажа здания примем равной 20°C, температуру воздуха на лестничных маршах примем равной 16°C.

Подставим численные значения геометрических и теплотехнических характеристик ограждающих конструкций чердака, а также известные параметры трубопроводов системы отопления, проложенных на чердаке, в формулу (3). Для обеспечения верхней границы условия (1) – температурный перепад между температурой воздуха на чердаке и температурой наружного воздуха не более 4°C – получим:

$$n_{\alpha} = \frac{(20 - (-20)) \cdot \left(\frac{507}{1,3} + \frac{34}{0,5} \right) + (16 - (-20)) \cdot \left(\frac{46}{0,5} + \frac{33}{0,35} + \frac{2,0}{0,3} \right) + 85 \cdot 43 + 36 \cdot 38,2 - (-20 - (-24)) \cdot \left(\frac{756}{0,16} + \frac{72}{0,79} \right)}{0,28 \cdot 1215 \cdot (-20 - (-24))} \approx 8,1 (h^{-1}). \quad (4)$$

Аналогичным образом для обеспечения нижней границы условия (1) – температурный перепад между температурой воздуха на чердаке и температурой наружного воздуха не более 2°C – получим:

$$n_{\alpha} = \frac{(20 - (-22)) \cdot \left(\frac{507}{1,3} + \frac{34}{0,5} \right) + (16 - (-22)) \cdot \left(\frac{46}{0,5} + \frac{33}{0,35} + \frac{2,0}{0,3} \right) + 85 \cdot 44 + 36 \cdot 39,1 - (-22 - (-24)) \cdot \left(\frac{756}{0,16} + \frac{72}{0,79} \right)}{0,28 \cdot 1215 \cdot (-22 - (-24))} \approx 32,5 (h^{-1}). \quad (5)$$

Таким образом, применительно к рассматриваемому случаю для выполнения верхней границы условия (1) требуется обеспечить воздухообмен чердачных помещений с кратностью более 8 ч^{-1} . Для удовлетворения нижней границы условия (1) требуется обеспечить воздухообмен с кратностью более 32 ч^{-1} . При естественной вентиляции помещений чердака обеспечить такой воздухообмен невозможно. Следует отметить, что расчеты требуемого воздухообмена выполнены с учетом обязательного обеспечения условия, согласно которому трубопроводы системы отопления на чердаке утеплены и линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции $q_{\text{пр}}$ не превышает нормативную.

Выводы:

На основании составления уравнения теплового баланса получено выражение, позволяющее рассчитать кратность воздухообмена, требуемую для недопущения образования наледей на карнизных свесах скатных крыш зданий с холодным чердаком. Применительно для типового здания бывшего доходного дома требуемая кратность воздухообмена составила от $8,1 \text{ ч}^{-1}$ (для обеспечения температурного перепада между температурой воздуха на чердаке и температурой наружного воздуха не более 4°C) до $32,5 \text{ ч}^{-1}$ (для обеспечения температурного перепада между температурой воздуха на чердаке и температурой наружного воздуха не более 2°C), что при естественной вентиляции обеспечить невозможно. Для выполнения условия (1) в течение всего

отопительного периода требуется либо механическая (принудительная) подача требуемого объема холодного воздуха, либо утепление ограждающих конструкций, отделяющих чердак от помещений с более высокой температурой внутреннего воздуха (из помещений верхнего этажа здания, лестничных клеток, через стенки вентиляционных каналов). Утепление трубопроводов отопления, проложенных на холодном чердаке, должно быть выполнено во всех случаях.

Библиографический список

1. Горшков А.С., Ватин Н.И., Урустимов А.И., Рымкевич П.П. Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей // Инженерно-строительный журнал, № 3 (29), 2012, с. 69-73.
2. Горшков А.С. Причины образования ледяных дамб на крышах зданий // Кровельные и изоляционные материалы, № 6, 2014, с. 16-19.
3. Романова А.А., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Комплексное решение по устранению причин образования наледей на крышах зданий // Техничко-технологические проблемы сервиса, № 3 (33), 2015, с. 15-19.
4. Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Urustimov A., Staritsyna A., Rymkevich P. Calculation method of justification of technical actions for prevention of ice dams formation on buildings with a pitched roof. Applied Mechanics and Materials, 2015, v. 725-726, pp. 9-14.
5. Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда (зарегистрировано в Минюсте РФ 15 октября 2003 г., регистрационный № 5176).

22-25
сентября

ВЫСТАВОЧНЫЙ ФОРУМ
ЭКСПО

ДВ 2016
ХАБАРОВСК



ярмарка
ПРИАМУРСКАЯ
ТРАНСПОРТ
ЭНЕРГЕТИКА
АВТОМАТИЗАЦИЯ
МЕДИЦИНА

Генеральный партнёр:
RASA

ХАБАРОВСКАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
ЯРМАРКА
www.khabexpo.ru

г. Хабаровск, легкоатлетический манеж ст. им. В.И. Ленина
(4212) 56-61-29, 56-76-14, 56-68-82