

*А.Ф. Строй, д.т.н., проф.
Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка
Е.З. Пиотровски, д.т.н., проф.
Свентокшинская политехника, г. Кельце, Польша*

РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ ЧЕРДАКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

На основании анализа изменения состояния воздуха разработаны рекомендации для расчета вентиляции чердака при действии гравитационного давления. Приведены основные формулы и изложен порядок расчета. Материал проиллюстрирован примером расчета.

На основі аналізу зміни стану повітря розроблені рекомендації для розрахунку вентиляції горища при дії гравітаційного тиску. Наведені основні формули та порядок розрахунку. Матеріал проілюстровано прикладом розрахунку.

On the basis of the analysis of change of air condition, recommendations for calculation of attics ventilation at an action of gravitational pressure are developed. Basic formulas and the procedure of calculation are given. The material is illustrated by an example of calculation.

Ключевые слова: *гравитационное давление, эксплуатация, конденсация.*

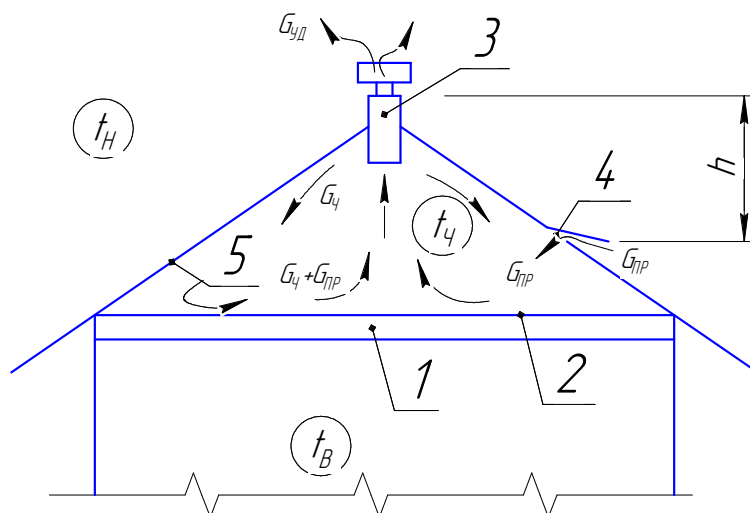
Постановка проблемы. При эксплуатации зданий одной из проблем является конденсация влаги на внутренней поверхности кровли здания. В случае металлической кровли это вызывает коррозию металла и снижение сроков ее эксплуатации. Увлажнение кровли может сопровождаться капельной конденсацией и, как следствие, увлажнением теплоизоляции перекрытия верхнего этажа. Процесс конденсации будет происходить в случае, когда температура на внутренней поверхности кровли ниже точки росы. В свою очередь точка росы зависит от влажностного состояния воздуха, точнее от относительной влажности и температуры воздуха. Эти параметры можно регулировать на протяжении года за счет вентиляции чердака. Этот процесс, как правило, естественный. Степень надежности естественной вентиляции выше, чем механической, но в то же время ее сложнее проектировать, особенно при отсутствии рекомендаций по расчету.

Анализ последних достижений и публикаций. Выделение не решенных ранее частей проблемы. В существующей литературе [1, 2, 3] и других источниках, где изложены методы расчета систем вентиляции различных зданий и сооружений, не приведены рекомендации по расчету вентиляции чердаков. Это вызвано тем, что отсутствуют требования к параметрам воздуха на чердаке. Некоторые рекомендации по конструктивному исполнению приточных и вытяжных отверстий для вентиляции чердаков приведены в работах [4, 5], однако методика расчета отсутствует. В то же время система вентиляции чердака является

необходимым элементом нормальной эксплуатации здания. Она должна обеспечить требуемые параметры воздуха в различные периоды года.

Цель работы. Цель данной статьи состоит в разработке некоторых рекомендаций для расчета системы вентиляции чердака при действии гравитационного давления. С этой целью проанализируем, как будет изменяться влажностное состояние воздуха на чердаке, к примеру, в зимний период.

Изложение основного материала. При вентиляции чердака (см. рис. 1) воздух после смешения будет подогреваться и увлажняться у наружной поверхности перекрытия верхнего этажа. Затем за счет гравитационных сил будет подниматься вверх к коньку крыши. Часть воздуха удаляется из чердачного пространства через вытяжную шахту. Процесс изменения состояния воздуха показан на I-d-диаграмме (рис. 2). Параметры наружного воздуха характеризуются точкой Н, а параметры внутреннего (т.е. воздуха на чердаке) – точкой В. Процесс смешения в свою очередь характеризуется линией НВ, а точка С характеризует смесь воздуха. Изменение тепловлажностного состояния воздуха у наружной поверхности перекрытия характеризуется линией СА, а линия АВ – это охлаждение воздуха у внутренней поверхности кровли.



1 – перекрытие верхнего этажа; 2 – наружная поверхность перекрытия верхнего этажа; 3 – вытяжная шахта; 4 – приточное отверстие; 5 – внутренняя поверхность кровли

Рис. 1. Схема вентиляции чердака

Чтобы определить параметры внутреннего воздуха на чердаке, т.е. температуру и относительную влажность (эти параметры характеризуются

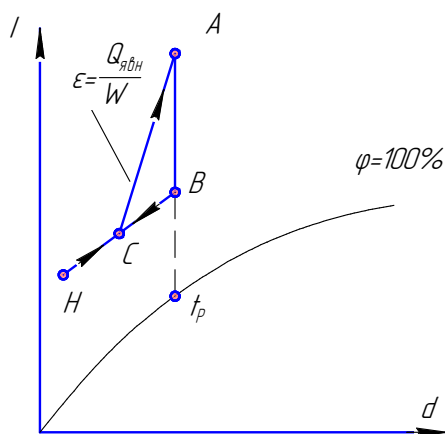


Рис. 2. Процесс изменения состояния воздуха

на I-d-диаграмме точкой В), необходимо составить уравнение теплового и влажностного баланса воздуха. В свою очередь параметры внутреннего воздуха позволяют определить точку росы на чердаке t_p (см. рис. 2). Из уравнения теплового баланса можно вычислить температуру воздуха на чердаке, а из уравнения влажностного баланса – влагосодержание или относительную влажность воздуха. Уравнение теплового баланса имеет вид

$$c \cdot G \cdot t_H + K_{пер} \cdot F_{пер} \cdot (t_B - t_q) = c \cdot G \cdot t_q + K_{кр} \cdot F_{кр} \cdot (t_q - t_H). \quad (1)$$

В нем неизвестной величиной является температура воздуха на чердаке t_q . Остальные параметры, которые входят в это уравнение, обозначены так:

$K_{пер}$ – коэффициент теплопередачи перекрытия;

$F_{пер}$ – площадь поверхности перекрытия;

t_B – температура воздуха в помещении верхнего этажа здания;

$K_{кр}$ – коэффициент теплопередачи кровли;

$F_{кр}$ – площадь поверхности кровли;

t_H – температура наружного воздуха;

G – расход воздуха для вентиляции чердака;

c – теплоемкость воздуха.

Из уравнения (1) температура воздуха на чердаке

$$t_q = \frac{K_{пер} \cdot F_{пер} \cdot t_B + K_{кр} \cdot F_{кр} \cdot t_H + c \cdot G \cdot t_H}{K_{пер} \cdot F_{пер} + K_{кр} \cdot F_{кр} + c \cdot G}. \quad (2)$$

Уравнение влажностного баланса воздуха можно представить в виде

$$G_{ПР} \cdot d_H + W = G_{УД} \cdot d_q, \quad (3)$$

где $G_{ПР}$ – количество воздуха, которое поступает на чердак за заданный промежуток времени;

d_H – влагосодержание наружного воздуха;

W – количество влаги, поступающей на чердак через перекрытие из помещений верхнего этажа за заданный промежуток времени;

$G_{УД}$ – количество удаляемого воздуха ($G_{ПР} = G_{УД}$);

d_q – влагосодержание воздуха на чердаке.

При проектировании вентиляции чердака, чтобы исключить конденсацию на внутренней поверхности кровли, необходимо определить

площадь приточных и вытяжных отверстий и их месторасположение на чердаке. От этих конструктивных характеристик будет зависеть расход воздуха для вентиляции чердака. Если не заданы или не назначены конструктивные характеристики, то неизвестным является и расход воздуха. Следовательно, нет возможности воспользоваться уравнениями (2) и (3). Кроме этого, в уравнении влажностного баланса неизвестным параметром является также влагосодержание воздуха. Таким образом, в уравнении (3) две неизвестных величины – расход воздуха $G_{ПР}$ и влагосодержание воздуха на чердаке $d_ч$. Для решения этого уравнения необходимо составить дополнительно еще одно уравнение, которое связывало бы конструктивные характеристики, т.е. площадь приточных и вытяжных отверстий, с расходом воздуха. При наличии только гравитационного давления, т.е. без учета ветрового давления, уравнение, которое связывает площадь приточных и вытяжных отверстий одновременно с расположением их относительно друг друга с расходом воздуха, имеет вид

$$\Delta P_{ГР} = \zeta_{ПР} \frac{v_{ПР}^2}{2} \rho_H + \zeta_{ВЫТ} \frac{v_{ВЫТ}^2}{2} \rho_ч, \quad (4)$$

где $\Delta P_{ГР}$ – гравитационное давление воздуха, которое вызывает движение воздуха по чердаку и его вентиляцию, $\Delta P_{ГР} = h \cdot g (\rho_H - \rho_ч)$;

h – расстояние между центром входа и центром выхода воздуха (см. рис. 1);

g – ускорение свободного падения;

$\rho_H, \rho_ч$ – соответственно плотность наружного воздуха и воздуха на чердаке;

$\zeta_{ПР}, \zeta_{ВЫТ}$ – коэффициент местного сопротивления соответственно приточного и вытяжного отверстий;

$v_{ПР}, v_{ВЫТ}$ – скорость воздуха в приточном и вытяжном отверстиях.

Если в уравнение (4) вместо скорости воздуха подставить ее значение из уравнения неразрывности

$$G = F \cdot v \cdot \rho, \quad (5)$$

то после несложных преобразований получим

$$\Delta P_{ГР} = \left(\zeta_{ПР} \frac{1}{F_{ПР}^2 \cdot \rho_H} + \zeta_{ВЫТ} \frac{1}{F_{ВЫТ}^2 \cdot \rho_H} \right) \cdot G^2, \quad (6)$$

где $F_{ПР}$ – площадь приточных отверстий; $F_{ВЫТ}$ – площадь вытяжных отверстий.

Это уравнение можно использовать для расчета вентиляции чердачного пространства. При этом можно рекомендовать следующий порядок расчета. Задав расход G , с помощью уравнения (2) необходимо определить температуру воздуха в чердачном пространстве. Далее нужно законструировать приточные и вытяжные отверстия, определить их площадь, величину гравитационного давления, а также коэффициенты местных сопротивлений и, воспользовавшись уравнением (6), рассчитать расход

воздуха, который будет вентилировать чердачное пространство. Затем сопоставить ранее принятый расход воздуха с расходом, рассчитанным на основании уравнения (6). Если данные совпадают, то можно переходить к расчету влагосодержания воздуха. Если не совпадают, то необходимо выполнить последующее уточнение. Влагосодержание воздуха на чердаке при известном количестве влаги, которая поступает на чердак, можно вычислить из уравнения (3)

$$d_q = d_H + \frac{W}{G}, \quad (7)$$

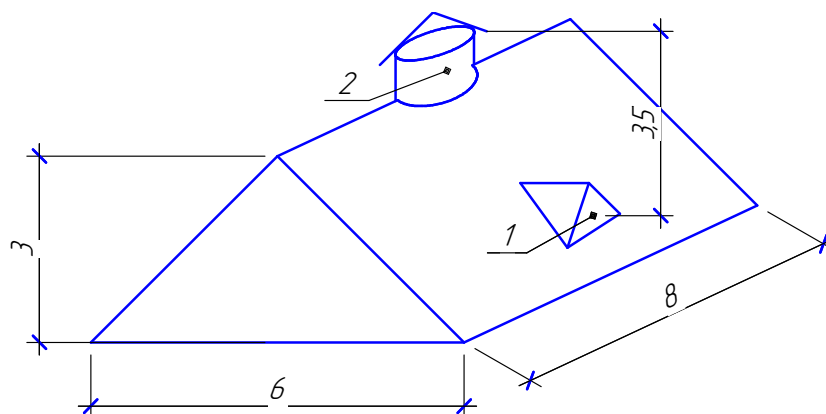
где G – расход воздуха для вентиляции чердака.

Температура и влагосодержание воздуха характеризуют его состояние и позволяют определить точку росы. В конце расчета следует установить температуру на внутренней поверхности кровли и сравнить ее с точкой росы. Если температура на внутренней поверхности выше точки росы, то конденсация будет отсутствовать и воздухообмен достаточный для вентиляции чердака. Если наоборот, то необходимо увеличить площадь приточных или вытяжных отверстий либо конструктивно изменить систему вентиляции.

Необходимо стремиться, чтобы температура на внутренней поверхности кровли была ближе к точке росы. В этом случае температура воздуха на чердаке будет максимальной, а потери тепла через перекрытие минимальными. Для уменьшения потерь тепла можно также предусмотреть теплоизоляцию кровли.

Для иллюстрации разработанных рекомендаций рассмотрим пример.

Пример. Необходимо рассчитать систему вентиляции для чердака, изображенного на рис. 3. Температура наружного воздуха $t_H = +8$ °С, энтальпия 22,5 кДж/кг. Поступление влаги через чердачное перекрытие $W = 100$ г/час. Сопротивление теплопроводности чердачного перекрытия – $3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$. Кровля выполнена из оцинкованной стали.



1 – приточное отверстие; 2 – вытяжная шахта

Рис. 3. Схема чердачного перекрытия

Коэффициент теплопередачи чердачного перекрытия

$$K_{\text{ПЕР}} = \frac{1}{3,0 + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{12}} = 0,313 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

Коэффициент теплопередачи кровли при условии, когда сопротивлением теплопроводности стали можно пренебречь,

$$K_{\text{ПЕР}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23}} = 6,312 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

Площадь чердачного перекрытия – 48 м², площадь кровли – 67,9 м².

Предположим, что воздухообмен на чердаке составляет 225 кг/час, тогда температура воздуха на чердаке

$$t_{\text{ч}} = \frac{0,313 \cdot 48 \cdot 20 + 6,312 \cdot 67,9 \cdot 8 + 1005 \cdot \frac{225}{3600} \cdot 8}{0,313 \cdot 48 + 6,312 \cdot 67,9 + 1005 \cdot \frac{225}{3600}} = 8,356 \text{ °С}.$$

Разница высот приточных и вытяжных отверстий 3,5 м (см. рис. 3), тогда гравитационное давление

$$\Delta P_{\text{ГР}} = 3,5 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{353}{273+8} - \frac{353}{273+8,356} \right) = 0,055 \text{ Па}.$$

Коэффициент местного сопротивления вытяжной трубы с зонтом $\zeta=2,5$, диаметр $d=0,5$ м. Для притока приняты два отверстия $\zeta = 1,3$. Общая площадь приточных отверстий 0,5 м². На основании уравнения (6) определяем воздухообмен на чердаке

$$G = \sqrt{\frac{0,055}{2,5 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} \right)^2 \frac{1}{273+8} + 1,3(0,5 \cdot 0,5 \cdot 2)^2 \frac{353}{273+8,356}}} \cdot 3600 = 225 \text{ кг/час}.$$

Следовательно, принятое предположение, что воздухообмен на чердаке составляет $G = 225$ кг/час, верно. В противном случае необходимо было бы сделать последующее уточнение, т.е. повторить расчет, задавшись другим значением воздухообмена. Влагосодержание воздуха на чердаке составляет

$$d_{\text{ч}} = d_{\text{Н}} + \frac{W}{G} = 5,8 + \frac{100}{225} = 6,244 \text{ г/кг}, \text{ что соответствует относительной}$$

влажности 95%. Далее можно определить температуру на внутренней поверхности кровли и сравнить с точкой росы.

Вывод. Анализ физических процессов, которые происходят при вентиляции чердака, дал возможность предложить рекомендации для расчета системы вентиляции чердака при действии гравитационного давления из условия отсутствия конденсации на внутренней поверхности кровли.

Литература

1. Отопление и вентиляция: Ч.2. Вентиляция / В.Н. Богословский, В.И. Новожилов, Б.Д. Симаков, В.П. Тутов. – М.: Стройиздат, 1976. – 439с.

2. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция: учебное пособие для строительных вузов и факультетов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция»: в 2-х ч. Ч.2. Вентиляция / В.Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1984. – 263 с.

3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. И.Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1978. – 502с.

4. Сербинович П.П. Гражданские здания массового строительства / П.П. Сербинович; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 316с.

5. Буга П.Г. Гражданские, промышленные и сельскохозяйственные здания / П.Г. Буга; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1987. – 351с.

Надійшла до редакції 1.12.2008

© А.Ф. Строй, Е.З. Пиотровски