

*А.С. Евстратов, А.В. Пучин**

**ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА
В ПОДКРОВЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
СКАТНЫХ КРЫШ С «ХОЛОДНЫМ» ЧЕРДАКОМ**

Температурно-влажностный режим крыш, который существенно влияет на образование наледей на крыше, во многом зависит от поступления тепловой энергии в подкровельное пространство. Количество поступающей энергии в чердачное пространство не должно превышать величины, при которой обеспечивается разность температур подкровельного пространства и наружного воздуха не более 2 °С.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А.М. Макарова.

Для обеспечения условия необходимо иметь точные сведения о тепловой энергии, поступающей в подкровельное пространство и уходящей через кровлю в окружающую среду.

Основными источниками тепловой энергии, поступающей в подкровельное пространство, являются: Q_1 – тепловая энергия, поступающая через чердачное перекрытие; Q_2 – солнечная радиация; Q_3 – дополнительные источники тепла, возникающие при наличии в подкровельном пространстве труб с повышенной температурой (отопление, вентиляция) и других линейных и точечных источников тепла.

Удаление тепла из чердака происходит за счет: Q_4 – теплопотери через кровлю за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха; Q_5 – потери тепла при наличии вентиляции наружным воздухом.

Количество тепла, поступающего в подкровельное пространство через чердачное перекрытие, определяется как

$$Q_1 = \frac{(t_{\text{ч}} - t_{\text{пом}})F_{\text{пер}}}{R_0^{\text{пр1}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ч}}$ – температура воздуха в чердачном пространстве; $t_{\text{пом}}$ – температура воздуха в помещении под перекрытием; $F_{\text{пер}}$ – площадь перекрытия, через которое проходит тепло; $R_0^{\text{пр1}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции перекрытия.

Количество тепла, поступающего через кровлю от солнечной радиации вычисляется по формуле

$$Q_2 = \frac{1}{R_0^{\text{пр2}}} \left(\rho \frac{S}{\alpha_{\text{н}}} \right) F_{\text{ск}}, \quad (2)$$

где $R_0^{\text{пр2}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции крыши, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждающей конструкции, принимаемый по [1, табл. 14]; S – значение поверхностной плотности теплового потока суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), $\text{Вт} / \text{м}^2$; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице [1]; $F_{\text{ск}}$ – площадь ограждающей конструкции (крыши), м^2 .

Расчет количества поступающей солнечной радиации в конкретный период времени выполнялся по методике, предложенной в [2]. Данный подход позволяет динамично определять количество солнечной радиации, которая поступает на произвольно ориентированную в пространстве поверхность в любой момент времени для нужного региона. Методика основывается на понятии солнечной константы – количества тепла, которое поступает от Солнца на Землю через кос-

мос. При расчетах нужно учитывать, что приблизительно 30...35% этой энергии отбивается назад в космос [2]. Поток прямой солнечной радиации на поверхность под углом i определяется как

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{max}} \cos i K_{\text{ат}}, \quad (3)$$

где i – приведенный угол падения солнечных лучей на инсолируемую поверхность, рад; $S_{\text{max}} = 1362 \text{ Вт/м}^2$ – солнечная константа, [2].

Дополнительные источники тепла, возникающие при наличии в подкровельном пространстве труб с повышенной температурой (отопление, вентиляция) и других линейных и точечных источников тепла, могут быть определены как

$$Q_3 = (t_{\text{ч}} - t_{\text{тр}}) F_{\text{тр}} \alpha_{\text{н}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{ч}}$ – температура воздуха в чердачном пространстве; $t_{\text{тр}}$ – температура поверхности труб, °С; $F_{\text{тр}}$ – площадь труб, м². Практика расчетов показывает, что этой величиной, ввиду ее малости, в расчетах можно пренебрегать.

Теплопотери через кровлю определяются как

$$Q_4 = \frac{(t_{\text{ч}} - t_{\text{н}}) F_{\text{кр}}}{R_0^{\text{кр}}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{ч}}$, $t_{\text{н}}$ – температуры воздуха в чердаке и снаружи соответственно, °С; $F_{\text{кр}}$ – площадь кровли, через которую проходит тепловой поток, м².

Потери тепла при наличии вентиляции наружным воздухом рассчитывается по формуле

$$Q_5 = (t_{\text{ч}} - t_{\text{тр}}) G c_p, \quad (6)$$

где G – масса переносимого воздуха в секунду; c_p – теплоемкость воздуха.

Окончательно уравнение теплового баланса может быть записано в виде

$$\begin{aligned} \frac{(t_{\text{ч}} - t_{\text{пом}}) F_{\text{пер}}}{R_0^{\text{пер}}} + \frac{1}{R_0^{\text{кр}}} \left(\rho \frac{S}{\alpha_{\text{н}}} \right) F_{\text{ск}} + (t_{\text{ч}} - t_{\text{тр}}) F_{\text{тр}} \alpha_{\text{н}} = \\ = \frac{(t_{\text{ч}} - t_{\text{н}}) F_{\text{кр}}}{R_0^{\text{кр}}} + (t_{\text{ч}} - t_{\text{тр}}) G c_p. \end{aligned} \quad (7)$$

Из уравнения баланса тепловой энергии следует, что температура чердака формируется в зависимости от величин потерь и поступлений тепла.

Чтобы обеспечить условие разности температур между наружным и внутренним воздухом, необходимо регулировать уход тепла из подкровельного пространства и ограничение его поступления в чердак.

Задача является многофакторной. Условие может быть выполнено при различных сочетаниях составляющих баланса. Адекватную математическую модель подкровельного пространства возможно разработать в программах ANSYS CFX и SolidWorks Flow Simulation. Программы универсальны и позволяют моделировать процессы, протекающие в подкровельном пространстве любой конфигурации. В нашем случае такая точность является излишней. В связи с этим для моделирования температурного режима чердака нами разработана программа, которая достаточно просто позволяет получить необходимые сведения по исследуемой крыше. Алгоритм программы приведен на рис. 1.

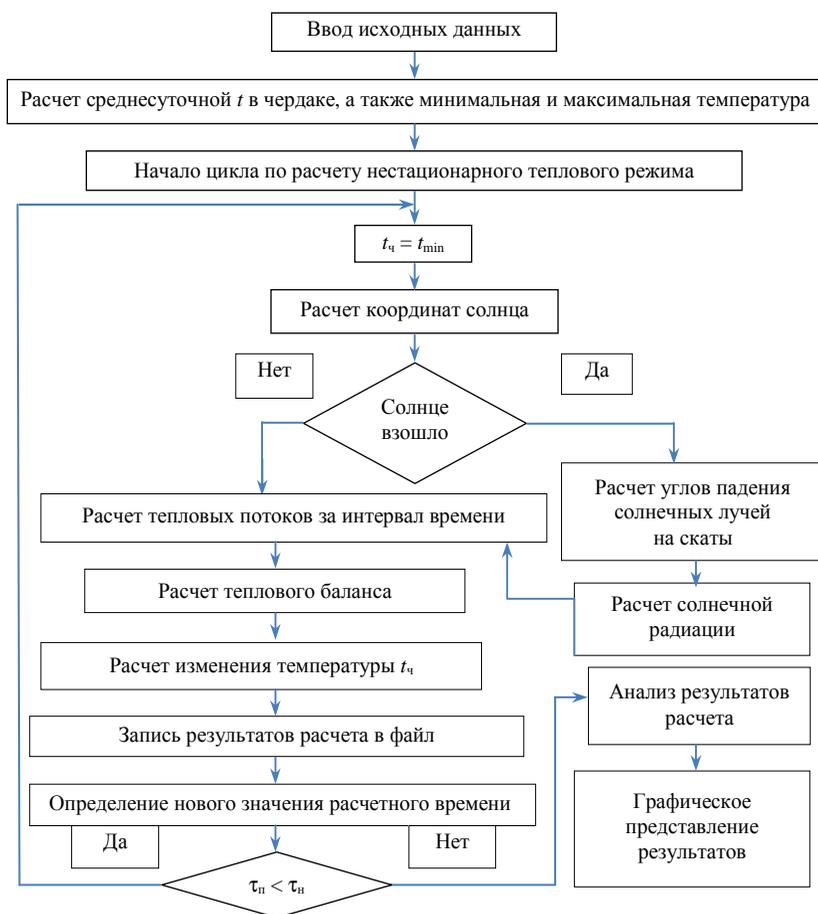


Рис. 1. Расчет теплового режима холодного чердака

Для изучения температурного режима искомой крыши в программу достаточно ввести характеристики ограждающих поверхностей (площадь кровли и перекрытия, сопротивление теплопередаче ограждений, положение и размер вентиляционных отверстий или кратность воздухообмена). Данные характеристики возможно ввести для любого искомого здания. Расчет температуры воздуха чердака по данной методике показывает достаточно хорошую сходимость с результатами, полученными при помощи программ ANSYS CFX и SolidWorks Flow Simulation, и позволяет оперативно выделять недостатки крыш, а также определять наиболее опасные временные интервалы при эксплуатации крыш в течение всего отопительного периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий / М., 2004. – С. 38 – 40.
2. Кондратьев, К.Я. Радиационный расчет наклонных поверхностей / К.Я. Кондратьев, З.И. Пивоварова, М.П. Федорова. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – С. 98 – 105.

*Кафедра «Городское строительство и автомобильные дороги»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*