Губарев А. В., доц,
Горлов А. С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ ЗМЕЕВИКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЕГО ИСПОЛНЕНИЯ

artwo0248@mail.ru

Рассмотрены вопросы определения длины змеевиков различных элементов энергетического и технологического оборудования в зависимости от габаритных размеров змеевиков. Приведены формулы для определения угла гиба трубы змеевика при известных радиусах гиба, высоте змеевика по осям гибов и расстоянии по горизонтали между осями гибов петель змеевика, соединенных одним прямым участком.

Ключевые слова: *змеевиковые поверхности, длина змеевика, угол гиба труб.*

В настоящее время змеевиковые поверхности нагрева являются важной и неотъемлемой частью энергетических и технологических аппаратов различного назначения. Например, в паровых котлах в виде пакетов змеевиков выполняются водяной экономайзер и конвективный пароперегреватель.

При проведении расчетов поверхностей нагрева зачастую необходимо знать длину змеевика. Так, при проведении теплового расчета агрегата, обладая информацией о длине змеевика, выполненного из труб определенного (известного) сортамента и о количестве змеевиков поверхности нагрева, можно определить теплопередающую поверхность змеевика и поверхности нагрева. При проведении гидравлического расчета змеевикового элемента энергетического или технологического агрегата, знание длины змеевика, выполненного из труб определенного сортамента, необходимо для определения потерь давления на трение в указанном змеевиковом элементе.

Длина одного змеевика $l_{\text{зм}}$ змеевиковой поверхности нагрева определяется следующим образом

$$l_{\text{зм}} = n_{\text{п.уч}} l_{\text{п.уч}} + n_{\text{г}} l_{\text{г}}, \qquad (1)$$

где $n_{\text{п.уч}}$, $n_{\text{г}}$ – количество прямых участков и гибов в змеевике; $l_{\text{п.уч}}$, $l_{\text{г}}$ – длина одного прямого участка и одного гиба змеевика.

В самом простом варианте исполнения змеевиковой поверхности, когда угол гиба петли змеевика равен 180°, формула (1) может быть записана следующим образом [1]

$$l_{\text{зм}} = n_{\text{п.уч}} l_{\text{п.уч}} + n_{\text{г}} \pi R, \qquad (2)$$

где R – радиус гиба петли змеевика.

При этом длина прямого участка витка змеевика равна высоте змеевика по осям гибов.

В целях повышения компактности змеевиковых поверхностей оборудования при сохранении требуемой площади указанных поверхностей угол гиба может превышать величину 180° и иметь значение 180°+2α (рис. 1).

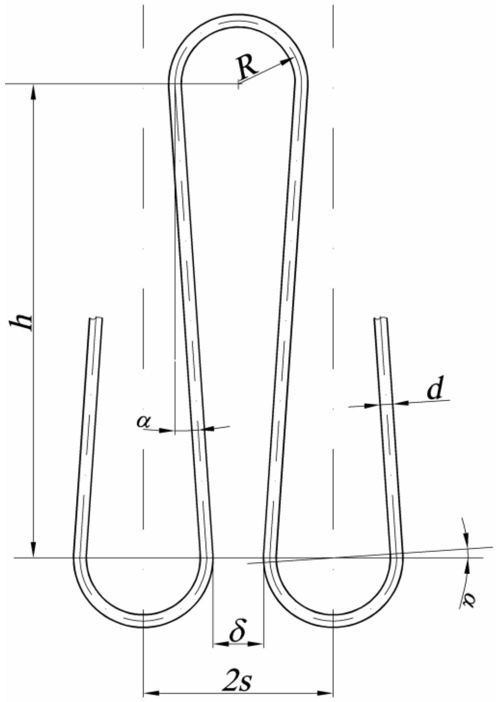

Рис. 1. Элемент змеевиковой поверхности нагрева

В этом случае длина змеевика будет определяться по формуле (2) с некоторой погрешностью. Причем величина этой погрешности увеличивается при уменьшении отношения высоты змеевика по осям гибов к радиусу гиба петли змеевика. Точные значения длин прямого участка и гиба петли змеевика зависят от величины отклонения угла гиба от 180°, т.е. от величины угла α.

Значение указанного отклонения может быть определено по формуле [1, 2]

$$\alpha = \arccos\left(\frac{2sR + h\sqrt{h^2 + s^2 - 4R^2}}{h^2 + s^2}\right), \qquad (3)$$

где s – расстояние по горизонтали между осями гибов петель змеевика, соединенных одним прямым участком; h – высота змеевика по осям гибов.

Определив величину α, несложно вычислить длину прямого участка витка змеевика

$$l_{\text{п.уч}} = \frac{h - 2R\sin\alpha}{\cos\alpha} \qquad (4)$$

и длину дуги гиба

$$l_{\text{г}} = \frac{180 + 2\alpha}{180}\pi R, \qquad (5)$$

после чего по формуле (1) определяется длина всего змеевика.

Необходимо отметить, что формулы (3–5) справедливы только для случая, когда радиусы обоих гибов рассматриваемого витка змеевика одинаковы.

Однако, в некоторых случаях, часто, по компоновочным соображениям для повышения компактности оборудования, агрегатов и их элементов или в целях выполнения требований к параметрам технологического процесса, радиус гиба некоторых петель змеевика может отличаться от радиуса гиба других петель этого же змеевика.

В этом случае для определения величины отклонения угла гиба от 180° для каждого витка змеевика необходимо использовать формулу, учитывающую радиусы двух гибов змеевика в рассматриваемом витке.

Для вывода такой формулы необходимо задаться значениями радиусов гиба петель одного витка змеевика R_1 и R_2, высоты змеевика по осям гибов h и расстоянием по горизонтали между осями гибов петель змеевика, соединенных одним прямым участком s.

Величину угла α можно определить, если рассмотреть уравнение касательной к двум окружностям радиусами, равными радиусам гибов петель змеевика по оси трубы, т.е. R_1 и R_2. При этом центры окружностей отстоят друг относительно друга по горизонтали на величину s, а по вертикали – на величину h (рис. 2). В таком случае, если рассмотреть систему координат, началом которой является центр одной из окружностей (например, радиусом R_1) координаты центров окружностей будут следующими: для окружности O_1 (0; 0), а для окружности O_2 (s, h). Из рис. 2 видно, что в данном случае рассматриваются не полностью окружности O_1 и O_2, а верхняя полуокружность окружности O_1 и нижняя полуокружность окружности O_2.

Уравнения указанных полуокружностей могут быть записаны в следующем виде (соответственно для O_1 и O_2):

$$y = \sqrt{R_1^2 - x^2}\,, \qquad (6)$$

$$y = h - \sqrt{R_2^2 - (x - s)^2}\,. \qquad (7)$$

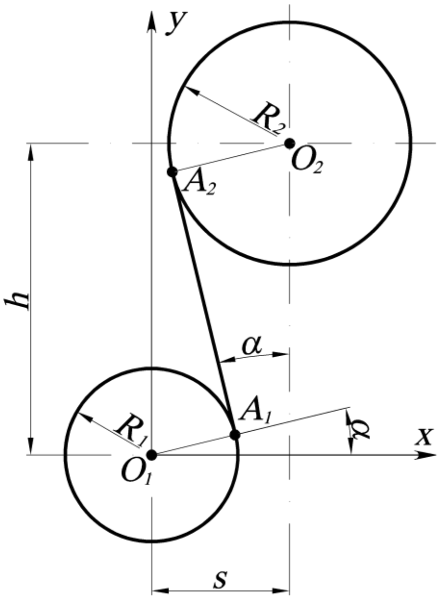

Рис. 2. Расчетная схема к определению угла гиба змеевика

Известно, что уравнение касательной к графику любой функции $y = f(x)$ имеет вид

$$y = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0), \qquad (8)$$

где x_0 – абсцисса точки графика (в данном случае – интересующей нас окружности O_1 или O_2), через которую проходит касательная.

Как видно из рис. 2, касательная к окружностям O_1 и O_2 будет касаться указанных окружностей, соответственно, в точках A_1 ($R_1 \cdot \cos\alpha$; $R_1 \cdot \sin\alpha$) и A_2 [($s - R_2 \cdot \cos\alpha$); ($h - R_2 \cdot \sin\alpha$)]. Уравнения касательной к окружности O_1, проходящей через точку A_1, и касательной к окружности O_2, проходящей через точку A_2, выведенные по формуле (8), могут быть записаны в виде:

$$y = -x \cdot \mathrm{ctg}\alpha + \frac{R_1}{\sin\alpha}, \qquad (9)$$

$$y = -x \cdot \mathrm{ctg}\alpha - \frac{R_2}{\sin\alpha} + s \cdot \mathrm{ctg}\alpha + h. \qquad (10)$$

Поскольку уравнения (9) и (10) относятся к одной и той же прямой, то, приравняв их правые части и решив получившееся уравнение, можно определить величину отклонения угла гиба от 180°

$$\alpha = \arccos\left(\frac{s(R_1 + R_2) + h\sqrt{h^2 + s^2 - (R_1 + R_2)^2}}{h^2 + s^2}\right). \qquad (11)$$

Нетрудно заметить, что при равенстве радиусов гиба петель змеевика (R_1=R_2) формула (11) преобразовывается в формулу (3).

Кроме того, формула для определения величины угла α может быть выведена геометрически. В таком случае эта формула будет иметь вид

$$\alpha = 90° - \left(\arccos \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{h^2 + s^2}} + \arccos \frac{h}{\sqrt{h^2 + s^2}} \right). \quad (12)$$

При определении величины угла α для произвольных исходных данных результаты вычислений по формулам (11) и (12) получаются идентичными.

Принимая во внимание, что сумма квадратов расстояния по горизонтали между осями гибов петель змеевика, соединенных одним прямым участком, и высоты змеевика по осям гибов равна квадрату расстояния между осями гибов петель змеевика, соединенных одним прямым участком, O_1 и O_2 (обозначим $O_1O_2 = l$), т.е.

$$l^2 = h^2 + s^2, \quad (13)$$

формулы (11) и (12) можно упростить и привести к следующему виду, соответственно,

$$\alpha = \arccos\left(\frac{s(R_1 + R_2) + h\sqrt{l^2 - (R_1 + R_2)^2}}{l^2} \right); \quad (14)$$

$$\alpha = 90° - \left(\arccos \frac{R_1 + R_2}{l} + \arccos \frac{h}{l} \right). \quad (15)$$

Зная величину отклонения угла гиба от 180º, несложно вычислить длину прямого участка витка змеевика

$$l_{\text{п.уч}} = \frac{h - (R_1 + R_2)\sin\alpha}{\cos\alpha}. \quad (16)$$

В том случае, когда рассматриваемая петля змеевика симметрична относительно вертикальной оси, проходящей через ось гиба (например, через точку O_1 или O_2 на рис. 2), длина дуги гиба определяется по формуле (5), в которую подставляется значение радиуса гиба для соответствующей петли. Если рассматриваемая петля относительно указанной вертикальной оси не является симметричной, т.е. отклонения угла гиба одной и той же петли на концах дуги имеют отличающиеся друг от друга значения $\alpha_1 \neq \alpha_2$, расчет длины дуги гиба следует производить по формуле

$$l_{\text{г}} = \frac{180 + \alpha_1 + \alpha_2}{180} \pi R. \quad (17)$$

Далее по формуле (1) определяется длина элемента змеевиковой поверхности.

Таким образом, в ходе выполнения теплового или гидравлического расчета змеевиковой поверхности энергетического или технологического агрегата (например, конвективного пароперегревателя парового котла) при значительной высоте змеевика расчет его длины с достаточной точностью может быть выполнен с использованием формулы (2). Для точного расчета длины элемента змеевиковой поверхности, что особенно важно при небольшом значении отношения высоты змеевика по осям гибов к радиусу гиба петли змеевика, более целесообразно при одинаковых радиусах гиба всех петель использовать формулы (3)–(5), а при отличии радиусов гиба некоторых петель змеевика от радиусов гиба остальных его петель – формулы (14) или (15), а также (16) и (17).

Приведенная выше методика может быть также использована при расчетах других конструктивных характеристик трубных элементов технологического и энергетического оборудования, имеющих П-образную или змеевиковую форму. Пример использования этой методики приведен в работе [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К определению длины змеевика конвективного пароперегревателя / А.В. Губарев, А.С. Горлов, М.И. Кулешов, Ю.В. Васильченко // Тяжелое машиностроение. № 12. 2010. С. 14–15.

2. Губарев А.В. Определение поверхности теплообмена змеевиковых элементов парогенератора / Будущее машиностроения России: сб. материалов XXII Междунар. инновационно-ориентированной конф. молодых ученых и студентов (МИКМУС-2010) // Ин-т машиноведения РАН (Москва 26–29 окт. 2010 г.), М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2010. С. 104.

3. Компоновка трубного пучка радиационной части топливосберегающего газового водонагревателя / А.В. Губарев, М.И. Кулешов, Б.П. Васильев, В.В. Губарева // Промышленная энергетика. 2010. № 2. С. 37–39.