

УДК 621.1.016.4

ГУЩИН А.М., к.т.н., доцент (Донецкий институт железнодорожного транспорта)
БОНДАРЬ Е.А., к.т.н., доцент (Донецкий национальный технический университет)
СОЛОМИН А.П., старший преподаватель (Донецкий институт железнодорожного транспорта)
СИНЯВСКИЙ И.А., ассистент (Донецкий институт железнодорожного транспорта)
БОНДАРЬ А.А., инженер (Донецкий институт железнодорожного транспорта)

Определение геометрических размеров теплообменника со спиральным трубопроводом

Gushchin A.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (DRTI)
Bondar E.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (DONNTU)
Solomin A.P. Senior Lecturer (DRTI)
Sinyavsky I.A. Assistant (DRTI)
Bondar A.A., Engineer (DRTI)

Determination of the geometric dimensions of the heat exchanger with a spiral pipeline

Введение

Для случаев, когда один из теплоносителей в теплообменнике должен нагреваться на величину, большую, чем величина охлаждения греющего теплоносителя, первый из упомянутых теплоносителей может выполняться в виде спирали, обеспечивающий повышенную поверхность теплообмена [1-3]. В настоящей работе поставлена задача определения соотношений между геометрическими размерами теплообменника.

Анализ последних исследований и публикаций

В известной литературе [2, 4, 5] процессы теплообмена между теплоносителями описываются с использованием закона сохранения энергии в следующей форме:

$$m_1 c \Delta t = k(t_1 - t_2) dF, \quad (1)$$

где m_1 – массовый расход теплоносителя, кг/с;

c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К);

$dF = \Pi dx$ – площадь теплообмена между теплоносителями по длине теплообменника dx ;

Π – периметр теплообменника, м;

Анализ приведенных выше источников показывает, что теплообмен между двумя теплоносителями описывается достаточно сложными зависимостями, поэтому на практике теплообмен между двумя источниками производится с использованием средне-логарифмического напора.

При этом такой метод аналитически точен только в двух случаях:

- температура одного теплоносителя неизменна, или мало изменялась;

- массовые расходы теплоносителей одинаковы.

Другой особенностью теплообмена между двумя теплоносителями является то, что при небольшом расходе одного из теплоносителей, но при сравнительно большом изменении температуры этот теплоноситель движется по спиральному трубопроводу, как это предлагается в работе[1].

При этом возникает вопрос определения диаметра спирального трубопровода и шага его навивки.

Предполагается, что мощность теплообменника задана, расходы теплоносителей известны.

Цель работы

Целью работы является установление соотношений между геометрическими параметрами теплообменника, когда один из теплоносителей движется по спиральному трубопроводу.

Основная часть

Расчеты зависимости для определения геометрических размеров теплообменника выполнены для конструкции теплообменника, в котором теплота к двум другим теплоносителям передается от внутреннего канала, а один из теплоносителей выполнен в виде спирали и размещен внутри канала с другим теплоносителем. Схема теплообменника показана на рисунке 1.

Показанный на рисунке 1 теплообменник включает канал с диаметром D_2 , по которому транспортируется греющий теплоноситель, теплота от которого передается через стенку канала теплоносителю, протекающему по межтрубному пространству с диаметром D_2 и D_3 . Внутри межтрубного пространства прокладывается спиральный трубопровод с диаметрами D_4 , с некоторым шагом навивки b .

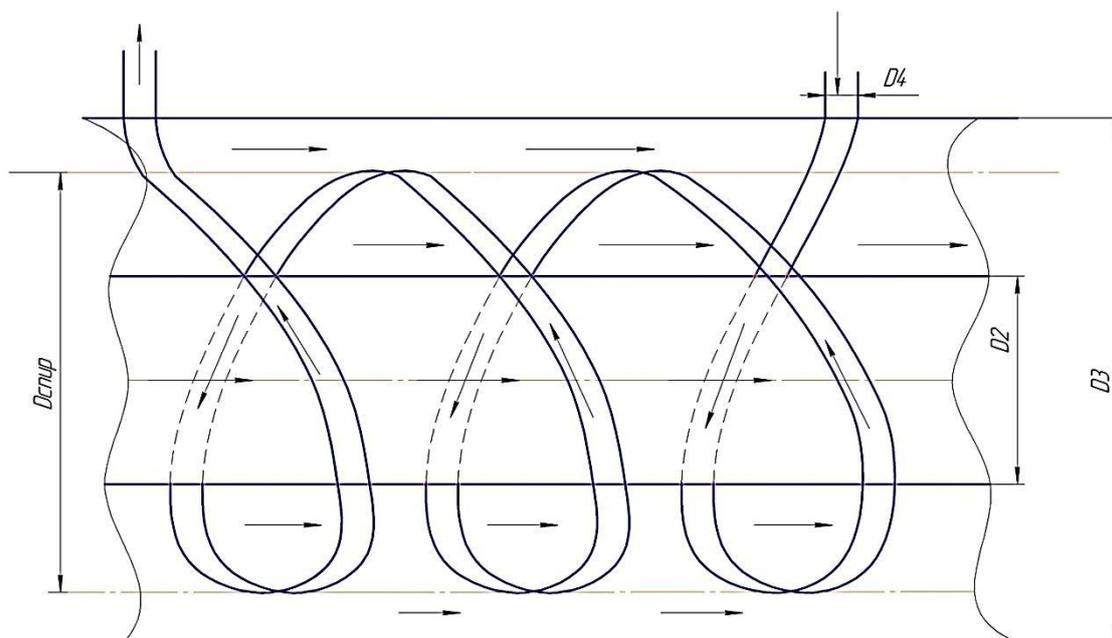


Рис. 1. Схема теплообменника со спиральным трубопроводом

Процессы теплообмена в таком теплообменнике подчиняются общим закономерностям [4-6] и осуществляются следующим образом.

Теплота от греющего теплоносителя, протекающего по каналу с диаметром D_2 , передается через разделительную стенку теплоносителю, протекающему в межтрубном пространстве, от которого происходит нагревание теплоносителя, протекающего по спиральному трубопроводу. Предполагается, что известны расходы теплоносителей и их скорости движения, известен диаметр D_2 . По расходам теплоносителей определяется диаметр D_4 трубки спирального трубопровода, живое сечение F_3 теплоносителя, протекающего по межтрубному пространству считается, что

теплотехническим расчетом определена удельная поверхность спирального трубопровода $f_{уд}$, обозначающая площадь поверхности спирального трубопровода, отнесенная к одному метру длины теплообменника.

Для указанных исходных данных необходимо определить:

- диаметр спирального трубопровода $D_{спир}$;
- шаг навивки спирального трубопровода b ;
- наружный диаметр теплообменника D_3 ;

Для решения поставленных задач выполним развертку спирального трубопровода (рис.2).

При неизменном значении угла навивки спирального трубопровода он будет выражаться на развертке в виде отдельных отрезков.

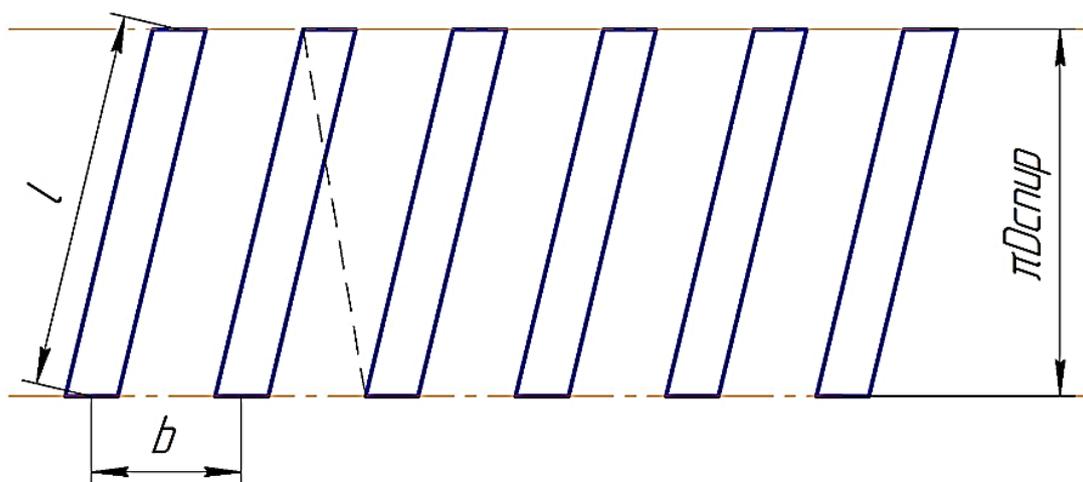


Рис. 2. Схема развертки спирального трубопровода отрезков

В соответствии с рис. 2 длина одного витка спирального трубопровода выразится зависимостью:

$$l = \sqrt{b^2 + (\pi D_{спир})^2} \quad (2)$$

Наружная поверхность одного

витка спирального трубопровода составит:

$$F_b = \pi D_4 \cdot l = \pi D_4 \sqrt{b^2 + (\pi D_{спир})^2} \quad (3)$$

Удельная поверхность спирального трубопровода

определяется по формуле:

$$F_{y\delta} = \frac{Fb}{b} = \frac{\pi D_4}{b} \cdot \frac{b^2 + (\pi D_{спир})^2}{\pi D_4 \sqrt{1 + \left(\frac{\pi D_{спир}}{b}\right)^2}} \quad (4)$$

При известной величине удельной поверхности спирального трубопровода шаг навивки спирального трубопровода составит

$$b = \frac{\pi D_{спир}}{\sqrt{\left(\frac{f}{\pi D_4}\right)^2 - 1}} \quad (5)$$

Из формулы (5) вытекает ряд ограничений на исходные данные:

- первое – $f_{y\delta} / (\pi D_4) > 1,0$;
- второе – $b > D_4$.

Второе ограничение в соответствии с формулой (5) можно выразить зависимостью:

$$D_4 < \frac{\pi D_{спир}}{\sqrt{\left(\frac{f_{y\delta}}{\pi D_4}\right)^2 - 1}} \quad (6)$$

Формулу (6) можно представить в виде:

$$D_4^2 + (\pi D_{спир})^2 > (f_{y\delta} / \pi)^2 \quad (7)$$

В формуле (7) величина D_4 существенно меньше величины $(\pi D_{спир})^2$ и величиной D_4^2 можно пренебречь. В этом случае соотношение (7) приведет к виду:

$$D_{спир} > f_{y\delta} / (\pi)^2 \quad (8)$$

Таким образом, второе ограничение ($b > D_4$) сводится к соотношению (8).

В приведенных выше формулах фигурирует величина $D_{спир}$, которую необходимо определять через известные исходные данные.

Необходимо определить также наружный диаметр теплообменника D_3 .

Для решения данных вопросов изобразим поперечное сечение теплообменника (рис. 3).

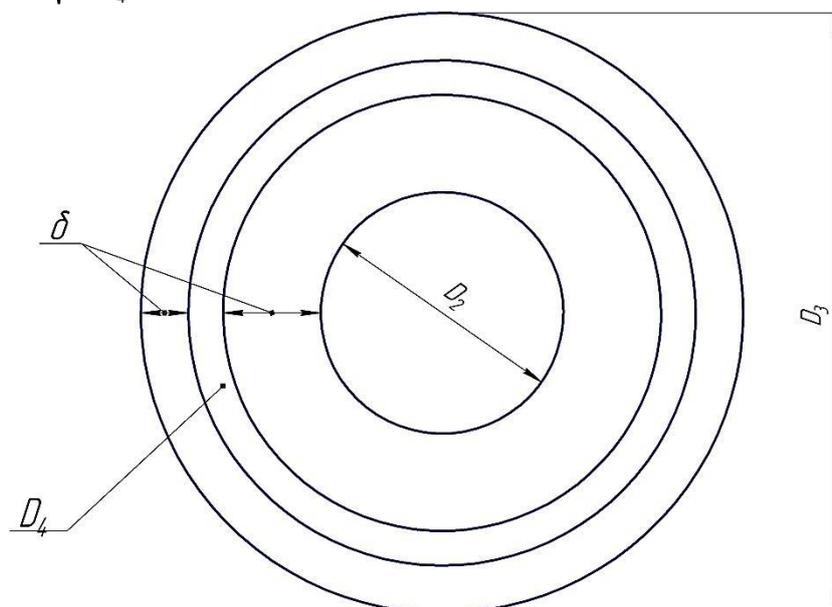


Рис. 3. Схема поперечного сечения теплообменника

В соответствии с рисунком 3 наружный диаметр теплообменника выразится зависимостью:

$$D_3 = D_2 + 4\delta + 2D_4. \quad (9)$$

В этой формуле величины D_2 и D_4 считаем известными, неизвестной является зазор δ . Для определения величины δ примем к сведению, что расход теплоносителя V в межтрубном пространстве и скорость его движения ν известны, тогда живое сечение этого потока F составит

$$F = V/\nu. \quad (10)$$

Из рисунка (3) видно, что площадь F является функцией площадей с диаметрами D_2 и D_3 и площади, занимаемой спиральным трубопроводом.

$$F = \frac{\pi}{4}(D_2 + 4\delta + 2D_4)^2 - \frac{\pi}{4}D_2^2 - D_4 \cdot \pi(D_2 + 2\delta + D_4). \quad (11)$$

После ряда алгебраических преобразований из уравнения (11) получаем соотношение:

$$\delta^2 + \frac{1}{2}\delta(D_2 + D_4) - \frac{F}{4\pi} = 0. \quad (12)$$

В результате решения квадратного уравнения (12) получаем:

$$\delta = -\frac{D_2 + D_4}{4} + \sqrt{\left(\frac{D_2 + D_4}{4}\right)^2 + \frac{F}{4\pi}}. \quad (13)$$

Для определения наружного диаметра теплообменника D_3 соотношение (13) подставляем в (8) и после некоторых преобразований получаем зависимость для определения

D_3 :

$$D_3 = D_4 + \sqrt{(D_2 + D_4)^2 + \frac{4F}{\pi}}. \quad (14)$$

Следующая искомая величина $D_{спир.}$ в соответствии с рисунком 3 определяется по соотношению

$$D_{спир.} = D_2 + D_4 + 2\delta. \quad (15)$$

В формулу (15) подставляем значение δ из (13); и после некоторых алгебраических преобразований получаем:

$$D_{спир.} = \frac{1}{2}(D_2 + D_4) + \frac{1}{2}\sqrt{(D_2 + D_4)^2 + \frac{4F}{\pi}}. \quad (16)$$

Полученное выражение для определения диаметра спирального трубопровода (16) подставляем в формулу (5) для определения шага навивки спирального трубопровода.

Выводы

Для регенеративного теплообменника со спиральным трубопроводом получены расчетные зависимости для определения диаметра спирального трубопровода.

Список литературы:

1. Олексюк А.А. К вопросу о современных теплообменных аппаратах / А.А. Олексюк, Е.А. Бондарь, А.А. Бондарь // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2019. – №1. – 93 с.
2. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан. – М.: Машиностроение, 1989 – 265 с.
3. Теплообменные аппараты и

системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов / В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов – Под редакцией А.И. Леонтьева. 2-е изд., стереотип. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004 – 592 с.

4. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярко; 2-е издание перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981.– 205 с.

5. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок: Учебное пособие для вузов / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, П.Г. Удыма – Под ред. А.М. Бакластова, – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.

6. Процессы и аппараты химической промышленности. / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия. 1995. – 400 с.

Аннотации:

Для регенеративного теплообменника со спиральным трубопроводом разработаны расчетные зависимости для определения основных параметров, таких как шага навивки спирального трубопровода, наружного и внутреннего диаметра теплообменника, удельная поверхность спирального трубопровода при его известной мощности.

Ключевые слова: спиральный трубопровод, шаг навивки трубопровода, теплообмен, теплоноситель.

For a regenerative heat exchanger with a spiral pipeline, design relationships have been developed to determine the pitch of the spiral pipeline, the outer diameter of the heat exchanger, with its known power.

Keywords: spiral pipeline, pipeline winding step, heat exchange, heat carrier.