

Исследование влияния профиля диафрагмированных труб теплообменников на эффективность теплообмена

Ямилев М.З., Исмагилов А.З.

Научный руководитель – Туманова Е.Ю.

г.Уфа, Уфимский государственный нефтяной технический Университет

Технологические процессы нефтепереработки и нефтехимии невозможно представить без теплообменных аппаратов. Наибольшее распространение получили теплообменники с трубчатой поверхностью теплообмена. Для турбулизации потоков и повышения эффективности теплообмена применяют различные виды наружного и внутреннего оребрения. В качестве внутреннего оребрения применяются различные вставки или используются диафрагмовые трубы.

1. Объекты и методы исследования

В данной работе численное исследование проводилось с использованием программного комплекса FlowVision, который предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах.

Эскизы трубки теплообменного аппарата, для которых были проведены исследования, представлены на рисунках. Характерные размеры трубок были следующие: внутренний диаметр трубок – 80 мм; толщина стенки трубки – 4,5 мм; длина трубки 2000 мм. Отношение длины трубки к диаметру оказывает влияние на теплообмен, так как профили температур и скоростей устанавливаются не сразу. В данной работе отношение $L/d_b = 25$. При этом поправочный коэффициент в расчетах составит $E = 1,08$.

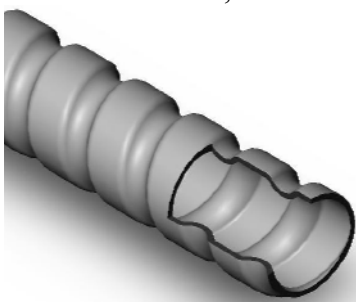
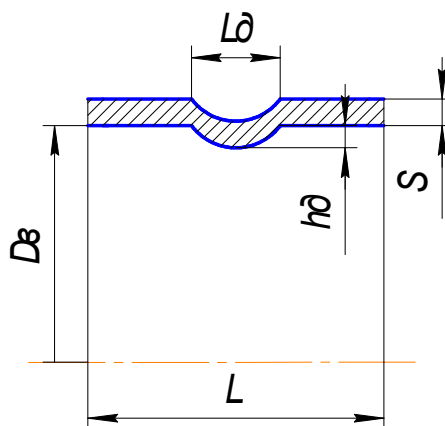


Рис.1 – Эскиз диафрагмированной трубки теплообменного аппарата



L_d – ширина диафрагмы; h_d – высота диафрагмы; S – толщина трубы; D_b – внутренний диаметр трубы; L – шаг спирали

Рис.2 – Эскиз спирально диафрагмированной трубы

Размеры спирально диафрагмированных труб использованных в расчетах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры спирально диафрагмированных труб

| Номер трубы | L_d , мм | h_d , мм | L , мм |
|-------------|------------|------------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 20 | 5,66 | 60 |
| 2 | 30 | 5,67 | 60 |
| 3 | 20 | 5,66 | 40 |
| 4 | 20 | 4,14 | 40 |
| 5 | 20 | 5,66 | 50 |
| 6 | 20 | 4,14 | 50 |
| 7 | 30 | 8,03 | 60 |
| 8 | 30 | 8,03 | 70 |
| 9 | 40 | 8,28 | 80 |
| 10 | 45 | 8,38 | 90 |
| 11 | 30 | 8,03 | 90 |

В таблице 1 всем спирально диафрагмированным трубам присвоены порядковые номера, которые будут использованы в дальнейшем при представлении результатов.

Результатом численного эксперимента являются полученные значения температур и давления в любой точке расчетной области. Так же по результатам численного эксперимента можно определить коэффициент теплоотдачи от керосина к трубе. Он определяется по текущим характеристикам трубы в программном комплексе FlowVision при подстановке их в формулу

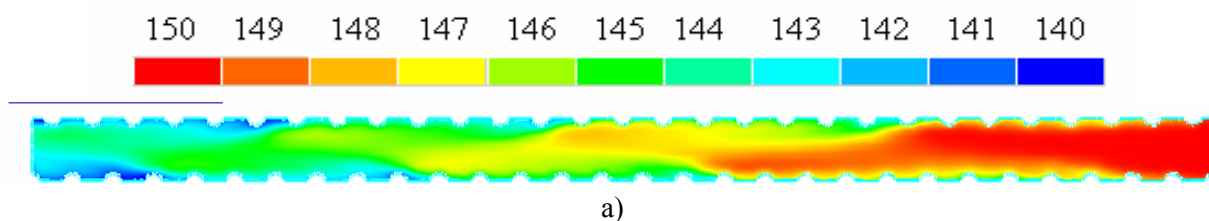
$$\alpha = \frac{Q}{t_{ж} - t_{ст}} \quad (1)$$

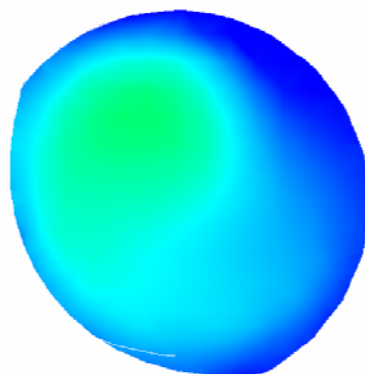
где Q – поток тепла; $t_{ж}$ – средняя температура жидкости у стенки по потоку; $t_{ст}$ – средняя температура стенки трубы по длине.

Причем при определении коэффициента теплоотдачи в данной работе гладкие и диафрагмированные участки трубы рассматривались отдельно.

2 Теплообмен через диафрагмированные трубы

В результате численного эксперимента получены распределения температур и давления жидкости во всех точках расчетного пространства, что позволило оценить эффективность конструкции. Поскольку в данной работе рассматривались спирально диафрагмированные трубы одного диаметра, но с разными значениями ширины диафрагм, их высоты и шага спирали, то характер распределения температур и давлений по сечениям сохранялся. Поэтому для наглядности на рис.3 представлено распределение температур в трубном пространстве в продольном и поперечном сечениях соответственно для спирально диафрагмированной трубы № 8.





б)

а – в продольном сечении;

б – в поперечном;

Рис.3 – Распределение температуры в сечении спирально диафрагмированной трубы

По этим рисункам видно, что диафрагмы способствуют перемешиванию потока, поэтому теплообмен протекает интенсивнее и процесс охлаждения протекает значительно быстрее.

3 Анализ полученных результатов

В результате проведенных исследований были получены потоки тепла, температуры стенок, температуры жидкости, давление на входе в трубу и выходе. А так же ряд величин необходимых для сравнительной оценки исследуемых труб. Коэффициент теплоотдачи был рассчитан по формуле 1, при этом программный комплекс позволяет получить значения потока тепла, температура жидкости и температура стенки по гладким и спиральным участкам трубы отдельно. Результаты численного исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная таблица результатов исследуемых труб

| Номер образца | Давление на входе, Па | Давление на выходе, Па | Температура на выходе, °С | Коэф. теплоотдачи по спирали, Вт/м ² ·К | Коэф. теплоотдачи по гладкой пов-ти, Вт/м ² ·К |
|---------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 452 | 100 | 141,4 | 487,6 | 402,9 |
| 2 | 335 | 92 | 141 | 517,8 | 405,3 |
| 3 | 486 | 100 | 142 | 445,2 | 334,7 |
| 4 | 330 | 95 | 145 | 465,9 | 340,3 |
| 5 | 470 | 105 | 141,7 | 489,9 | 376,4 |
| 6 | 340 | 95 | 142,6 | 471,2 | 369,2 |
| 7 | 470 | 100 | 139,8 | 534,1 | 404,7 |
| 8 | 445 | 100 | 138 | 560,8 | 425,3 |
| 9 | 384 | 95 | 138,4 | 582,1 | 444,3 |
| 10 | 311 | 92,5 | 139,8 | 591 | 461,7 |
| 11 | 397 | 95,6 | 140,1 | 578 | 477 |

По данным таблицы 2 были построены ряд зависимостей, которые позволяют судить об эффективности применения спирально диафрагмированных труб в теплообменных аппаратах.

На следующем рис.4 представлена зависимость температуры жидкости на выходе от шага спирали.

По графику на рис.4 можно сделать вывод, что существует определенный оптимальный шаг спирали, при котором достигается наибольшая турбулизация потока. Если увеличивать шаг спирали, то жидкость будет вовлекаться в движение по виткам спирали, а значит эффективность применения диафрагм снизится.

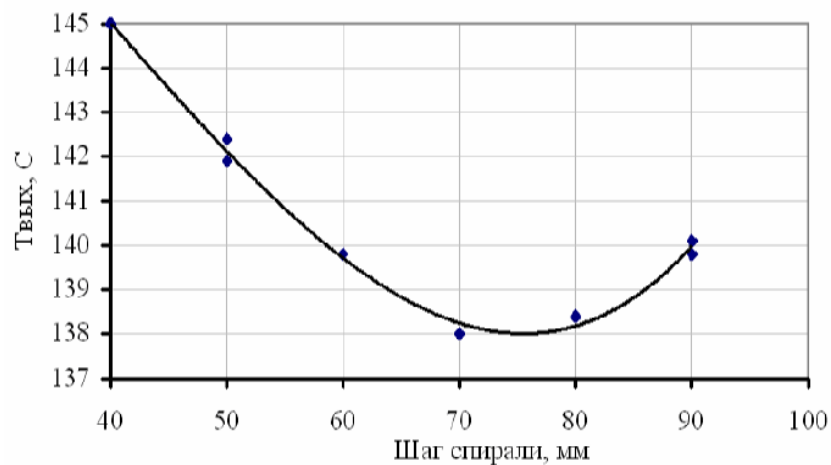


Рис.4 – Зависимость температуры жидкости на выходе от шага спирали

На рис.5 представлена зависимость разности давлений на выходе и входе от шага спирали. Для сравнения были рассмотрены трубы с диафрагмами одинаковой высоты, номера: 7, 8, 9, 10. Чем меньше шаг, тем больше будет увеличиваться гидравлическое сопротивление жидкости, а значит и давление на выходе, будет расти. Это так же повлечет за собой увеличение давления на входе. Значит, потребуется применение более мощных насосов.

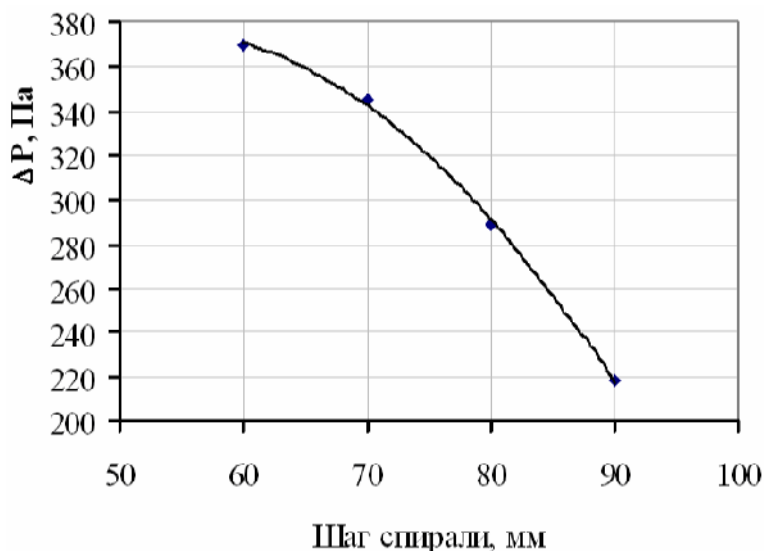


Рис.5 – Зависимость разности давлений на выходе от шага спирали

Рассмотрим как влияет высота диафрагм на температуру жидкости на выходе. Для этого сравним трубы, у которых отношение ширины диафрагм к шагу спирали одинаковые, а меняется высота диафрагм. Это трубы № 2, 4, 7 и 10. Полученная зависимость представлена на рис.6.

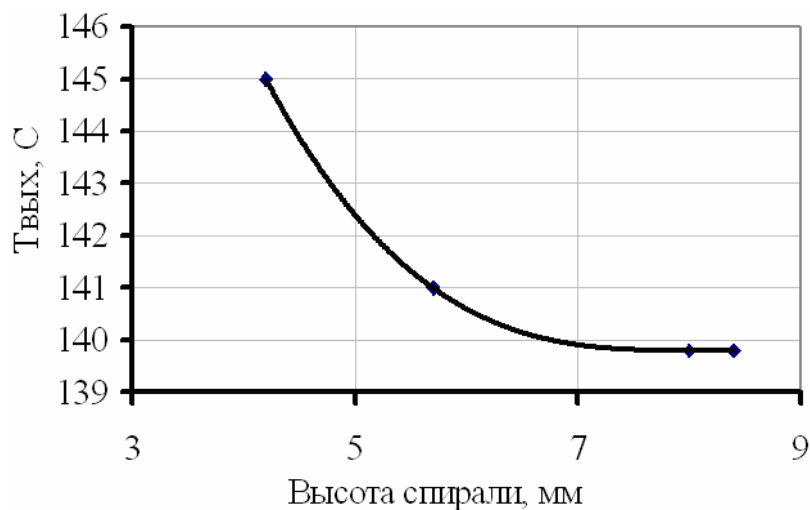


Рис.6 – Зависимость температуры жидкости на выходе от высоты спирали

По данной зависимости можно сделать вывод, что при оптимальном сочетании ширины диафрагмы и шага температура жидкости на выходе будет уменьшаться при увеличении высоты спирали. Зависимость носит гиперболический характер, поэтому увеличение высоты спирали до бесконечности не имеет смысла. Существует некоторое оптимальное значение высоты, при котором достигается наилучший теплообмен.

Высота спирали оказывает влияние на разность давления на входе в трубу и на выходе. Чем она больше, тем разность давления больше. На рис.7 представлена зависимость разности давлений на входе и выходе от высоты спирали. Увеличение высоты спирали повлечет за собой не только увеличение гидравлического сопротивления, но и повышение напряжений в местах перехода гладких участков трубы в диафрагмированные, а это недопустимо.

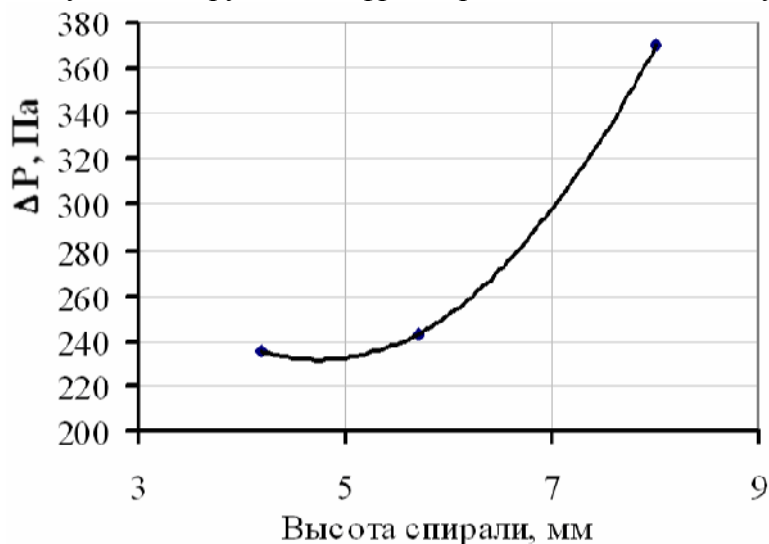


Рис.7 – Зависимость разности давлений от высоты спирали

4 Заключение

Применение спирально диафрагмированных труб повышает коэффициент теплоотдачи, снижает расход металла и время охлаждения жидкости. При оптимальном выборе отношения $L_d/h_d/L$ эффективность спирально диафрагмированных труб достаточно велика.

В работе получены зависимости технологических параметров теплообмена от конструктивных размеров, которые позволят выбирать оптимальные параметры диафрагмирования труб.