

## Разработка новейшего перспективного кожухотрубчатого теплообменного аппарата с разборными трубными пучками

М. А. Лобанов\*, М. А. Дацкевич

Башкирский государственный университет

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, улица Заки Валиди, 32.

\*Email: lobanov@bgutmo.ru

Рассмотренный в статье прототип нового кожухотрубчатого теплообменного аппарата является предполагаемой альтернативой другим видам теплообменников для различных сфер промышленности. В данном теплообменнике каждая труба имеет гофрированную поверхность и изогнута в форме эвольвенты, в связи с чем прочистить трубы механическим путем вызывает ряд осложнений. Поэтому было предложено провести эксперимент, который бы показал степень отложения грязного слоя на стенках гофрированной трубы для сравнения с гладкой трубой, которую применяют в стандартных теплообменниках.

**Ключевые слова:** теплообменник, гофрированный, разборный, плотноупакованный, энергоэффективность, ремонтпригодность, металлоемкость.

Был выполнен анализ методом конечных элементов, где сравниваются две тонкостенные трубы – гофрированная и гладкостенная. Были разработаны трехмерные модели двух теплообменников типа "труба в трубе", где размещены две вышеперечисленные трубы. Габаритные размеры представлены в таблице 1.

Таблица 1. Размеры теплообменников типа "труба в трубе"

№	Наименование	Размерность	Значение
1	Диаметр гладкой трубы, наружный	мм	17
2	Диаметр гофрированной трубы, наружный (мин/макс)	мм	14/18
3	Длина гладкой трубы	мм	1034
4	Длина гофрированной трубы	мм	1034
5	Толщина стенки гладкой трубы	мм	0.3
6	Толщина стенки гофрированной трубы	мм	0.3
7	Материал гладкой трубы	-	20X23H18
8	Материал гофрированной трубы	-	20X23H18
9	Внутренний диаметр кожуха гладкой трубы	мм	30
10	Внутренний диаметр кожуха гофрированной трубы	мм	30

В последующем к каждой трехмерной модели создали конечно-элементную сетку. Для большей точности расчета была построена сетка с маленькими относительно всей детали элементами [3].

Далее были созданы трехмерные модели, отражающие пустое пространство, по которому пойдет жидкость. Для нее тоже была создана сетка конечных элементов. Затем были заданы материалы для каждой детали. Материалы указаны в таблице 1.

Финальным штрихом было указание входных и выходных граней, а также массовый расход и температуры. Рабочей средой была обычная вода. Технологические данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Данные технологического процесса для первого эксперимента

№	Наименование	Размерность	Значение
1	Расход жидкости в гофрированной трубе	кг/час	700
2	Расход жидкости в гладкостенной трубе	кг/час	700
3	Расход жидкости в межтрубном пространстве снаружи гофрированной трубы	кг/час	1000
4	Расход жидкости в межтрубном пространстве снаружи гладкой трубы	кг/час	1000
5	Температура жидкости на входе в гофрированную трубу	°C	85
6	Температура жидкости на входе в гладкостенную трубу	°C	85
7	Температура жидкости снаружи гофрированной трубы	°C	20
8	Температура жидкости снаружи гладкой трубы	°C	20

Логично предположить, что при одинаковых расходах и площади сечения трубы, средняя скорость градиента скоростей в поперечной или продольной плоскостях будет одинакова [2]. И в связи с тем, что в прямой гладкостенной трубе преобладает ламинарный поток, значения скоростей на каждом участке не сильно различаются друг от друга. Градиент скоростей в продольном разрезе гофрированной трубы показан на рисунке 1.

При ближайшем рассмотрении видно, что поток в приграничном слое гофрированной трубы теряет скорость из-за характерной неровной поверхности трубы [5]. Созданные возле стенки завихрения создают гидравлические сопротивления и центральный поток начинает ускоряться. Можно сделать вывод, что при одинаковом расходе и площади сечения в гофрированной трубе поток является турбулентным, что положитель-

но сказывается на теплопередаче. Но учитывая снижение скорости в области гофр, была выдвинута теория, что вероятность отложения загрязнений увеличивается [3].

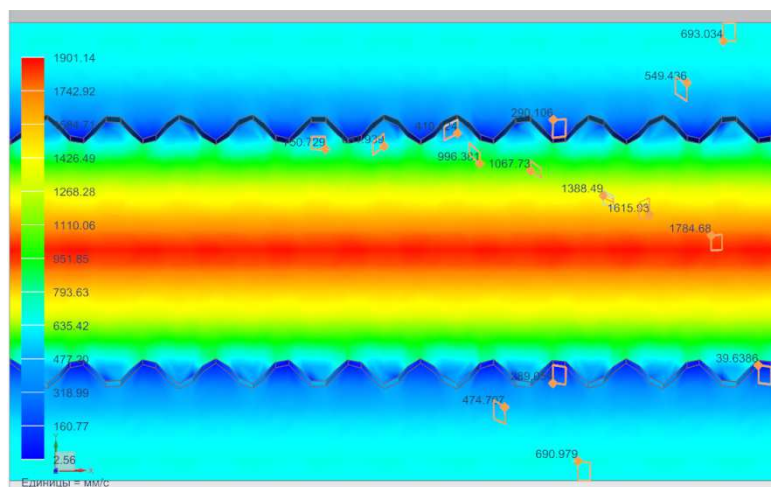


Рис. 1. Градиент скоростей потока жидкости в гофрированной трубе.

Был выполнен анализ характеров движения жидкостей в гладкой и гофрированной трубах. Полученные результаты анализа показывают наличие завихрений в гофрированной трубе (рисунок 2).

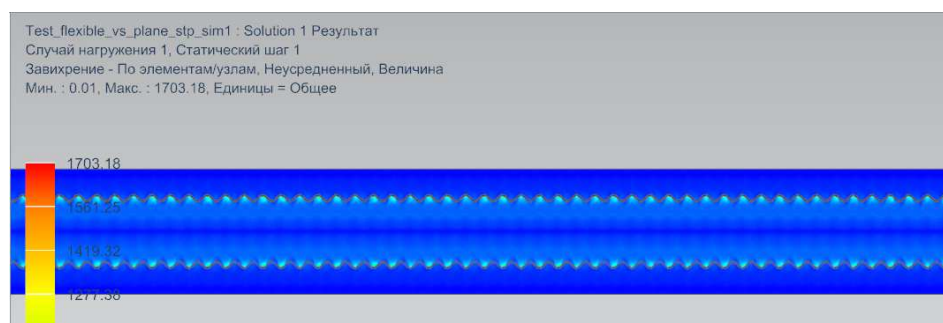
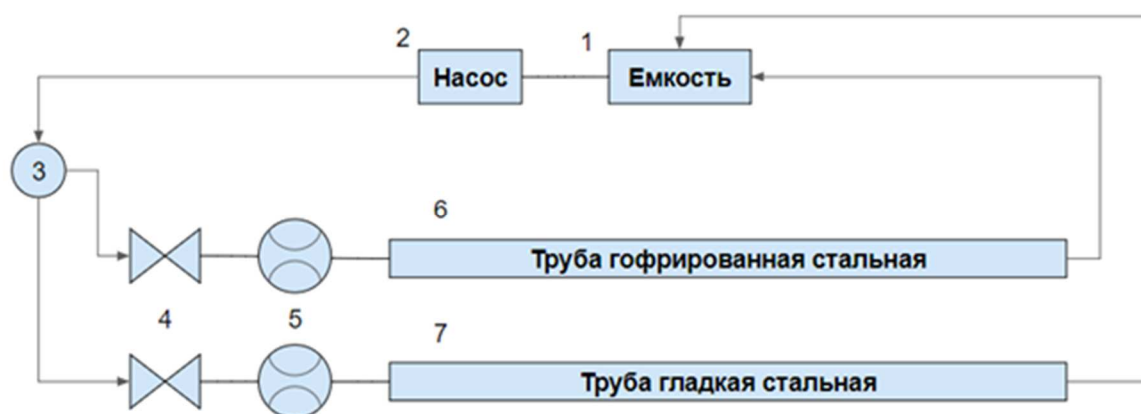


Рис. 2. Завихрения потоков в гофрированной трубе.

На основании данных результатов был сделан вывод о том, что образовавшиеся завихрения снижат скорость отложения налета на внутренних стенках гофрированной трубы.

Чтобы подтвердить истинность одной из предложенных гипотез, было решено провести эмпирический анализ. Был разработан испытательный стенд в лаборатории, схема которого представлена на рисунке 3.



1 – емкость, 2 – насос, 3 – тройник, 4 – шаровые краны, 5 – расходомер, 6 – труба гофрированная стальная, 7 – труба гладкая стальная

Рис. 3. Технологическая схема испытательного стенда.

Таблица 3. Технические характеристики испытательного стенда

№	Наименование	Размерность	Значение
1	Максимальная производительность насоса	л/мин	133
2	Объем резервуара	л	30
3	Концентрация раствора	гр/л	33
4	Расход жидкости в трубе	л/мин	7
5	Шаг измерения весов	гр	1

Таблица 4. Сравнительные характеристики труб и результаты эксперимента

№	Характеристика	Гладкая	Гофрированная
1	Диаметр трубы	17	14–18
2	Длина трубы, м	2	2
3	Толщина стенки, мм	1	0.3
4	Марка стали	13ХФА	08Х18Н10
5	Масса трубы до испытания, кг	2.504	0.278
6	Масса трубы после испытания, кг	2.508	0.278
7	Разница в массе испытуемых труб, гр	4	0



Рис. 4. Стальная гладкая и гофрированная труба в разрезе.

Эксперимент показал, что в стальной гофрированной трубе загрязняющий слой образуется медленнее в 4 раза по сравнению со стальной гладкой трубой (рис. 4). Этому способствует турбулентный поток жидкости, который достигается даже при низких скоростях потока за счет характерной формы стенок гофрированной трубы. Следовательно, стальные гофрированные трубы можно применять в новейшей конструкции кожухотрубчатого теплообменника.

## Литература

1. Абдеев Э. Р. Проектирование энергоэффективной теплообменной аппаратуры с эвольвентно-профильными элементами / Абдеев Э. Р., Лобанов М. А., Дацкевич М. А. Международная научно-практическая конференция «Инновации в производстве и подготовке технических кадров» – Казахстан, г. Актобе, АРГУ им. К. Жубанова, ноябрь 2016. С. 138–140.
2. Абдеев Э. Р. Исследование энергоэффективности различных компоновок трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения / Мицкевич П. В., Швецов М. В., Абдеев Р. Г., Кузнецов В. А. Нефтегазовое дело. Том 6, УГНТУ, 2012. – С. 404–418.
3. Лобанов М. А. Разработка энергоэффективного кожухотрубчатого теплообменного аппарата эвольвентно-профильного типа / Выпускная квалификационная работа магистра, Инженерный факультет БашГУ, Июнь 2017. – 82 с.
4. Абдеев Э. Р. Проектирование энергоэффективной теплообменной аппаратуры с эвольвентно-профильными элементами / Абдеев Э. Р., Лобанов М. А. II Всероссийская научно-практическая молодежная конференция с международным участием «Современные технологии композиционных материалов» – Уфа, БашГУ, 2016. – С. 146–148.
5. Лобанов М. А. Исследование тепловой эффективности трубных пучков оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения / Дацкевич М. А., Лобанов М. А. Международная научно-техническая конференция "Современные технологии в нефтегазовом деле – 2017", Сборник трудов. Том 2. УГНТУ, филиал в г. Октябрьском, 31 марта 2017. С. 140–143.

Статья рекомендована к печати кафедрой технологических машин и оборудования Инженерного факультета Башкирского Государственного университета (к.т.н., доцент Юминов И. П.)

## **Development of the newest perspective shell-and-tube heat exchanger with demountable tube bundles**

M. A. Lobanov\*, M. A. Datskevich

*Bashkir State University*

*32 Zaki Validi Street, 450074 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

*\*Email: lobanov@bgutmo.ru*

The prototype of the new shell-and-tube heat exchanger considered in the article is a prospective alternative to other types of heat exchangers. In this heat exchanger, each tube has a corrugated surface and is curved in the form of an evolvent, and therefore it is difficult to clean tubes mechanically. Therefore, it was suggested to conduct an experiment that would show the degree of deposition of the dirty layer on the walls of the corrugated tube for comparison with a plane tube, which is used in standard heat exchangers.

**Keywords:** heat exchanger, corrugated, demountable, close-packed, energy efficiency, maintainability, metal consumption.