

8. Новинский, Г.М. Влияние полимерных добавок на деформационно-прочностные и реологические свойства технологических отходов полипропилен-полиэтиленовых смесей / Г.М. Новинский, И.В. Никитина, А.В. Филатов, В.К. Крыжа-

новский // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2012. – № 13. – С. 42-45.

УДК 621

*Дементьев Анатолий Иванович,*

*к.т.н., доцент, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: anatdementev@mail.ru*

*Подоплелов Евгений Викторович,*

*к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: uch\_sovet@angtu.ru*

*Петрушин Георгий Александрович,*

*студент кафедры «Машины и аппараты химических производств», ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: georg.petrushin@yandex.ru*

*Петрушина Анна Дмитриевна,*

*студентка кафедры «Машины и аппараты химических производств», ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: tut.ann4@yadex.ru*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ОШИПОВАННЫХ ТРУБАХ

*Dement'ev A.I., Podoplelov E.V., Petrushin G.A., Petrushina A.D.*

#### INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN STUDDED PIPES

**Аннотация.** В работе поставлена цель интенсификации процесса теплообмена с помощью шипования труб в теплообменном аппарате. Благодаря ошипованным трубам, значительно увеличивается площадь поверхности теплообмена, что позволяет получить более эффективный теплообмен. Шипы наносятся на трубу с помощью электрометаллизатора марки ЭМ-14М. Металлизированные поверхности позволяют добиться более высокого коэффициента теплоотдачи, в сравнении с гладкой трубой, и сократить металлоемкость теплообменного оборудования.

**Ключевые слова:** кожухотрубный теплообменный аппарат, теплоотдача, интенсификация, электрометаллизатор, ошипованные трубы

**Abstract.** The aim of the paper is to intensify the heat exchange process by means of studding pipes in a heat exchanger. Thanks to the studded pipes, the area of the heat exchange surface is significantly increased, which allows for more efficient heat exchange. The sheets are applied to the pipe using an EM-14M electrometallizer. Metallized surfaces make it possible to achieve a higher heat transfer coefficient, in comparison with a smooth pipe, and reduce the metal consumption of heat exchange equipment.

**Keywords:** shell-and-tube heat exchanger, heat transfer, intensification, electrometallizer, studded pipes.

Теплообменные аппараты - это один из наиболее металлоемких видов оборудования. Снижение металлоемкости и уменьшение габаритных размеров является актуальной задачей на сегодняшний день. Чтобы добиться поставленной задачи, нужно повышать эффективность работы теплообменного оборудования [1, 2].

Для этого существует много различных способов: оребрение труб, нанесение алюми-

ниевых или цинковых металлических покрытий на внутреннюю и внешнюю поверхность теплообменных труб, использование витых труб, а также шипование. Ошипованные трубы являются одной из самых перспективных разработок в области интенсификации процесса теплообмена.

В данном исследовании мы обратим внимание на кожухотрубный теплообменный аппарат с сегментными перегородками, ко-

торый является частью технологической схемы установки ЭЛОУ+АВТ-6 нефтеперерабатывающего производства АО "Ангарская нефтехимическая компания".

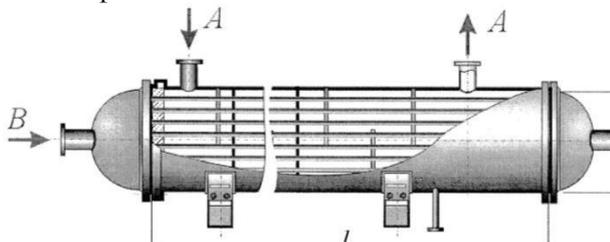


Рисунок 1 – Общий вид теплообменного аппарата.

Основной функцией этого аппарата является конденсация углеводородных соединений, проходящих через трубное пространство. Вода используется в качестве хладагента, которая циркулирует в межтрубном пространстве теплообменника. Теплообменный аппарат имеет следующие технические характеристики: диаметр корпуса  $D_b=1,4$  м, длина корпуса  $l=9$  м, внешний диаметр теплообменных труб  $d_n=0,025$  м, внутренний диаметр теплообменных труб  $d_b=0,02$  м, общее количество труб  $n=1203$  шт.

Для увеличения эффективности процесса конденсации углеводородных соединений в теплообменнике предлагается применить металлизированное покрытие в виде шипов на внешней поверхности теплообменных труб. Эти шипы имеют следующие параметры: высота - от 2,0 до 4,0 мм, шаг нанесения - 10 мм. Они наносятся при помощи электрометаллизатора марки ЭМ-14М.

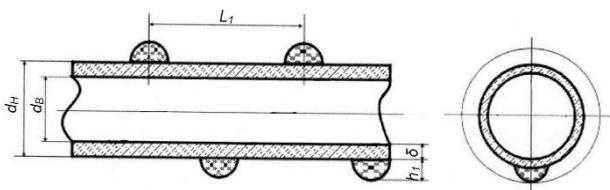


Рисунок 2 – Конструктивные параметры металлизированного покрытия.

Ошипованные трубы применяются во многих промышленных отраслях, так как использование металлизированного покрытия с шипами на поверхности теплообменных труб позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи. Это связано с тем, что шипы создают дополнительные точки контакта между газом и поверхностью труб. Площадь такой поверхности значительно больше, в сравнении с гладкой трубой, что приводит к лучшему

теплообмену. Шипы на наружной поверхности труб рассеивают тепло, что способствует более эффективному охлаждению или нагреву рабочей среды.

Для проведения теплового расчета теплообменного аппарата были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи для воды, протекающей через межтрубное пространство в трубах с металлизированным покрытием и без него. В расчетах использовались следующие параметры: расход воды  $V=118$  м<sup>3</sup>/ч, начальная температура воды  $t_n=20$  °С и конечная температура  $t_k=40$  °С [3].

Для определения коэффициента теплоотдачи в случае отсутствия напыления на поверхности труб, рассчитывался критерий Нуссельта при движении теплоносителя в межтрубном пространстве с сегментными перегородками:

$$Nu = 0,2Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33},$$

где:  $Re$  – критерий Рейнольдса;  $Pr$  – критерий Прандтля.

Расчет скорости производился исходя из приведенного сечения потока:

$$S_{прив} = \frac{S_{межтр} \cdot h \cdot \psi}{l_{прив}},$$

где:  $S_{межтр}$  – сечение межтрубного потока;

$h = \frac{0,25D_b}{1,415\psi}$  – расстояние между перегородками;

$l_{прив} = h - \frac{2}{3}D_b$  – приведенная длина

потока;  $\psi = \frac{1 - \frac{d_n}{t}}{1 - 0,99\left(\frac{d_n}{t}\right)^2}$ ;  $t=32$  мм – шаг

труб.

Коэффициент теплоотдачи был определен с помощью уравнения:

$$\alpha_{воды} = \frac{\lambda}{d_n} \cdot Nu,$$

где:  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воды.

Его значение для воды, протекающей между гладкими трубами в межтрубном пространстве, составило 1598 Вт/(м<sup>2</sup>·К)

При расчете коэффициента теплоотдачи для воды на поверхности труб с металлизированным шипованным покрытием использовалось уравнение, применимое для шахматного пучка труб:

$$Nu = 2,8Re^{0,46} \left( \frac{d_n}{L} \right)^{-0,6} \cdot \left( \frac{l_0}{h} \right)^{0,36},$$

где:  $h=2$  мм – высота напыления;  $l_0 = \frac{\pi \cdot d_n}{z}$

– шаг нанесения шипов;  $z=40$  – число шипов.

Определяющими параметрами при этом были шаг нанесения шипов  $l_0$  и средняя температура теплоносителя. Результаты расчета показали, что коэффициент теплоотдачи для воды, протекающей между трубами с металлизированным покрытием, составил 3748 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Таким образом, в случае использования металлизированного покрытия коэффициент теплоотдачи со стороны воды увеличивается в 2,35 раза по сравнению с обычными гладкими трубами [4].

Одно из главных преимуществ использования ошипованных труб – защита от коррозии. Коррозия – это процесс разрушения материала под воздействием окружающей среды. В трубах коррозия может стать серьезной проблемой, так как она может привести к образованию трещин и других дефектов, что в свою очередь вызывает протечки и неполадки в системе. Важно отметить, что хорошо противостоят коррозии трубы с шипами именно из цинка. Цинк создает барьер между металлом трубы и окружающей средой, предотвращая контакт и реакцию между ними. Благодаря защите от коррозии, ошипованные трубы обладают долгим сроком службы и сохраняют свою прочность и надежность, даже при эксплуатации в агрессивных условиях. Это особенно важно в отраслях, где трубы подвержены высокой влажности, воздействию химических веществ или образованию конденсата.

Шипование труб не только повышает эффективность теплообмена, но и препятствует образованию коррозионных отложений. Шипы укрепляют структуру труб, снижая возможность деформации трубопровода. Это особенно важно в условиях высокого давления.

Также стоит отметить, что использование металлизированного покрытия с шипами может снизить образование налета на поверхности труб. Ошипованные трубы перемешивают поток, снижают его скорость. Таким образом предотвращается образование

отложений, которые отрицательно влияют на производительность и повышают износ системы.

Такое металлизированное покрытие снижает вероятность образования конденсата в системе, что улучшает работу и увеличивает срок службы теплообменных аппаратов [5].

Ошипованные трубы особенно эффективно повышают теплообмен в случаях, когда жидкости имеют высокую вязкость или малую теплопроводность.

Шипование имеет ряд преимуществ, которые позволяют снизить затраты на обслуживание. Во-первых, они обладают более длительным сроком службы по сравнению с обычными трубами. Благодаря повышенной устойчивости к износу и коррозии, они реже требуют замены и ремонта. Это позволяет сократить простои и увеличить продолжительность работы оборудования. Во-вторых, ошипованные трубы имеют меньший риск прорывов и утечек. Таким образом, время, затрачиваемое на техническое обслуживание и ремонт, сокращается. Оборудование становится более эффективным и производительным. Кроме того, использование ошипованных труб помогает снизить затраты на замену трубопроводов, а также требуют меньше затрат на их очистку и устранение сопутствующих проблем, таких как накипь или отложения.

Таким образом, применение металлизированного покрытия с шипами на поверхности теплообменных труб кожухотрубного теплообменного аппарата может значительно улучшить его производительность и эффективность. Это может быть полезно для различных промышленных процессов, требующих эффективного теплообмена и конденсации углеводородных соединений [6].

Из этого можно сделать вывод о том, что ошипованные трубы более надежны и долговечны. За счет более эффективного теплообмена и лучшего функционирования оборудования повышается производительность системы, обеспечивается непрерывность ее работы. Более того, такой подход позволяет снизить габаритные размеры теплообменного оборудования и его металлоемкость. Все это приводит к значительной экономии средств и ресурсов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ульянов, Б.А. Процессы и аппараты химической технологии / Б.А. Ульянов, В.Г. Ликучев, В.Я. Бадеников – Ангарск.: Изд-во АГТА, 2006. – 744с
2. Чернобыльский, И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И. Чернобыльский – М.: Химия, 1975. – 457с.
3. Дементьев, А.И. Определение параметров математической модели тепловых процессов в аппаратах с напыленными теплообменными поверхностями / А.И. Дементьев, Л.И. Рыбалко, В.А. Комаров // Вестник АГТА – Ангарск: АГТА – 2009 – С. 32-35.
4. Дементьев, А.И. Математическая модель тепловых процессов в слое пористого металлического покрытия / А.И. Дементьев, Е.В. Подоплелов, Л.А. Антонов, Н.А. Корчевин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование – 2015 – №2 (46) – С. 65-68
5. Дементьев, А.И. Исследование теплообмена на пористой структуре металлический покрытий / А.И. Дементьев, Е.В. Подоплелов // Сб. науч. Тр. Ангарск. гос. техн. акад. Ангарск – 2014 – Т. 1 – С. 103-105.
6. Дементьев, А.И. Исследование теплообмена на пористой структуре / А.И. Дементьев, Е.В. Подоплелов // Современные технологии и научно-технический прогресс – 2014 – Т. 1 – № 1. – С. 18.

УДК 681

*Джарбинадзе Павел Викторович,*  
*магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*  
*e-mail: Pavilik42195@yandex.ru*

*Раскулова Татьяна Валентиновна*  
*д.х.н., зав. кафедрой «Химическая технология топлива»,*  
*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*  
*e-mail: raskulova@list.ru*

### АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ВСПЕНИВАЮЩЕГОСЯ ПОЛИСТИРОЛА

*Dzharbinadze P.V., Raskulova T.V.*

### ANALYSIS OF THE WATER SUPPLY SYSTEM FOR FOAMING POLYSTYRENE PRODUCTION

**Аннотация.** Проанализирована схема водоснабжения промышленной площадки производства вспенивающегося полистирола методом суспензионной полимеризации. Экспериментально определено количество взвешенных веществ в оборотной воде данного производства, предложен возможный способ её очистки. Внедрение предложенного способа очистки оборотной воды направлено на увеличение эффективности расходования энергоресурсов и обеспечение высокоэффективной работы теплообменного оборудования.

**Ключевые слова:** оборотное водоснабжение, взвешенные вещества, фильтрация.

**Abstract.** The scheme of water supply of the industrial site for the production of foaming polystyrene by the method of suspension polymerization is analyzed. The amount of suspended solids in the recycled water of this production has been experimentally determined, and a possible method of its purification has been proposed. The relevance of this work lies in the efficient use of energy resources, as well as ensuring the highly efficient operation of heat exchange equipment.

**Keywords:** circulating water supply, suspended solids, filtration.

На сегодняшний день исследования показывают, что с ростом производства синтетических полимеров повышается и потребление водных ресурсов, необходимых для стабильной и безопасной работы установок. Основным источником водоснабжения промышленных площадок – оборотная и добавочная вода [1].

Важным показателем качества оборотной и добавочной воды является концентрация взвешенных веществ. Они способны формировать в теплообменниках слой отложений, снижая, таким образом, коэффициент теплопередачи и ухудшая работу оборудования.

Источником загрязнения оборотной