

УДК 66.045.1

*Щербин Сергей Анатольевич,**к.т.н., доцент, декан факультета технической кибернетики,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: dekan\_ftk@angtu.ru**Юринский Вячеслав Андреевич,**обучающийся гр. ХТм-23-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический универси-  
тет», e-mail: vyurinskiy@internet.ru***ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНО-ШЕРОХОВАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНОГО ПРОБЕГА  
ПИРОЗМЕЕВИКА***Shcherbin S.A., Yurinsky V.A.***THE USE OF DISCRETELY ROUGH HEAT EXCHANGE SURFACES TO INCREASE  
THE INTER-REPAIR RUN OF THE PYROLYSIS FURNACE**

**Аннотация.** В статье предлагается вариант реконструкции трубчатой радиантно-конвекционной печи пиролиза бензина. С целью повышения эффективности, а также для увеличения межремонтных пробегов предлагается выполнить замену существующего змеевика на змеевик со смешивающими элементами. Указаны преимущества и недостатки предлагаемого решения.

**Ключевые слова:** пиролиз, трубчатая печь, пироозмеевик радиантной камеры, турбуляторы.

**Abstract.** A variant of reconstruction of a tubular radiant convection gasoline pyrolysis furnace is proposed. In order to increase efficiency, as well as to increase inter-repair runs, it is proposed to replace the existing coil with a coil with mixing elements.

**Keywords:** pyrolysis, tubular furnace, tube coil of the radiant chamber, turbulators.

Основным процессом производства этилена является термический пиролиз углеводородного сырья (бензиновых фракций, газойлей этана) в трубчатых печах.

На пиролизных установках мощностью 300-450 тыс. тонн в год эксплуатируются печи производительностью до 45 тыс. тонн в год этилена, в которых реализуется так называемый принцип SRT, заключающийся в малом времени контакта реагирующего сырья на определенном участке высокотемпературной зоны трубчатого змеевика, в течение которого завершаются желаемые первичные реакции расщепления углеводородов. При температуре сырья 800-860 °С температура стенки трубы ограничена температурой 1050°С [1].

На Ангарском заводе полимеров для получения этилена применяются трубчатые радиантно-конвекционные печи пиролиза бензина со змеевиками SRT-I из гладких труб, количество и диаметр которых изменяются в разных зонах печи. Одной из проблем, возникающих при высокотемпературной эксплуатации гладкостенных труб даже при турбулентном режиме движения жидкости, является наличие тонкого ламинарного

слоя жидкости на границе с твердой поверхностью, толщина которого зависит от средней скорости движения потока. Это приводит к увеличению термического сопротивления теплопередачи, перегреву пристеночного слоя жидкости и образованию на внутренней поверхности труб коксо-смолянистых отложений. Со временем ухудшается теплообмен, изменяется температурный режим работы змеевика, увеличивается его гидравлическое сопротивление. Кокс откладывается неравномерно, происходит местный перегрев в зоне наиболее активного роста отложений и, в крайних случаях, – механическое разрушение (прогорание) труб. Для предотвращения негативных последствий следует проводить периодическую очистку змеевика радиантной камеры от кокса.

Возникает задача повышения эффективности работы и увеличения межремонтных пробегов трубчатой печи пиролиза.

Известны различные методы интенсификации конвективного теплообмена. Принципиально их можно разделить две группы:

- активные методы интенсификации: механическое воздействие на поверхность теплообмена (вращение или вибрация по-

верхности, перемешивание жидкости и т.п.); воздействие на поток электрическим магнитным или акустическим полем, пульсациями давления: вдув или отсос рабочей среды через пористую поверхность и др.;

- пассивные методы, основанные на воздействии на поток формой поверхности теплообмена: применение вставных интенсификаторов (винтовых, локальных и пластинчатых закручивателей потока), различное оребрение поверхности теплообмена и др.

Нами рассматривалась возможность использования для решения рассматриваемой проблемы пассивного метода, а именно дискретно-шероховатых поверхностей теплообмена, позволяющих придавать потоку жидкости вращательно-поступательное движение и разрушать пристенные слои жидкости.

Обычно к дискретно-шероховатым относят каналы и трубы с различного рода выступами на внутренней поверхности. Это чаще всего:

- трубы со спирально-винтовой проволоочной вставкой (рисунок 1, а);
- винтовые одно- и многозаходные плавно очерченные выступы (рисунок 1, б), получаемые с помощью накатных роликов или дисков;
- поперечные, периодически расположенные, плавно очерченные выступы (рисунок 1, в), получаемые с помощью роликов или дисков;
- поперечные, периодически расположенные вставки прямоугольного и квадратного сечения (рисунок 1, г);
- каналы и трубы с внутренней резбой.

Для труб со спирально накатанными выступами на внутренней поверхности выполнен определенный теоретический анализ процессов течения и теплообмена в трубе, проведены довольно обширные опытные исследования, осуществлены промышленные испытания [2]. Доказана техническая целесообразность применения в теплообменном оборудовании.

В трубах с низкими спиральными выступами или с низкими внутренними спиральными ребрами интенсификация теплообмена обусловлена совместным проявлением двух факторов: турбулизацией и разрушением пристенного слоя течения выступами и закруткой пристенного потока под действием

выступов (или ребер). Интенсифицирующее воздействие частичной закрутки течения (только пристенной зоны) низким выступом (или ребром) реализуется через увеличение пристенной скорости потока. Этот способ, вероятно, следует отнести к комбинированным способам интенсификации теплообмена, так как на поток одновременно воздействуют турбулизация и закрутка.

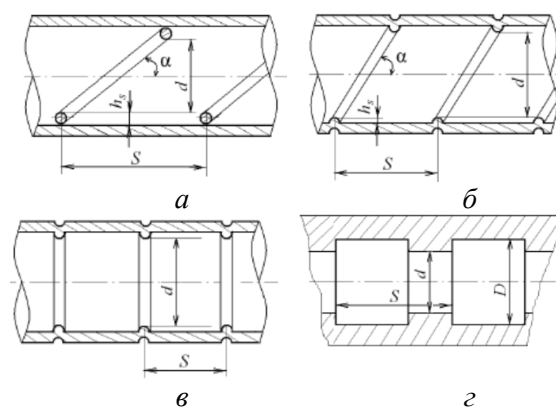


Рисунок 1 – Дискретно-шероховатые поверхности теплообмена

Геометрические параметры трубы со спиральными выступами включают форму выступа, внутренний диаметр по гладкой поверхности  $D$ , высоту выступа  $h$ , число заходов спирали  $n$ , расстояние (шаг) между соседними выступами вдоль трубы  $t$ , шаг спирали  $S = nt$ , угол между осью трубы и продольной осью выступа  $\alpha$  (при этом  $\text{tg}\alpha = \pi D/S$ ).

Определяющее влияние на гидросопротивление и теплообмен имеют относительные высота и шаг выступов  $h/D$  и  $t/h$ . Форма поперечного сечения выступа изменяет гидросопротивление и очень мало влияет на теплообмен. Природа теплоносителя оказывает влияние на структуру потока в трубе. Визуализация течения и измерения профиля скоростей в потоках воды и воздуха показали [2], что поток воды закручивается существенно, а воздуха - слабо. Профили скоростей для воды и воздуха отличаются между собой. Очевидно, различия в динамике течения и неодинаковая теплопроводность вязкого подслоя приводят к зависимости теплообмена от вида теплоносителя. Влияние высоты спирального выступа на теплообмен и трение аналогично воздействию поперечного кольцевого выступа. По мере приближения угла  $\alpha$  к величине  $\pi/2$  влияние спирального выступа на поток в трубе сводится

к действию поперечных кольцевых выступов (закрутка в потоке исчезает). Новые исследования интенсификации теплообмена в различных каналах посредством спиральных выступов убеждают, что при углах атаки  $\alpha < \pi/2$  выступ обладает лучшими характеристиками, чем при  $\alpha = \pi/2$ .

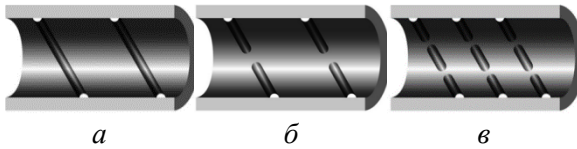


Рисунок 2 – Варианты исполнения труб со смесительными элементами:  
 а – MERT; б – Slit-MERT; в – X-MERT

Например, радиантные трубы со смешивающими элементами MERT (Mixing Element Radiant Tube) фирмы Kubota [3] изготавливаются методом центробежного литья и имеют на внутренней поверхности выступающие спиральные элементы (рисунок 2).

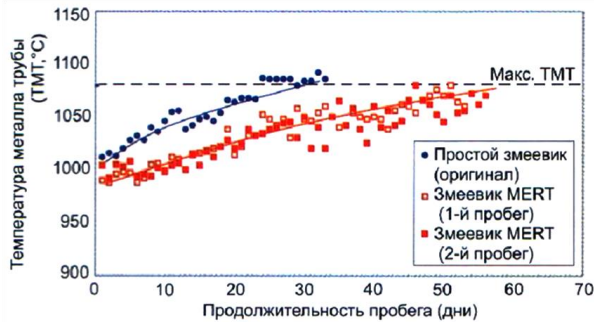


Рисунок 3 – Зависимость предельной температуры металла трубы змеевика от продолжительности его пробега

В результате перемешивания жидкости разрушается ламинарный пристеночный слой, что способствует более эффективному нагреву и обеспечивает равномерное распределение температуры жидкости по живому сечению потока, значительно замедляется процесс коксования, увеличиваются межремонтный пробег и срок службы змеевика (рисунок 3), повышается коэффициент теплопередачи (рисунок 4, а).

Недостатком труб, изготовленных по технологии MERT, является увеличение гидравлического сопротивления змеевика, обусловленное турбулизацией потока в результате его перемешивания (рисунок 4, б). Очевидно, что выступающие спиральные элементы являются местными гидравлическими сопротивлениями. В некоторых случаях это

обстоятельство ограничивает применение труб со смешивающими элементами. Поэтому были разработаны новые змеевики, получившие название "Slit-MERT", в трубах которых используются прерывистые смешивающие элементы (рисунок 2, б). Их применение позволяет уменьшить гидравлическое сопротивление (рисунок 4, б) при сохранении описанных преимуществ "MERT" в области теплопередачи. Также введена в промышленную эксплуатацию технология "X-MERT" (рисунок 2, в), которая позволяет снизить гидравлическое сопротивление змеевика еще на 10% по сравнению со "Slit-MERT" за счет оптимизации смешивающих элементов [3].

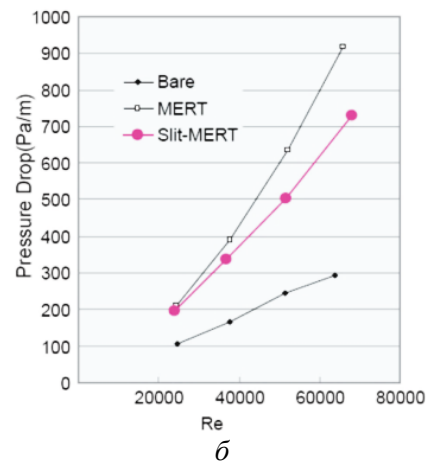
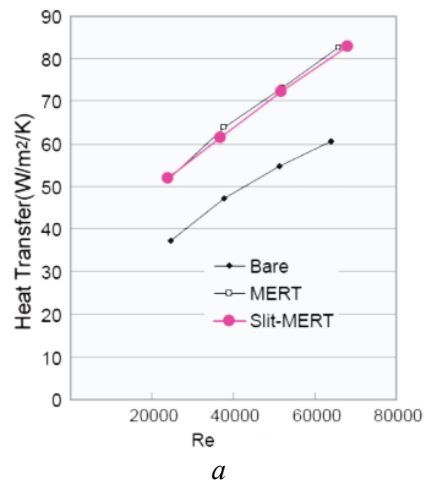


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента теплопередачи (а) и гидравлического сопротивления (б) от критерия Рейнольдса для змеевиков с гладкими трубами (Bare) и со смесительными элементами

Таким образом, замена существующего пиролизного змеевика на змеевик со смешивающими элементами позволит улучшить

теплопередачу, уменьшить скорость закоксовывания труб, снизить температуру металла

труб и увеличить межремонтный пробег оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарихин, В. В. Трубчатые печи нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебное пособие / В. В. Шарихин, Н. Р. Ентус, А. А. Коновалов, А. А. Скороход. – Москва : Сенсоры. Модули. Системы, 2000. – 392 с.

2. Лаптев, А. Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: Учебно-справочное пособие / А.

Г. Лаптев, Н. А. Николаев, М. М. Башаров. – Москва : Теплотехник, 2011. – 335 с.

3. Materials & Steel Pipes Home. Industries. Products. Cracking Tubes. MERT / – Текст : электронный // Kubota. – URL: [https://www.kubota.com/products/materials/products/cracking\\_coil/mert.html](https://www.kubota.com/products/materials/products/cracking_coil/mert.html) (дата обращения: 28.10.2024).