

УДК 66.045.1

**МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В
ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ
HEAT TRANSFER ENHANCEMENT METHODS FOR HEAT
EXCHANGERS**

А. П. Каменко, Е. А. Русакевич
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
yanchuk@bntu.by

A. Kamenko, E. Rusakevich
Supervisor – V. Yanchuk, assistant
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** принципы и применение различных методов интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании.*

***Abstract:** principles and application of various heat transfer enhancement methods for heat exchange equipment.*

***Ключевые слова:** теплообмен, интенсификация теплообмена, методы интенсификации теплообмена, теплоэнергетика.*

***Keywords:** heat exchange, heat transfer enhancement, heat transfer enhancement methods, heat power engineering.*

Введение

Теплообменные аппараты нашли применение в разных областях деятельности, таких как энергетика, нефтепереработка, пищевая промышленность, а также в системах отопления, кондиционирования и других технических системах.

В этой связи следует рассмотреть процессы теплопередачи, которые являются ключевыми при проектировании эффективного теплообменного оборудования, а также при оптимизации работающих единиц оборудования. Для повышения эффективности работы теплообменного оборудования необходимо применение методов, которые позволяют повысить интенсивность теплообмена без увеличения площади поверхности теплопередачи или изменения конструкции оборудования.

Основная часть

При прочих равных условиях увеличение интенсивности теплообмена между теплоносителем и рабочей поверхностью теплообменного аппарата приводит к повышению тепловыделения или уменьшению площади рабочей поверхности при постоянной тепловой мощности. Таким образом, увеличение эффективности теплообменника может быть обеспечено путем интенсификации теплообмена, если мощность, потребляемая на привод тягодутьевого оборудования, обеспечивающего транспорт теплоносителей,

остается такой же или незначительно увеличивается [1]. Теплопередача может быть описана уравнением:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Q – тепловая мощность, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

F – поверхность теплопередачи, м^2 ;

Δt – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителя, К .

С практической и технической точки зрения важно увеличивать тепловую мощность не только за счет увеличения средней разности температур горячего и холодного теплоносителя Δt или поверхности теплопередачи F (увеличение которой приводит к увеличению размеров и конечной стоимости теплообменного оборудования), а за счет увеличения коэффициента теплопередачи k , который в свою очередь характеризует условия теплопередачи и ее интенсивность.

Методы интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании можно классифицировать по различным критериям, таким как физические принципы, методы введения энергии и т.д.

На данный момент существует множество методов интенсификации теплообмена, которые находятся на стадиях разработки, исследования и применения. Они могут быть разделены на две группы, в зависимости от способа их применения – активные и пассивные [2]:

1. Активные методы интенсификации теплообмена основаны на механическом воздействии на поверхность теплообмена. Ими являются вращение, вибрация, перемешивание жидкости; воздействие на поток различными полями: электрическим магнитным или акустическим полем; пульсациями давления, вдувом или отсосом рабочей среды через пористую поверхность и т.д.

2. Пассивные методы интенсификации теплообмена основаны на изменении формы поверхности теплообмена. Они включают в себя использование вставных интенсификаторов, таких как винтовые, локальные и пластинчатые закручиватели потока, различных форм оребрения поверхности теплообмена и др.

Далее рассмотрим те из них, которые наиболее технически реализуемы.

Воздействие на поток электрическим магнитным полем

Магнитогидродинамический (МГД) метод – метод воздействия на поток электрическим магнитным полем. МГД-метод применяется в случае, когда рабочая жидкость является проводником. В этом случае магнитное поле воздействует на движущиеся заряды в жидкости, вызывая в ней электрический ток и магнитные силы, которые приводят к турбулизации потока – при пропускании рабочей жидкости через каналы, которые находятся в магнитном поле, образуется множество вихрей, которые увеличивают скорость потока жидкости.

Проведенные исследования показывают, что воздействие на поток магнитным полем увеличивает коэффициент теплоотдачи в 1,5–3 раза в зависимости от интенсивности поля [3].

Данный метод позволяет не изменять геометрию теплообменника, но требует наличия сильного магнитного поля.

Воздействие на поток акустическим полем

Акустический метод интенсификации теплообмена использует звуковые волны для увеличения коэффициента теплообмена между рабочей жидкостью и поверхностью теплообмена. Когда рабочая жидкость находится под воздействием звуковых волн, возникают дополнительные течения и вихри, которые усиливают перемешивание и ускоряют движение жидкости.

Для создания звуковых волн могут использоваться ультразвуковые излучатели, генераторы шума, колебания вибрационной платформы.

Проведенное исследование демонстрирует, что при увеличении интенсивности звукового давления на 10% коэффициент теплоотдачи может увеличиться в 1,5–2 раза [4].

Акустический метод интенсификации теплообмена имеет ряд преимуществ, включая возможность интенсификации теплообмена без использования высоких напряжений и в принципе электрического воздействия на поток. Однако, акустическое воздействие может быть нежелательным в некоторых ситуациях из-за шума и вибраций, которые он вызывает.

Интенсификация закруткой потока теплоносителя

Для улучшения теплообмена в трубе можно использовать метод интенсификации, закручивая поток теплоносителя вокруг продольной оси трубы. Этот метод основывается на использовании гидродинамических эффектов, которые приводят к интенсификации перемешивания и повышению скорости теплоносителя.

Одним из ключевых элементов этого метода является введение геометрических изменений в систему теплообмена, таких как насадки, закрученные трубы, лопаточные завихрители и ленточные лопатки. Это приводит к изменению направления потока и созданию вихрей внутри системы. Появление вторичных течений за счет центробежных сил приводит к повышению интенсивности теплообмена между ядром потока и пограничным слоем на стенке канала.

Интенсификация закруткой потока теплоносителя имеет ряд преимуществ перед другими методами интенсификации теплообмена. Она позволяет достичь высокой эффективности при относительно низких затратах на оборудование и установку. Также этот метод обеспечивает более равномерное распределение тепла внутри системы, что позволяет снизить риск возникновения местных перегревов и повреждений.

Однако, при использовании данного метода необходимо учитывать возможность образования турбулентных потоков и увеличения гидравлических потерь. Эти факторы могут привести к увеличению расхода энергии и ухудшению эффективности системы теплообмена. Например, при турбулентном режиме в трубе со скрученной лентой при относительно шаге

$s/d = 5$ гидросопротивление возрастает в 1,35–1,55 раза по сравнению с трубой без завихрителя. Поэтому для достижения оптимальной эффективности и безопасности при применении интенсификации закруткой потока теплоносителя необходимо проводить тщательный анализ характеристик системы.

Использование ленточных завихрителей в турбулентном режиме может привести к увеличению теплоотдачи в 1,5–2 раза, однако этот эффект снижается при увеличении относительного шага закрутки ленты и, как у других методов, увеличении теплопроводности жидкости [2].

Заключение

В настоящее время существует широкий спектр методов интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании. Некоторые методы более эффективны при определенных условиях, таких как высокая скорость потока или высокая вязкость жидкости. Поэтому выбор методов интенсификации должен быть основан на конкретных условиях эксплуатации теплообменного оборудования.

Интенсификация теплообмена в теплообменном оборудовании играет важную роль в повышении эффективности процесса теплопередачи, а соответственно, и в повышении экономической и экологической эффективности. Выбор наиболее подходящих методов должен быть основан на анализе конкретных условий эксплуатации и требований к процессу теплообмена.

Литература

1. Попкова, О.С. Методы интенсификации теплообмена: учебное пособие / О.С. Попкова, О.С. Дмитриева. – Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2016. – 80 с.
2. Лаптев, А.Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учебно-справочное пособие. – М.: «Теплотехник», 2011. – 335 с.
3. Красиков, М.В. Интенсификация теплообмена в магнитогидродинамическом течении под действием магнитного поля / М.В. Красиков // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – № 437. – С. 90-95.
4. Krasnoporov, V.Y. Enhancement of heat transfer in flow of a liquid due to ultrasonic vibrations / V.Y. Krasnoporov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. Vol. 89, № 1. – P. 119-126.