

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ДИСКРЕТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

**Грабов Л.Н.** канд. техн. наук, **Чалаев Д.М.** канд. техн. наук, **Сильнягина Н.Б.**

Институт технической теплофизики НАН Украины, ул.Желябова, 2а, Киев-57, 03057, Украина


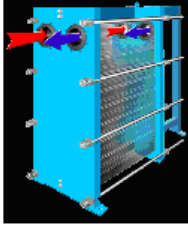

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження. Створено енергоефективний теплообмінник нового покоління з дискретними турбулізаторами. Проведено порівняльні теплотехнічні випробування нового теплообмінника.	Проведены теоретические и экспериментальные исследования. Создан энергоэффективный теплообменник нового поколения с дискретными турбулизаторами. Проведены сравнительные теплотехнические испытания нового теплообменника.	Theoretical and experimental researches are carried out. A new generation of energy-efficient heat exchanger with discrete turbolators is created. The comparative thermal engineering tests of a new heat exchanger are carried out.
---	--	---

**Ключевые слова:** теплообменник, гофрированные трубы, дискретные турбулизаторы, гидравлическое сопротивление, коэффициент теплопередачи.

Теплообменные аппараты занимают важное место в промышленной теплоэнергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в ЖКХ. Наиболее распространенные серийно выпускаемые пластинчатые и кожухотрубные теплообменники имеют ряд недостатков [1].

Кожухотрубные теплообменники относительно недорогие, работают в широком диапазоне температур и давлений, однако, они имеют низкие коэффициенты теплопередачи и высокую металлоемкость. В последние годы наблюдается тенденция вытеснения трубчатых теплообменных аппаратов пластинчатыми у которых коэффициенты теплопередачи значительно выше, но они имеют ряд недостатков, в числе которых высокая стоимость изготовления, склонность к засорению взвешенными частицами, высокая зависимость теплогидравлических показателей от накипных отложений. В связи с этим актуальной является задача повышения эффективности работы трубчатых теплообменных аппаратов (рис.1).

Для улучшения характеристик теплообменного оборудования необходимо разрабатывать новые конструкции теплообменных аппаратов, увеличивая эффективность теплообменных поверхностей. Основной задачей при создании эффективного теплообменного аппарата является необходимость выдержать заданные значения по количеству передаваемой теплоты, гидравлическому сопротивлению, и, при этом, сделать его как можно более компактным и легким. Выполнить эти противоречивые требования, возможно только используя интенсификацию теплообмена.

Характеристики теплообменника	кожухотрубный 1-е поколение	пластинчатый 2-е поколение	3-е поколение
Козф. теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> К)	2000	4000	6000
Вес, кг/кВт	1,1...1,8	0,6...0,8	0,2...0,3
Себестоимость, евро/кВт	1,5	2	1
Общий вид теплообменника			

**Рис. 1. Общие характеристики теплообменников**

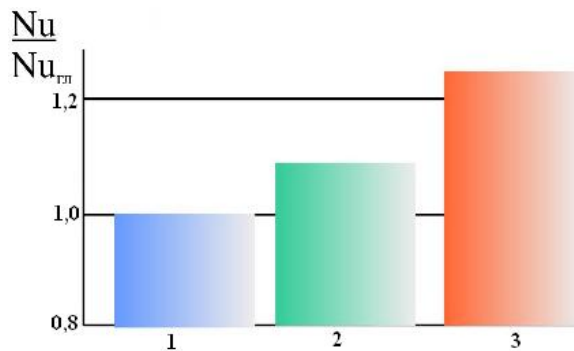
В поиске методов интенсификации теплообменных процессов постоянно проводятся исследования зарубежных и отечественных ученых [2-4]. Были созданы интенсификаторы теплообмена самых различных типов, многие из которых прочно заняли место в современном теплообменном оборудовании.

Часто добиться высокой эффективности можно, применяя комбинированные методы интенсификации (сочетание турбулизаторов с оребрением поверхностей; сочетание турбулизаторов с закруткой потока; применение турбулизаторов потока на поверхности одновременно с изменением теплофизических свойств теплоносителя). Необходимо отметить, что при выборе того или иного метода интенсификации теплообмена для практического применения приходится учитывать не только эффективность самой поверхности, но и технологичность ее изготовления и сборки в составе теплообменных аппаратов, прочностные требования, загрязняемость поверхности отложениями солей. Все эти обстоятельства часто накладывают существенные ограничения при выборе конкретного метода интенсификации. Другим немаловажным ограничением часто является сопровождающее интенсификацию теплообмена существенное увеличение гидравлического сопротивления в канале, ведущее к росту энергетических затрат на циркуляцию теплоносителя через теплообменный аппарат. Необходимо стремиться к существенному увеличению теплоотдачи при умеренном росте гидравлического сопротивления.

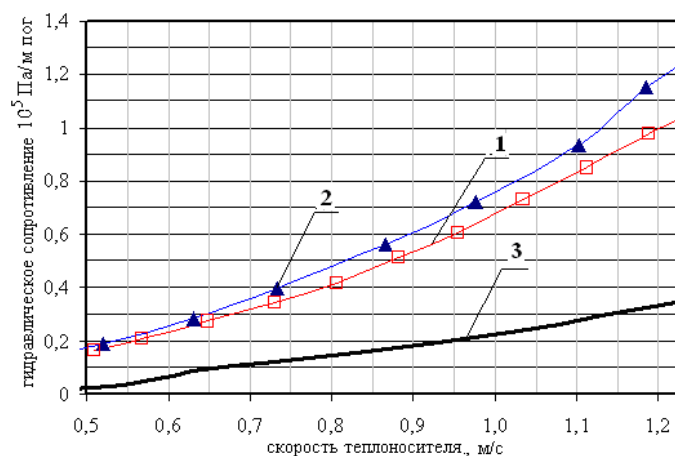
На сегодняшний день рядом фирм налажено серийное производство нержавеющей тонкостенных гофрированных гибких труб ( $\delta=0,3$  мм) различных модификаций (кольцевая и винтовая накатка). Такие трубы широко применимы и обладают необходимой для практического применения универсальностью. Кроме того, эти трубы не боятся гидравлических ударов, самостоятельно компенсируют линейные расширения, могут работать при температурах до 150°C и давлении до 25 кг/см<sup>2</sup>, и характеризуются пониженной загрязняемостью.

Так как эти трубы не использовались ранее как рабочий элемент теплообменника необходимо было исследовать численные значения теплопередачи и выбрать оптимальные значения.

В ИТТФ НАН Украины создан стенд и проведены экспериментальные исследования интенсивности теплопередачи при использовании тонкостенных профилированных труб различных модификаций в качестве теплообменной поверхности [5-6]. Исследования показали, что гофрированные трубы эффективно турбулизируют поток в пристенной зоне течения, разрушая эту область с помощью отрывных возмущений потока, которые генерируются турбулизаторами и обеспечивают высокие коэффициенты теплопередачи сравнительно с гладкими трубами. При одинаковых скоростях теплоносителя эффективность труб с винтовой накаткой на 10% выше, чем гладких труб, а эффективность труб с кольцевой накаткой на 15% выше чем гладких труб (рис. 2). При этом наблюдается увеличение теплоотдачи больше роста гидравлического сопротивления по сравнению с аналогичными гладкими трубами (рис. 3).



**Рис. 2. Эффективность тонкостенных профилированных труб различных модификаций: 1 - гладкие трубы; 2 – трубы с винтовой накаткой; 3 - трубы с кольцевой накаткой**

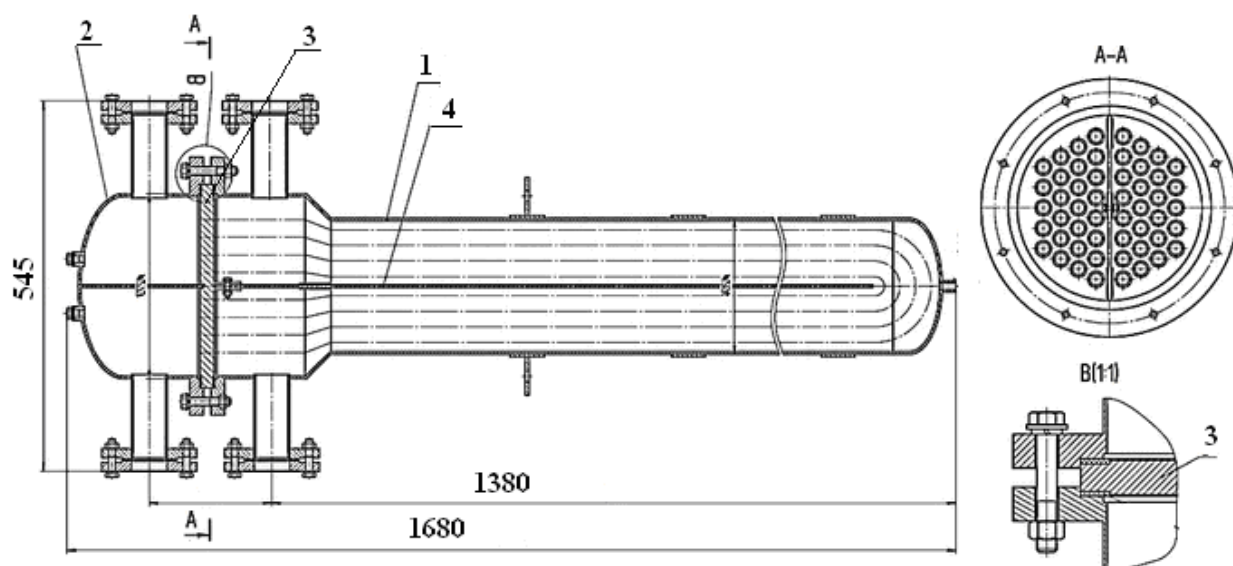


**Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления гофрированных и гладкой трубы от скорости теплоносителя: 1 - трубы с кольцевой накаткой; 2 - трубы с винтовой накаткой; 3 - гладкие трубы.**

С помощью CFD-модели было изучено влияние геометрии труб на интенсивность процесса теплообмена, что позволило провести оценку эффективности теплопередачи в зависимости от различных параметров (температура теплоносителя, скорость теплоносителя, давление).

Анализ гидродинамической структуры, полей температур и тепловых потоков в трубах и межтрубном пространстве, показали, необходимость турбулизовать пристенный слой. Для этого предложено в трубах используются периодически расположенные по длине трубы поперечные выступы – дискретные турбулизаторы. Создаваемые этими выступами возмущения потока служат источником турбулизации пограничного слоя. Такая турбулизация пограничного слоя достигается плавно очерченными выступами высотой порядка толщины пристенного слоя, расположенными так, чтобы вихри успевали заметно затухнуть на пути к следующему турбулизатору.

Теоретические и экспериментальные исследования показали перспективность данного направления и позволили создать новый эффективный теплообменник с дискретными турбулизаторами (рис.4).



**Рис. 4. Общий вид нового эффективного теплообменника с дискретными турбулизаторами: 1 – корпус теплообменника; 2 – крышка теплообменника; 3 – трубная решетка; 4 - перегородка.**

Сравнительные теплотехнические испытания нового теплообменника были проведены на тепловом пункте административного здания ИТТФ НАН Украины (рис. 5). В пластинчатых теплообменника мощностью от 300 до 600 кВт, коэффициент теплопередачи составляет 4000...4500 Вт/(м<sup>2</sup>·К). В новом теплообменнике с дискретными турбулизаторами коэффициент теплопередачи возрастает до 6000 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Теплообменник в процессе испытаний показал эффективную работу во всем диапазоне изменения тепловых нагрузок. Новый теплообменник на основе профилированных труб с дискретными турбулизаторами обеспечивают величину коэффициента теплопередачи в аппарате в 1,1 – 1,2 раза превышающую средние значения коэффициента теплопередачи для пластинчатых теплообменников.



***Рис. 5. Испытания нового эффективного теплообменника на основе труб с дискретными турбулизаторами на ТП.***

Разработанный теплообменник имеет почти в 1,5 раза меньшую металлоемкость по сравнению с пластинчатым теплообменником аналогичной мощности. Стоимость единицы теплообменной поверхности профилированных труб в 5 – 6 раз ниже по сравнению с аналогичными показателями пластинчатых теплообменников, что является существенным резервом для удешевления такого типа теплообменного оборудования. Оснащение индивидуальных тепловых пунктов новым теплообменником позволит на 20-30% уменьшить затраты на их изготовление.

*Работа выполняется при поддержке со стороны НАН Украины и СО РАН по проекту № 04-08-12.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дрейцер Г.А. Проблемы создания компактных трубчатых теплообменных аппаратов // Теплоэнергетика. – №3. – 1995. – С.11-18.
2. Исаченко В.П. Экспериментальное исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления при турбулентном течении воды в трубах с искусственной шероховатостью / Агабабов С.Г., Галин Н.М. // Теплообмен и гидравлическое сопротивление. Труды МЭИ. – 1965 вып. 63. С27 -37.
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. и др. Закономерность изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции (диплом на открытие № 242, СССР) // Открытия, изобретения. – 1981 – № 35. – С.3.
4. Дрейцер Г.А., Гомон В.И., Аронов И.З. Сравнительное исследование величины отложений в трубах с кольцевыми турбулизаторами и в гладких трубах кожухотрубчатых аппаратов / Промышленная теплотехника. 1981. Т. 3. № 6. С. 36 – 42.
5. Грабов Л.Н., Чалаев Д.М., Король И.В., Экспериментальное исследование процесса теплопередачи в трубчатых теплообменниках с дискретными турбулизаторами // Наукові праці ОНАХТ.-Одесса:2012 Вип. 41, том 1 – С.187-190
6. Долінський А.А. Розробка ефективних теплообмінників нового покоління на основі труб з дискретними турбулізаторами / Чалаев Д.М., Грабов Л.Н., Переяславцева О.О., Сильнягіна Н.Б., Ковальов В.В. // Енергетика та електрифікація. - 2013. - Т.13. - № 4. -С. 28-33;