

Разработанный и изготовленный на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» УО «Могилевский государственный университет продовольствия» жидкостно-газовый эжектор инжекционного типа согласно заказу Могилевского облпотребсоюза (письмо № 20-06/180 от 04.10.2004) внедрен на ЧПУП «Чериковский плодоконсервный завод» Белкоопсоюза Республики Беларусь в линии по производству минеральной воды «Сож».

Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 3,9 млн бел. руб. (в ценах на 01.01.2005). Экономический эффект достигается за счет повышения эффективности процесса обезжелезивания подземных вод при использовании эжектора ЖГЭ-5,0 новой конструкции.

#### ВЫВОД

При обезжелезивании получается положительный эффект: снижается уровень содержания железа до его полного удаления, УДК 536.248

при этом химический состав и концентрация всех обнаруженных компонентов остаются величинами постоянными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Беленький, С. М.** Технология обработки и розлива минеральных вод / С. М. Беленький, Г. П. Лаврешкина, Т. Н. Думнева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 2-е изд., перераб. и доп. – 151 с.
2. **Громогласов, А. А.** Водоподготовка: процессы и аппараты: учеб. пособие для вузов / А. А. Громогласов, А. С. Копылов, А. П. Пильщиков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
3. **Румянцева, Л. П.** Брызгальные установки для обезжелезивания воды / Л. П. Румянцева. – М.: Стройиздат, 1973. – 104 с.
4. **Успенский, В. А.** Струйные вакуумные насосы / В. А. Успенский, Ю. М. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
5. **Вышелесский, А. Н.** Тепловое оборудование предприятий общественного питания / А. Н. Вышелесский. – М.: Экономика, 1976. – 399 с.
6. **Груданов, В. Я.** Основы инженерного творчества / В. Я. Груданов. – Минск: Изд. центр БГУ, 2005. – 299 с.

Поступила 27.02.2007

## ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ РЕБЕР НА ТЕПЛООТДАЧУ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, СОБРАННЫХ ИЗ ПЛОСКИХ ТРУБ С ПОДРЕЗНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

*Асп. ДЬЯКОВ А. И., кандидаты техн. наук КИСЕЛЕВ В. Г., СУКОНКИН В. Н.*

*Белорусский национальный технический университет*

Теплообменники из плоских труб с подрезным оребрением широко применяются в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания, конструкциях климатических установок и сушильных камер.

Одним из параметров, характеризующих конструкцию теплообменников такого типа, является шаг расположения плоских труб в сердцевине. При расчетах теплопередающих характеристик теплообменников из плоских труб с подрезным оребрением расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы принимается равным шагу расположения плоских труб в сердцевине, т. е. предполагается, что вершины ребер двух близлежащих плоских труб прилегают друг к другу. Однако при массовом производстве оребренных труб расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы может отличаться от шага расположения плоских труб в сердцевине. Это связано с погрешностью настройки оборудования и инструмента для получения ребер, точностью установки заготовки в технологическом

приспособлении, а также с погрешностью выполнения габаритных размеров заготовки.

Даже незначительное превышение расстояния между вершинами ребер отдельной плоской трубы над шагом расположения плоских труб в сердцевине теплообменника создает существенные дополнительные проблемы при ее сборке. Поэтому процесс оребрения осуществляют с минусовым допуском. Это приводит к тому, что расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы, как правило, меньше шага расположения плоских труб в сердцевине, т. е. между вершинами ребер в сердцевине теплообменника образуется зазор. В результате уменьшается площадь теплообмена и изменяется скорость воздуха в межреберном пространстве и, как следствие, – снижается теплоотдача теплообменной поверхности.

Целью данной работы было экспериментальное определение влияния величины зазора на интенсивность теплоотдачи оребренной поверхности теплообменника,

позволяющее установить величину снижения теплоотдачи, которая обусловлена отклонением высоты ребра от расчетного значения.

Для исследований были изготовлены три модели теплообменников. Схема расположения оребренных труб в теплообменнике представлена на рис. 1.

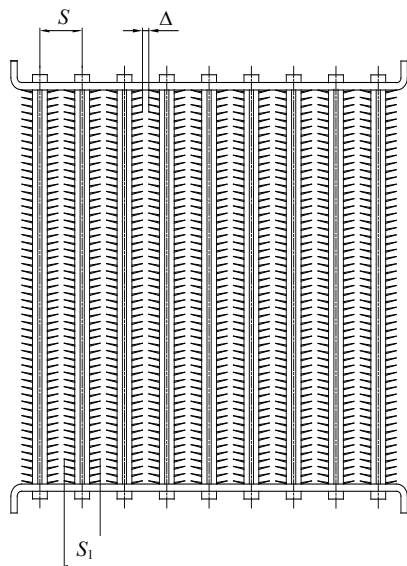


Рис. 1. Схема расположения оребренных труб в теплообменнике

Плоские трубы во всех трех моделях теплообменников устанавливались с шагом  $s = 18$  мм. Расстояние  $s_1$  между вершинами ребер отдельной плоской трубы для изготовленных моделей отличалось и составляло 17; 17,5 и 18 мм. Таким образом, зазор  $\Delta$  между вершинами ребер в сердцевине теплообменника составлял соответственно 0; 0,5 и 0,1 мм. Модель теплообменника состояла из девяти оребренных плоских алюминиевых труб с длиной оребренной части 165 мм. Ширина плоских труб – 68 мм.

Экспериментальные исследования были проведены на установке, схема которой и методика измерений описаны в [1].

При проведении исследований производилось измерение средней температуры воздуха на входе и выходе экспериментальной модели теплообменника, температуры пара, а также потерь давления потока воздуха на сужающем устройстве и модели теплообменника.

Из результатов измерений рассчитывался коэффициент теплопередачи [2], который использовался в качестве критерия для оценки интенсивности теплоотдачи оребренной поверхности

$$k = \frac{Q}{(T-t)F},$$

где  $k$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $Q$  – отдаваемый оребренной поверхностью тепловой поток, Вт;  $T$  – средняя температура пара, °С;  $t$  – то же потока воздуха, °С;  $F$  – площадь оребренной поверхности, м<sup>2</sup>.

Передаваемый тепловой поток определялся на основе результатов измерений из соотношения [2]

$$Q = Gc_p(T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}),$$

где  $G$  – массовый расход воздуха через теплообменник, кг/с;  $c_p$  – теплоемкость воздуха, дж/(кг·°С);  $T_{\text{вых}}$  – температура воздуха после теплообменника, °С;  $T_{\text{вх}}$  – то же перед теплообменником, °С.

Расход воздуха рассчитывался из результатов измерения перепада давления [3]

$$G = 1,252 \cdot 10^{-2} \sigma \varepsilon d^2 (\Delta p / \rho)^{0,5}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $\sigma$  – коэффициент расхода сужающего устройства;  $\varepsilon$  – поправочный множитель на расширение измеряемой среды;  $d$  – диаметр отверстия сужающего устройства при температуре измеряемой среды, мм;  $\rho$  – плотность измеряемой среды в рабочих условиях, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – перепад давления в сужающем устройстве, кг/м<sup>2</sup>.

Как видно из (1), для расчета коэффициента теплоотдачи от плоской трубы потоку воздуха необходимо знать площадь ее оребренной поверхности. При получении оребрения методом бокового подрезания ребро имеет трапецевидную форму, площадь поверхности которого сложно проконтролировать простыми методами. Поэтому при проведении расчетов и анализе результатов было использовано значение условной площади ребра. За условную площадь была принята площадь прямоугольного ребра с шириной основания, равной ширине выступа на внешней поверхности плоской трубы, из которого было сформировано оребрение. Высота ребер принималась равной для всех

трех моделей теплообменников, и ее величина соответствовала случаю, при котором зазор  $\Delta$  между ребрами равен нулю. Такое допущение позволяет моделировать ситуацию, когда изготавливаются три одинаковых теплообменника. Однако в действительности им присуще различие в высоте ребер, которое обусловлено погрешностью настройки оборудования и инструмента для получения ребер, точностью установки заготовки в технологическом приспособлении,

а также погрешностью выполнения габаритных размеров заготовки. В результате теплопередающие характеристики теплообменников могут существенно отличаться от расчетных за счет наличия зазора между вершинами ребер в сердцевине теплообменника.

Из изложенного выше следует, что по результатам измерений из (1) рассчитывается не реальный, а эффективный коэффициент теплопередачи. Это связано с тем, что при его определении использовалась не реальная площадь теплообменной поверхности, а условная. Следовательно, отличие эффективных коэффициентов теплопередачи, рассчитанных по результатам исследований трех моделей теплообменников, обусловлено не только изменением интенсивности процессов теплопередачи, но и изменением площади оребренной поверхности и характеризует снижение интенсивности теплоотдачи на оребренной поверхности при увеличении зазора между вершинами ребер в сердцевине теплообменника.

Полученные в результате исследований зависимости эффективного коэффициента теплопередачи от расхода воздуха через оребренную поверхность представлены на рис. 2 для трех моделей теплообменников. Из них видно, что с увеличением зазора между вершинами ребер в сердцевине теплообменника от 0 до 1 мм имеет место снижение величины эффективного коэффициента теплопередачи до 20 %.

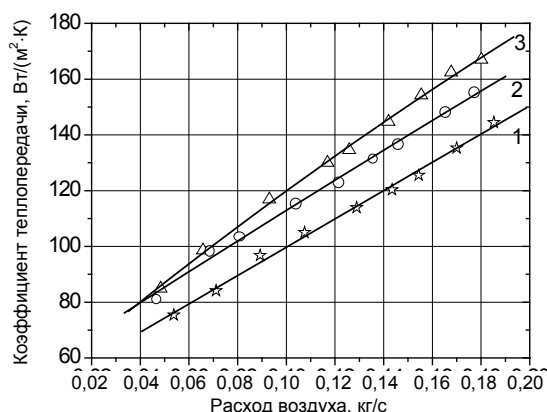


Рис. 2. Зависимость эффективного коэффициента теплопередачи от расхода воздуха через оребренную поверхность: 1 – трубы установлены в теплообменнике без зазора; 2 – то же с зазором 0,5 мм; 3 – то же с зазором 1,0 мм

Одновременно с зависимостями эффективного коэффициента теплопередачи от расхода воздуха для трех моделей теплообменника были установлены зависимости потерь давления от расхода воздуха (рис. 3). Результаты исследований показывают, что с увеличением зазора между вершинами ребер в сердцевине теплообменника потери давления при движении воздуха через сердцевину теплообменника снижаются.

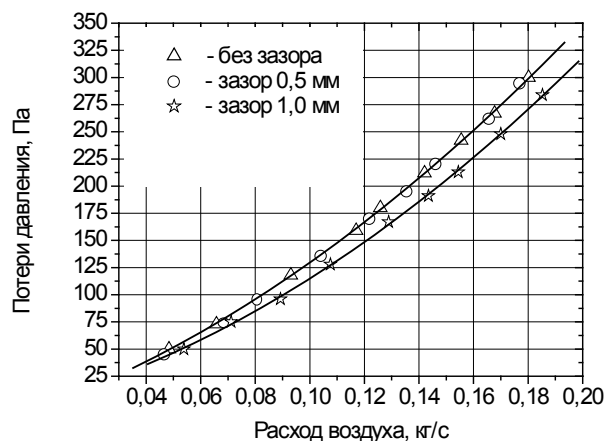


Рис. 3. Зависимость потерь давления от расхода воздуха при его движении через оребренную поверхность

Однако степень снижения потерь давления существенно ниже, чем величина уменьшения

величины эффективного коэффициента теплопередачи. Как видно из зависимостей (рис. 3), потери давления в модуле теплообменника

с оребренными плоскими трубами, установленными в сердцевине без зазора между вершинами ребер, не отличаются от потерь давления, измеренными в модуле, оребренные трубы которого установлены с зазором 0,5 мм.

### ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных экспериментальных исследований было показано, что появление зазора между вершинами ребер в сердцевине теплообменника из плоских труб с подрезным оребрением приводит к ощутимому снижению эффективного коэффициента теплопередачи. Установлено, что при достижении величины зазора в 1 мм уменьшение эффективного коэффициента теплопередачи может достигать более 20 %. Снижение потерь давления потока воздуха при его движении через оребренную поверхность теплообменника менее существенно.

УДК 621.785.53

2. Полученные экспериментальные результаты позволяют после нахождения максимальной величины зазора, обусловленного погрешностью настройки оборудования и инструмента для получения ребер, точно установить заготовки в технологическом оборудовании, а также погрешностью выполнения габаритных размеров заготовки, определять максимальную величину отклонения теплопередающих характеристик теплообменника от расчетных. Это дает возможность выполнять расчет теплообменников с меньшей погрешностью.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек, Ж. А. Определение интенсивности теплообмена при конвекции воздуха в межреберном пространстве плоских труб / Ж. А. Мрочек, А. И. Дьяков // Машиностроение. – 2006. – № 21. – 220 с.
2. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. – 472 с.
3. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. – М.: Энергия, 1978. – 440 с.

Поступила 25.05.2007

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ КАРБИДООБРАЗУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ Cr–Ti–V и Cr–Ti–Mn

Канд. техн. наук ШМАТОВ А. А.

Белорусский национальный технический университет

Изучение общих закономерностей формирования многокомпонентных диффузионных карбидных слоев, их структуры и фазового состава как функции условий ХТО теряет смысл, если нет подробного изучения свойств покрытий. При этом главным этапом в научных исследованиях является оптимизация процессов по наиболее важным эксплуатационным свойствам. Результат оптимизации – выявление оптимальных режимов ХТО и составов насыщающих смесей,

обеспечивающих максимальные значения требуемых свойств.

В настоящей работе для уменьшения количества экспериментов оптимизация процессов насыщения стали тремя карбидообразующими элементами решалась с использованием метода симплексных решеток [1]. Основная задача применения этой методики лежит в определении областей с экстремальными свойствами. Примером успешного использования метода симплекс-планирования являются результаты