

свойств, применение экологически и биологически безопасного PVD напыления является перспективным шагом в развитии производства.

Список использованных источников

1. Толоч В.К., Падалка В.Г. Разработка и внедрение новых методов плазменной технологии высоких энергий // Вестник АН УССР. – 1979. – №4. – С. 40-49
2. Мацевитый В.М., Борушко М.С., Береснев В.М. и др. Структура и механические свойства вакуумно-плазменных покрытий TiCN // Известия вузов «Черная металлургия». – 1984. – №3. – С.83-86.
3. Полянин Б.И., Мацевитый В.М., Береснев В.М. и др. Вакуумно-плазменная конденсация бронзы // Авиационная промышленность. – 1985. – №5. – С.60-62.
4. Береснев В.М., Гриценко В.И., Толоч В.К. и др. Получение многокомпонентных покрытий методом КИБ // Труды семинара «Физические основы и новые направления плазменной технологии в микроэлектронике». М.: – 1989. – С. 143-144.
5. Мрочек Ж.А., Эйзнер Б.А., Марков В.А. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. – Минск: Навука і тэхніка. –1991. – 95с.

УДК 621.1.016

**ЭКСЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРЕБРЕНИЯ
ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАЛОРИФЕРОВ**

Зафатаев В.А., асс.,

**УО «Полоцкий государственный университет»,
г. Новополоцк, Республика Беларусь**

Важность энергосбережения в условиях недостатка в стране собственных источников энергоресурсов и роста цен на энергоносители побуждает к изучению особенностей процесса передачи теплоты и в дальнейшем к его интенсификации и удешевлению.

Интенсификация теплообмена чаще всего осуществляется конструктивными методами увеличения теплопередающей стенки со стороны рабочей среды с низким коэффициентом теплоотдачи. Многообразие существующих промышленных образцов интенсифицированных поверхностей теплообмена свидетельствует о том, что их внедрением занимались не учёные-теплотехники, а технологи.

Исследованиям конвективной теплоотдачи теплопередающих поверхностей посвящено множество работ. В отечественной практике к таким работам прибегали известные учёные Пиир, Дрейцер, Кунтыш, Кузнецов, Юдин, Стаселявичус, Письменный, Коваленко и многие другие. Анализ этих работ позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Трубчатые теплообменные поверхности, интенсифицированные трапецевидными рёбрами, обладают максимальной теплоотдачей по сравнению с другими типами оребрения в одинаковых условиях, а также характеризуются простотой изготовления и минимальной массой.

2. При одинаковой высоте рёбер различного профиля разница в значениях коэффициента конвективной составляющей теплоотдачи $\alpha_{конв}$ находится в пределах 5 %.

3. На величину $\alpha_{конв}$ большее влияние оказывает размер ребра, а не его форма.

4. По затратам тепловой энергии биметаллические ребристые трубы (далее БРТ) выигрывают у стальных ребристых на 50-70 %.

5. При заданной постоянной теплопроизводительности стоимости стального, алюминиевого и медного оребрения соотносятся как 1,2:1,0:2,0.

6. Спиральная накатка рёбер имеет большую технологичность в изготовлении и максимально возможные значения $\alpha_{конв}$ по сравнению с другими типами одиночных рёбер. Следует отметить, что в России не налажен промышленный выпуск труб со спиральной накаткой оребрения.

7. Возможности роста значения $\alpha_{конв}$ ограничены высотой ребра h , т.к. при больших значениях высоты ребра температура его торца приближается по величине к температуре омывающего потока.

8. Для шахматных пучков: величина $\alpha_{конв}$ падает при увеличении высоты ребра h и уменьшении шага рёбер S , т.е. при возрастании степени оребрения $\varphi_{ор}$ теплопередающей поверхности.

9. Из анализа конфигураций производимых БРТ значение $\varphi_{ор}=15,2$ оптимально с точки зрения учёта величины $\alpha_{конв}$ и гидравлических сопротивлений ΔP на прокачку омывающего теплоносителя. Оптимальные

размеры ребра в этом случае соотносятся как $\frac{h}{\Delta_p} = \left(\frac{2\lambda_p}{\alpha_{пр} \Delta_p} \right)^{0,5}$, где Δ_p – толщина ребра, м, λ_p –

коэффициент его теплопроводности, $\alpha_{пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи оребренной поверхности, Вт/м²·°С.

10. С увеличением числа поперечных набегавшему потоку рядов трубок z_p , $\alpha_{конв}$ растёт медленнее, чем металлоёмкость, а затраты мощности на прокачку набегавшего потока практически не зависят от числа рядов, но возрастают при увеличении степени оребрения $\varphi_{ор}$

Следует отметить, что в отечественной практике встречается мало работ, в которых эффективность интенсификации теплоотдачи рассматривается не только на основе теплогидравлических, но и экономических критериев. Так, например, остаётся открытым вопрос о влиянии параметров оребрения теплопередающей поверхности на величину годовых затрат на ведение процесса теплообмена.

Количественная же оценка влияния параметров оребрения ($\Delta_p, h, S, n_{ребер}$) на $\alpha_{конв}$ и ΔP была дана в работах Пира после проведения серии достаточно сложных с технологической точки зрения экспериментов на многорядных ($z_p \geq 6$) шахматных и коридорных пучках БРТ. При этом не было указано, насколько результаты проведенных экспериментов соотносимы на малорядные шахматные пучки БРТ ($z_p = 3 \div 4$), которыми komponуются выпускаемые Костромским калориферным заводом биметаллические калориферы КСк3 и КСк4.

Нахождение ответов на т.о. поставленные вопросы и является целью настоящей работы.

Биметаллическая трубка калориферов КСк представляется следующей конфигурацией: внутренняя труба – сталь, наружная ребристая – алюминий.

Габаритные размеры калориферов модельного ряда должны соответствовать ГОСТ 7201. При этом параметры оребрения могут изменяться в широких пределах.

Исследовались эксерго-экономические характеристики трёх типов оребрения шахматных пучков, наиболее часто встречающиеся на практике – $\varphi_{ор} = 9,4$, $\varphi_{ор} = 15,2$, $\varphi_{ор} = 20,0$.

При оценке эффективности оребрения использовался метод математического моделирования, представляющий собой математическое выражение связей между определяемыми (критерии оптимума) и определяющими параметрами – термодинамическими, расходными и конструктивными характеристиками. В качестве критерия оптимума выступали приведенные годовые затраты на единицу эксергии. В разработанной модели использовались закономерности, вытекающие из фундаментальных представлений теории теплообмена, что позволило отказаться от сложных дорогостоящих экспериментов. Модель можно характеризовать как статическую алгоритмическую нелинейную, поверочно-оптимизационную.

Из трёх рассматриваемых конфигураций оребрения выбирается та, для которой годовые затраты, приведенные на единицу полезной эксергии, минимальны.

Задача решалась численным методом поиска оптимального решения. Решение в аналитическом виде не может быть найдено из-за большого числа переменных величин и ограничений.

Исследование проведено на средней из ряда модели калорифера – КСк3-9 и КСк4-9 (соответственно 3 и 4 ряда труб по ходу воздуха). Габаритные размеры проходного сечения оставались постоянными. Постоянными и заданными также являлись длина БРТ, температуры греющего и нагреваемого теплоносителей (вода и воздух соответственно), температура отсчёта эксергии, число ходов по воде и оптимальная скорость набегавшего потока в сжатом сечении калорифера, число часов эксплуатации нагревательной установки в году, перепад давлений по обоим средам на входе в калорифер. Варьируемыми задаваемыми параметрами являлись $S, z_p, \delta_1, \delta_2, S_1, S_2, d_0, D, h, \Delta_1, \Delta_2$.

Целевая функция (годовые приведенные эксергетические затраты) включает две основные статьи затрат: переменную составляющую, определяемую требуемой мощностью на перекачку и величиной интенсивности теплопередачи, и постоянную составляющую, определяемую величиной поверхности теплообмена.

Проведённые расчёты по разработанному алгоритму показали, что самый высокий приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{пр}$ ребра имеет конфигурация с $\varphi_{ор} = 9,4$ при шаге рёбер $S = 3,5$ мм. Средний

$\alpha_{пр}$ для КСк4-9 при разных S на 3 % выше, чем при тех же шагах у КСк3-9. Таким образом подтверждаются выводы (7) и (8) из анализа литературных источников.

Отличия по ΔP для КСк3 и КСк4 в трёх конфигурациях оребрения для соответствующего $\varphi_{ор}$ отличаются на 8% (для КСк4 выше, чем для КСк3), – т.о. подтверждается вывод (10). При этом, как оказалось, увеличение шага рёбер S вовсе не способствует снижению потерь давления ΔP по газовому тракту. Главным фактором, влияющим на ΔP , является количество трубок в пучке, которое уменьшается при увеличении высоты рёбер h и поперечного шага труб S_1 .

Исходя из приведенных затрат на единицу эксергии, более предпочтительны пучки с $\varphi_{ор} = 15,2$, что подтверждает вывод (9), однако металлоёмкость такого пучка получается выше, чем для $\varphi_{ор} = 9,4$ и $\varphi_{ор} = 20,0$, что в итоге может отразиться на себестоимости поставляемого калорифера. Так, если бы формирование цен на калориферы проводилось на основе эксергетического показателя, – цены эксергии алюминия, – итоговая себестоимость оребрения 9,4, 15,8 и 20,0 могла бы соотноситься как 1,09:1,25:1,00.

Несмотря на полезные для практики результаты исследования, разработанная математическая модель обладает рядом недостатков. Так, в алгоритм не включена процедура поверочного итерационного расчёта конечных температур теплоносителей, а также температур теплопередающей стенки. Параметры конвективного теплообмена рассчитывались при средних температурах теплоносителей без разделения поверхности теплообмена на теплопередающие ячейки, в которых бы учитывались свои особенности неравномерности течения. Как следствие из этого, приведенный коэффициент теплоотдачи α_{np} получается одинаковым для всей теплообменной поверхности и принимается равным среднему по поверхности.

Список использованных источников

1. Бажан, П.И. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селивестров. – М.: Машиностроение, 1989. – 367 с.
2. Бояринов, А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1969. – 566 с.
3. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 250 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
5. Кафаров, В.В. Оптимизация теплообменных процессов и систем / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, Л.В. Гурьева. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 191 с.
6. Кафаров, В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
7. Коваленко, Л.М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л.М. Коваленко, А.Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
8. Лapidус, А.С. Экономическая оптимизация химических производств / А.С. Лapidус. – М.: Химия, 1986. – 207 с.
9. Лейтес, И.Л. Теория и практика химической энерготехнологии / И.Л. Лейтес, М.Х. Сосна, В.П. Семёнов. – М.: Химия, 1988. – 280 с.
10. Оносовский, В.В. Моделирование и оптимизация холодильных установок / В.В. Оносовский. – Л.: Издательство ЛУ, 1990. – 208 с.
11. Сажин, Б.С. Эксергетический анализ работы промышленных установок / Б.С. Сажин, А.П. Булеков, В.Б. Сажин. – М., 2000. – 297 с.
12. Хрусталёв, Б.М. Техническая термодинамика / Б.М. Хрусталёв, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк. – Мн.: УП «Технопринт», 2004 – 560 с.
13. Янтовский, Е.И. Потоки энергии и эксергии / Е.И. Янтовский. – М.: Наука, 1988. – 144 с.
14. Нитч, Р. К эксергетической теории формирования затрат / Р. Нитч // Энергия и эксергия: сборник статей; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1968. – С. 94-105.
15. Шаргут, Я. Использование эксергии в экономике / Я. Шаргут, Р. Петеля // Эксергетический метод и его приложения: сборник статей; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1967. – С. 165-188.

УДК 621.01

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СКОРОСТЯХ ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ
МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

Календарев А.В., асп., Глазунов В.А., д.т.н., д.ф.н., проф.,

*Московский государственный университет дизайна и технологий,
г. Москва, Российская Федерация*

В последние годы в связи с требованиями повышения эффективности производства к автоматизации текстильных предприятий проявляется все больший интерес со стороны ученых и исследователей. В частности, автоматизация погрузочно-разгрузочных транспортных и складских работ на предприятиях текстильной промышленности обеспечивается благодаря применению роботов и манипуляторов.

Использование параллельных роботов и механизмов параллельной структуры привлекает все большее внимание, так как они имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными механизмами роботов: низкая инерция, относительно высокая жесткость, быстроходность и высокая грузоподъемность по отношению к общей подвижной массе манипулятора, точность и меньшие размеры, а так же взаимосвязь приводов. Такие положительные свойства обусловлены наличием параллельных ветвей, связывающих входной и выходной звенья манипулятора. Однако эти преимущества достигаются за счет снижения рабочего пространства манипулятора, более сложной кинематики и алгоритмов управления, а также наличием особых (сингулярных) положений в рабочем пространстве робота.

В рамках исследования кинематики манипуляционных механизмов параллельной структуры в статье поднимаются вопросы решения задачи о скоростях данных механизмов с различным количеством степеней свободы. Данная задача крайне важна при проектировании манипуляционных механизмов данного класса, а также при их управлении для выявления так называемых особых (сингулярных) положений, то есть положений, в которых либо теряется степень свободы, либо механизм становится неуправляемым. В связи с