

УДК.536.67:66.02

Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Климов В.Ф., Колбасов А.Н.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕПЛООБМЕН В КОМПАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

1. Актуальность проблемы.

В последние годы все больше возрастает интерес к образцам бронированной техники. Покупателями танков и бронетранспортеров, в основном, являются страны с жарким климатом, где температура окружающей среды достигает 50...55°C. Ни один образец военной техники, созданный ранее, не способен эксплуатироваться в подобных условиях без ограничений по скоростному и нагрузочному режимам. Существующие ранее стандарты предусматривали возможность эксплуатации бронированных объектов при температуре окружающей среды не более 40°C. С повышением требований необходимы были новые технические решения по обеспечению отвода увеличенного количества тепла при неизменных объемах силовых установок. Кроме того, для повышения характеристик подвижности, постоянно увеличивалась мощность двигателей. Так в танке Т-64А и его модификациях мощность двигателя составляла 700 л.с., в танках Т-84 и «Оплот» - 1200 л.с.

Отвод увеличенного количества тепла технически сложная задача и требует комплексного решения - улучшения характеристики эжектора, повышения эффективности теплообменников и повышения предельно допустимых значений температур охлаждающей жидкости. Каждое из этих направлений представляет собой технически сложную задачу, решаемую с целым рядом ограничений.

Вопросы повышения эффективности теплообменников связаны с изучением процесса тепломассообмена по двум контурам - воде и воздуху и разработкой конструктивных мероприятий повышения характеристик теплообменников.

2. Обзор исследований по теплообменникам систем охлаждения ВГМ

Исследования факторов, влияющих на комплексные показатели тепломассообмена в теплообменниках с разной поверхностью теплообмена, проводились учеными В.К.Мигеем [1,2], В.М.Бузником, Н.Г.Лебедем [3,4], Г.И.Ворониным, Е.В.Дубровским [5], О.Б.Анипко [6,7], А.В.Репиным, Г.Л.Михайловым [8]. По результатам этих исследований было доказано, что интенсификация теплообмена со стороны воздушного потока пропорциональна величине аэродинамического сопротивления, на что существенное влияние оказывают формы каналов - треугольные или трубчато-ребристые. Степень оребрения увеличивает поверхность теплообмена, в результате чего увеличивается конвективный теплообмен. С другой стороны, интенсификация теплообмена решается за счет увеличения поверхности теплообмена по жидкому теплоносителю, что достигается различными конструктивными решениями.

Исследования, приведенные в КП ХКБМ им. А.А.Морозова дают основания утверждать, что интенсивность теплообмена - это противоречивая задача, где приходится решать многофакторные задачи, где параметры, характеризующие процесс теплообмена.

Сложность создания теплообменников для военных гусеничных машин связана с целым рядом ограничений, главные из которых массогабаритные и необходимость при минимальных расходах воздуха обеспечить съем тепла для обеспечения

эксплуатации объекта без ограничений при высоких температурах окружающего воздуха.

Глубокие исследования и разработка конструктивных мероприятий для удовлетворения требований к теплообменникам ВГМ в Украине не проводятся, за исключением ХКБМ им. А.А.Морозова, где на основе исследований натуральных образцов, разработан комплекс обобщенных параметров, позволяющих для силовых установок любой мощности создавать многоконтурные системы охлаждения эжекционного типа. Такие работы выполнены для всех моделей танков и бронетранспортеров, созданных в КП ХКБМ им. А.А.Морозова.

3. Основная часть.

В современных теплообменниках с воздушным охлаждением широкое распространение получили поверхности, образуемые оребрением. Интенсивность теплоотдачи зависит от гидравлического сопротивления теплообменника и аэродинамического сопротивления по контуру воздушного теплообмена.

Теплоотдача от развитой поверхности к воздушному потоку существенно зависит от конструкции оребрения и характеризуется КПД ребра. В процессе теплопередачи в элементах оребрения возникает температурный градиент, что приводит к снижению эффективности ребристой поверхности. Результаты анализа теоретических и экспериментальных работ показали, что коэффициент теплоотдачи развитой поверхности зависит от конкретного типа оребрения. Для более точной оценки конструктивного исполнения трубок и метода оребрения используется математическое моделирование процесса теплоотдачи при движении потока воздуха.

Теоретический анализ теплоотдачи оребренных поверхностей предполагает ряд допущений, которые четко определяют и ограничивают задачу и несколько упрощают ее. В инженерных методах расчета теплоотдачи и сопротивления некруглых каналов используются методы расчета круглого сечения с эквивалентным диаметром.

Относительно малые значения гидравлического диаметра трубок и большая длина их позволяют пользоваться решением задач для стабилизированного потока с учетом распределения скоростей движения потоков, определенных численно-аналитическим методом. В общем случае задача теплообмена в каналах ребристых поверхностей решается при одновременном анализе теплопроводности ребер и конвективного теплообмена.

Теплоотдача в каналах зависит от ряда факторов, основными из которых являются условия течения теплоносителя и его теплофизические свойства, а также размеры и форма каналов.

Теплоотдача от поверхности к теплоносителю при ламинарном течении осуществляется теплопроводностью. Следовательно, тепловой поток пропорционален градиенту температуры по нормали к стенке. Этот температурный градиент определяется не только распределением скорости и теплопроводностью теплоносителя, но также и степенью его нагрева.

Теплоотдача в каналах характеризуется числами Нуссельта и Прандтля. Число Нуссельта пропорционально отношению теплоотдачи к коэффициенту теплопроводности. Это приводит к выводу о том, что отношение теплового потока к расходу теплоносителя, протекающего через канал, должно быть пропорционально коэффициенту теплопроводности, деленному на характерный размер в направлении теплового потока.

Число Прандтля представляет собой отношение молекулярного коэффициента переноса количества движения к молекулярному коэффициенту переноса теплоты. Значение числа Прандтля для воздуха незначительно зависит от изменения

температуры и существенно отличается для капельных жидкостей. Суть этого отличия заключается в том, что теплофизические параметры, составляющие число Прандтля и отражающие распределение касательных напряжений и теплоты, по молекулярно - кинетической теории газов пропорциональны одной и той же величине - произведению средней скорости молекул на среднюю длину их свободного пробега. В широко применяемых теплообменных аппаратах, в которых в качестве теплоносителя используется воздух, описание его свойств осуществляется по линейно интерполированным данным.

Площадь развитой поверхности в единице объема существенно зависит от формы и размеров каналов. Развитая поверхность наиболее эффективно используется в теплообменных устройствах, если отношение площадей поверхностей с жидкой и газовой стороны, примерно, обратно пропорционально отношению соответствующих коэффициентов теплоотдачи.

Форма каналов и их геометрические размеры оказывают влияние на профиль скорости теплоносителя и локальные коэффициенты переноса теплоты. В каналах поле скорости теплоносителя характеризуется максимальной и средней скоростью течения, степенью заполнения профиля скорости, пористостью развитой поверхности.

Таким образом, геометрический фактор оказывает наиболее существенное влияние на процесс теплоотдачи развитой поверхности. В тоже время, при выборе основных геометрических характеристик развитых поверхностей теплообменника, определяющими являются теплогидравлические факторы (температура несущих поверхностей и теплоносителей, потери давления, распределение гидродинамических параметров, перемешивание).

Кроме основных факторов, на теплообмен в каналах оказывают влияние шероховатость стенки, технологические отклонения от заданных размеров, условия входа и выхода потока, а также интенсивность теплоотдачи внутри несущих труб.

Таким образом, задача теплообмена при ламинарном течении воздуха в каналах неканонического поперечного сечения, образованных развитой поверхностью, представляется сложной и требует комплексного метода решения.

Для однофазной, химически однородной, несжимаемой жидкости система дифференциальных уравнений, описывающих нестационарный сопряженный теплообмен в канале произвольного поперечного сечения, представляется в виде уравнения неразрывности.

$$\frac{\partial \rho_{жс}}{\partial \tau} + \text{div}(\rho_{жс}, \vec{W}_{жс}) = 0 \quad (1)$$

уравнения движения

$$\rho_{жс} \frac{\partial \vec{W}_{жс}}{\partial \tau} (\vec{W}_{жс}, \text{grad} \vec{W}_{жс}) = \vec{F} - \text{grad} P + 2 \text{div}(\mu_{жс} S_{жс}) \quad (2)$$

уравнения энергии

$$\rho_{жс} c_{жс} \left[\frac{\partial t_{жс}}{\partial \tau} + (\vec{W}_{жс}, \text{grad} t_{жс}) \right] = \text{div}(\lambda_{жс} \text{grad} t_{жс}) + \frac{dP}{dt}; \quad (3)$$

и уравнения теплопроводности для стенки

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda_{cm} \text{grad} t_{cm}) + q_v \quad (4)$$

Условие сопряжения - равенство температур и тепловых потоков на границе «жидкость - стенка»

$$(t_{ж})_{cm} = (t)_{cm} \quad (5)$$

$$-\lambda_{ж} \left(\frac{\partial t_{ж}}{\partial n} \right)_{cm} = \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{cm} \quad (6)$$

Система уравнений (1) - (6) очень сложна и решение ее в общем виде связано с большими трудностями. Эти трудности вызваны нелинейностью уравнений движения и энергии, обусловленной наличием конвективных членов и зависимостью физических свойств потока от температуры. Вследствие зависимости μ и ρ от t , поля скорости и температуры оказываются взаимно связанными. Поэтому уравнения движения и неразрывности нельзя решать независимо от уравнения энергии.

Такая постановка задачи существенно упрощается, если предположить, что вязкость и плотность потока постоянны. В этом случае уравнение движения становится независимым от уравнения энергии и температура не оказывает влияния на поле скорости, которое можно определить, решая только уравнения движения и неразрывности.

Предположение о постоянстве физических свойств существенно упрощает систему уравнений, благодаря чему становится возможным решение многих задач теплообмена. В то же время, это предположение ограничивает область применения получаемых результатов такими реальными процессами, в которых физические свойства жидкости изменяются незначительно.

Физические условия протекания процесса существенно упрощают систему уравнений и позволяют получить довольно точное решение задачи. Для задачи теплообмена в канале при полностью развитом ламинарном потоке принимаются следующие допущения:

1. Течение жидкости и процесс теплообмена стационарны.
2. Жидкость несжимаема, ее физические свойства не зависят от температуры и давления.
3. Течение стабилизировано, профиль скорости не изменяется по длине.
4. В потоке отсутствуют внутренние источники теплоты.
5. Вторичными течениями в сечении канала пренебрегаем, ввиду их малости.

С учетом этих допущений система уравнений (1) - (6) преобразуются в систему уравнений для пограничного слоя

$$\rho c_p W(x, y) \frac{\partial t}{\partial z} = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = - \frac{\Delta P}{\mu e} \quad (8)$$

Граничные условия для потока задаются в зависимости от конкретной задачи. Граничные условия на стенке формируются на основе положения о неразрывности температурного поля на границе «жидкость - стенка». Таким образом, температура жидкости в каждой точке на поверхности стенки должна быть равна температуре поверхности стенки в той же точке.

Выводы

1. Теплоотдача в каналах теплообменника пропорциональна коэффициенту теплопроводности и зависит от значений числа Прандтля и Нуссельта.
2. Процесс теплообмена в теплообменниках описывается системой уравнений по законам неразрывности струи, движения и энергии.
3. Решение задачи определения эффективности теплообменников возможно с учетом ряда допущений и преобразований расчетных формул в более простые уравнения для пограничного слоя течения жидкости в ламинарном режиме.

Литература: 1. Мигай В.К. Влияние угловых областей каналов на трение и теплообмен // Теплоэнергетика. - 1979. - №10. - с.45-47. 2. Мигай В.К. Теплообмен в треугольном канале при ламинарном течении // ИФ1А.-1958.- т.1. -№.-с.18. 3. Бузник В.М. Теплопередача в судовых энергетических установках. -Л.: Судостроение, 1967. - 376с. 4. Лебедь А.Г., Бузник В.М., Лобов В.И. Исследование теплопередачи и гидравлического сопротивления при ламинарном течении в каналах треугольного сечения// Тр. Николаевского кораблестроит. ин-та., Теплоэнергетика, - 1970, №33. - с.11-16. 5. Воронин Г.И., Дубровский Е.В. Эффективные теплообменники. - М.: Машиностроение, 1973. - 96с. 6. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Климов В.Ф. Техническая термодинамика и теплопередача в комнатных теплообменниках транспортных средств Х.НТУ «ХПИ», 2006г., 234с. 7. Анипко О.Б. Развитый ламинарный поток в треугольных каналах контактных теплообменниках // Механіка та машинобудування - 1999, №1, с.3-10.

Аніпко О.Б., Борисюк М.Д., Клімов В.Ф., Колбасов О.М.

ОСНОВНИ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТЕПЛООБМІН В КОМПАКТНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Останнім часом підвищились вимоги до умов експлуатації танків та бронетранспортерів при температурах навколишнього середовища до 55°C.

У зв'язку з цим виникла необхідність створення теплообмінників, здатних забезпечити експлуатацію без обмежень руху, що базується на розрахунках теплообмінників.

O.B. Anipko, M.D. Borisyuk, V.F. Klimov, A.N. Kolbasov

THE MAIN FACTORS INFLUENCING THE HEAT TRANSFER IN COMPACT HEAT EXCHANGERS VEHICLES

In recent years, increased requirements for the operation of tanks and armored personnel carriers at ambient temperatures of up to 55°C.

In this regard, the need to create heat exchangers, capable of operation without restriction of motion, based on calculations of heat exchangers.
