

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ В РАДИАТОРЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

С.Л. Панченко¹, С.А. Толстов², А.С. Толстова³
^{1, 2, 3} Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
¹ psl84@mail.ru
² serezha.tolstoff@yandex.ru
³ alexkonnik2016@gmail.com

Аннотация. В статье обоснована актуальность интенсификации процесса охлаждения горячего теплоносителя в радиаторе двигателя внутреннего сгорания. Предлагается интенсификация процесса охлаждения жидкости в радиаторе двигателя внутреннего сгорания за счет создания поперечной кольцевой накатки в теплообменных трубах.

Ключевые слова. Процесс охлаждения, радиатор, интенсификация, поперечная кольцевая накатка.

COOLING PROCESS INTENSIFICATION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE RADIATOR

S.L. Panchenko¹, S.A. Tolstov², A.S. Tolstova³
^{1, 2, 3} Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
¹ psl84@mail.ru
² serezha.tolstoff@yandex.ru
³ alexkonnik2016@gmail.com

Abstract. The article substantiates the relevance to intensify of the hot coolant cooling process in internal combustion engine radiator. It is proposed to the liquid cooling process intensification in internal combustion engine radiator by creating a transverse annular knurling in heat exchange tubes.

Keywords. Cooling process, radiator, intensification, transverse annular knurling.

Одним из самых распространенных и широко используемых в различных областях народного хозяйства видов оборудования являются теплообменные аппараты (теплообменники). Они представляют собой устройства, предназначенные для передачи теплоты от теплоносителя (жидкости или газа), обладающего большей температурой (горячего теплоносителя) к теплоносителю (жидкости или газу), обладающего меньше температурой (холодному теплоносителю) [1]. Обычно нагревание холодного теплоносителя происходит за счет охлаждения горячего и наоборот. Из основных типов теплообменников (смесительные, рекуперативные, регенеративные, с промежуточным теплоносителем) самыми распространенными являются рекуперативные, в которых передача теплоты от одного

теплоносителя к другому осуществляется через разделяющую их стенку. Автомобильный транспорт не является исключением. Для предотвращения перегрева двигателя внутреннего сгорания он снабжен газо-жидкостным (воздухо-жидкостным) теплообменником – радиатором, в котором охлаждающая цилиндры жидкость (вода, тосол или антифриз) охлаждается потоком окружающего воздуха (естественным при движении или принудительно создаваемым вентилятором).

Принцип работы радиатора двигателя внутреннего сгорания состоит в том, что горячий теплоноситель (охлаждающая жидкость), получивший тепло от стенок цилиндров двигателя, нагревается до рабочей температуры на 5...10 градусов ниже температуры его кипения и насосом подается во входной коллектор радиатора, из которого проходит по теплообменным трубкам, выходящим в выходной коллектор. Из выходного коллектора охлажденный теплоноситель снова поступает в рубашку цилиндров двигателя, охлаждает их, нагреваясь при этом, и цикл повторяется. При движении трубки радиатора обдуваются воздушным потоком (при стоянке принудительно вентилятором). В результате процесса теплообмена охлаждающей жидкости с воздухом через стенки трубок радиатора температура горячего теплоносителя снижается, и он снова может принимать тепло, т. е. охлаждать цилиндры.

Обеспечение необходимого значения температуры охлаждающей жидкости является обязательным условием нормальной работы двигателя внутреннего сгорания, и в первую очередь это достигается правильным функционированием радиатора. В случае нарушения работы радиатора охлаждение цилиндров не будет обеспечено, поскольку от охлаждающей жидкости нарушится или вовсе прекратится отвод теплоты, что приведет к серьезным неисправностям и даже полностью выходу двигателя из строя.

Для интенсификации процесса теплопередачи и таким образом лучшего охлаждения охлаждающей жидкости с целью сохранения значения ее температуры, не превышающей значение, при котором охлаждения двигателя будет затруднено, в радиаторе применяется способ интенсификации процесса теплообмена между охлаждающей жидкостью и воздухом.

В соответствии с теорией теплопередачи тепловой поток, передаваемый через поверхность теплообмена (теплопередающую стенку) от горячего теплоносителя к холодному, определяется в соответствии с основным уравнением теплопередачи [2]:

$$Q = kF\Delta t, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

Δt – средний температурный напор (разность средних температур между теплоносителями), К.

Анализируя уравнение (1), можно сделать вывод, что интенсификацию процесса теплопередачи, т. е. обеспечение переноса большего значения теплового потока от горячего теплоносителя к холодному, можно обеспечить разными

способами: увеличить средний температурный напор, увеличить площадь теплопередающей поверхности или увеличить коэффициент теплопередачи. При охлаждении двигателя внутреннего сгорания значения температур изменить не представляется возможным, поскольку они определяются температурой окружающего воздуха и рабочей температурой охлаждающей жидкости. Для обеспечения большей площади поверхности теплообмена в конструкции современных радиаторов, в пространстве между теплообменными трубками, используется один из видов оребрения – набивка (соты) (рис. 1). Данная набивка является довольно плотной, и дальнейшее увеличение ее количества не представляется возможным, поскольку расстояние между стенками сот может уменьшиться настолько, что воздух в пространстве между трубками не будет проходить с нужной для охлаждения скоростью.

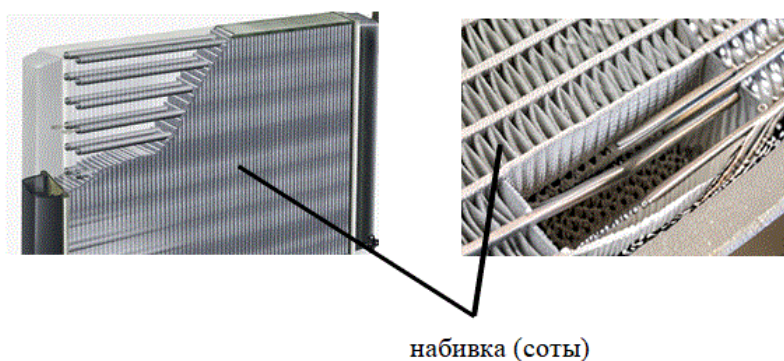


Рисунок 1 – Оребрение в радиаторе двигателя внутреннего сгорания

В связи с этим, единственным способом интенсификации процесса теплообмена между горячей охлаждающей жидкостью и воздухом через теплопередающие стенки трубок радиатора остается увеличение коэффициента теплопередачи (см. уравнение (1)).

В теории теплопередачи при осуществлении передачи теплоты через цилиндрическую стенку используют линейный коэффициент теплопередачи, физический смысл которого состоит в том, что он равен значению теплового потока, проходящего между теплоносителями через цилиндрическую стенку (трубу) длиной в 1 м при разности температур теплоносителей в 1 К. Определяется данный коэффициент в соответствии со следующим выражением [2]:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{\text{âí}}} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{\text{îäð}}}{d_{\text{âí}}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{\text{îäð}}}}, \quad (2)$$

где k – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К);

α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$d_{\text{нар}}, d_{\text{вн}}$ – диаметры теплообменной трубы, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала теплообменных труб, Вт/(м·К).

Интенсификация процесса теплообмена между теплоносителями через теплопередающую стенку теплообменных труб за счет увеличения коэффициента теплопередачи позволит либо только снизить температуру горячего теплоносителя, либо уменьшить массогабаритные характеристики теплообменного аппарата (в данном случае радиатора системы охлаждения). Это является немаловажным фактором, поскольку позволяет получить теплообменник меньшей массы и габаритов при тех же интервалах температур охлаждающей жидкости и воздуха (за счет применения меньшего количества набивки).

Из теории теплопередачи известно [3], что при любом режиме движения жидкостей и газов в гладких каналах (трубах), около стенки трубы имеется ламинарный пограничный подслой, где движение теплоносителя (имеет характер ламинарного, слоистого, и передача теплоты происходит не конвекцией, а теплопроводностью через слои теплоносителя. Поскольку теплоносители являются жидкостями или газами, а они, как известно, имеют малый коэффициент теплопроводности, это непосредственно влияет на снижение интенсивности передачи теплоты через теплопередающую стенку. Поэтому разрушение ламинарного пограничного подслоя (турбулизация пристенного слоя теплоносителя) позволит интенсифицировать процесс теплопередачи, в данном случае за счет увеличения коэффициента α_1 теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке (см. уравнение (2)).

Наиболее простым способом разрушения ламинарного подслоя и таким образом интенсификации процесса теплообмена в трубах без усложнения их конструкции является создание дискретно-шероховатой поверхности теплообмена [3]. Примером данной поверхности является поперечная кольцевая накатка на стенке трубы, получаемая способом накатывания роликами и являющаяся наименее трудоемкой в изготовлении (рис. 2).

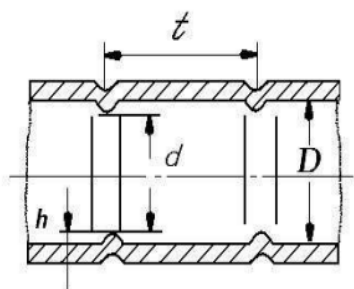


Рисунок 2 – Схема поперечной кольцевой накатки в трубе

При применении данного способа методом накатывания роликом в трубе с определенным шагом t снаружи образуются кольцевые углубления, а внутри – кольцевые выступы высотой h , благодаря которым и разрушается ламинарный пограничный подслой, что увеличивает коэффициент теплоотдачи внутри трубы за счет увеличения конвективной составляющей, таким образом растет линейный коэффициент теплопередачи (см. уравнение (2)) и интенсифицируется процесс. При этом в месте образования кольцевых выступов внутренний диаметр трубы D уменьшается до размера d , равного $D-2h$. Размеры t и h подбираются экспериментально с целью наибольшего увеличения коэффициента теплопередачи от горячего воздуха к холодному через стенку трубы.

На рис. 3 показана объемная модель участка обычной гладкой теплообменной трубки и трубки того же диаметра с нанесением поперечной кольцевой накатки.

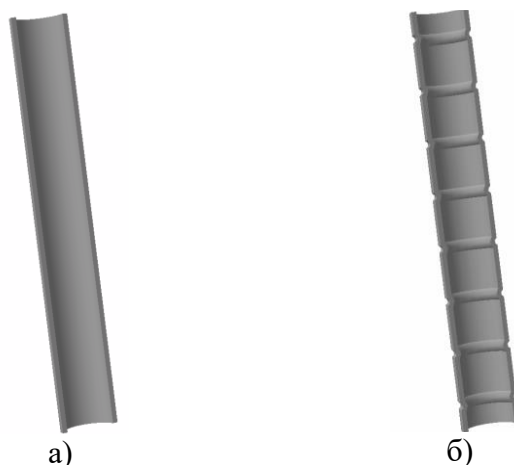


Рисунок 3 – 3D-модель (в разрезе) гладкой трубы теплообменника (а) и трубы с нанесением поперечной кольцевой накатки (б)

Применение поперечной кольцевой накатки на протяжении всей длины трубы, в данном случае радиатора охлаждения двигателя внутреннего сгорания, обеспечивает разрушение ламинарного подслоя (турбулизацию потока теплоносителя в трубе), увеличивает коэффициент теплоотдачи и линейный коэффициент теплопередачи, таким образом интенсифицируется процесс передачи теплоты от горячего теплоносителя (охлаждающей жидкости) холодному теплоносителю (окружающему воздуху). Это позволит снизить температуру охлаждающей жидкости и избежать перегрева, а при сохранении разности температур охлаждающей жидкости и воздуха – снизить габаритные размеры радиатора и его массу за счет снижения площади поверхности теплообмена (уменьшения длины труб или количества сотовой набивки). Снижение размеров и массы радиатора в данном случае могут улучшить мощностные характеристики двигателя и снизить расход топлива.

Список литературы

1. Теплообменники масляных систем двигателей летательных аппаратов и их расчет: учеб. пособие / С.Л. Панченко, С.А. Толстов, А.К. Айсин. – Воронеж: «Роза ветров», 2022. – 94 с.
2. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, А.М. Михеева. – М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
3. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебно-справочное пособие / А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров. – М.: «Теплотехник», 2011. – 335 с.

References

1. Heat exchangers of aerial vehicles engines oil systems and calculation: training manual / S.L. Panchenko, S.A. Tolstov, A.K. Aysin. – Voronezh: «Roza Vetrov», 2022. – 94 p.
2. Basic of the heat trasfer / M.A. Mikheev, A.M. Mikheeva. – Moscow: «Энергия», 1977. – 344 p.
3. Methods of intensification and modeling of heat mass transfer processes. Training-referential manual / A.G. Laptev, N.A. Nikolaev, M.M. Basharov. – Moscow: «Teplotekhnika», 2011. – 335 p.