

УДК 621.436

Поиск рациональной поверхности теплообмена для охладителей наддувочного воздуха ДВС

Авторы: *Мошенцев Ю. Л., Гогоренко А. А., Минчев Д. С., Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

Для охладителей наддувочного воздуха двигателей внутреннего сгорания в настоящее время применяют компактные и лёгкие поверхности теплообмена (ПТ). Такие ПТ в своё время выполнялись на основе пайки оловянистыми припоями, что отрицательно сказывалось на ресурсе теплообменников, особенно в связи с ростом давления наддува. Был период, когда охладители наддувочного воздуха (ОНВ) выполнялись на базе ПТ, выполненных из труб с накатным оребрением, что позволяло исключить пайку и увеличить их ресурс. Эти ПТ отличались высокой надёжностью и хорошо работали как на пресной, так и на заборной воде. В то же время массы ОНВ, выполненных на базе таких ПТ, были существенно выше, чем изготовленные с применением пайки. Паяные ПТ имеют тонкостенные трубки и более удачные параметры оребрения. Их стоимость, как и масса, намного ниже трубчатых. В настоящее время практически все ОНВ охлаждаются теплоносителем внутреннего контура (обычно пресная вода или низкотемпературные жидкости). Это снимает проблему использования тонкостенных трубок. Ненадёжная пайка оловянистыми припоями сейчас заменяется использованием технологии спекания на основе использования материалов, стойких к высоким температурам и вибрациям. В частности, широкое применение получила технология *CuproBrazе*, которая позволяет выполнять ПТ, нормально работающие при температурах, значительно превышающих температуры наддувочного воздуха за компрессором при высоком давлении наддува двигателей.

В настоящее время Бериславский машиностроительный завод (БерМЗ) занимается поиском современной трубчато-пластинчатой поверхности теплообмена для ОНВ, взамен накатной круглотрубчатой, традиционно применявшейся им для производства ОНВ. Новая ПТ позволит существенно снизить массу теплообменной поверхности в охладителях наддувочного воздуха и обеспечит рост эффективности при сохранении их габаритов.

Альтернативные ПТ, обладающие меньше массой и обеспечивающие значительное снижение стоимости ОНВ, могут быть получены на основе применения трубчато-пластинчатых поверхностей теплообмена различных конфигураций [1, 2]. В частности, в качестве такой ПТ авторами была выбрана трубчато-пластинчатая поверхность теплообмена, выполненная на

основе коридорного пучка плоскоовальних труб с груповим поперечним оребренням плоскими пластинами, имеющими поперечные выштамповки в виде треугольного выступа (ТПКпв). Выбранная ПТ прошла испытания [3, 4] сначала на модели, а затем на натурном образце ОНВ.

Эта ПТ обеспечила хорошие параметры ОНВ для двигателя типа Д49 (16ЧН26/26 мощностью 2950 кВт). Эффективность ОНВ после длительной эксплуатации $\eta = 0,96$ при воздушном сопротивлении $\Delta p = 260$ мм вод. ст. Опытный образец натурного ОНВ из такой ПТ удовлетворительно прошёл стендовые вибрационные испытания и испытания на двигателе. В то же время вследствие использования оловянистых припоев и устаревшей технологии изготовления обнаружился ряд негативных явлений, таких как нестабильность теплотехнических свойств ПТ в условиях предложенной технологии изготовления, чрезмерная сложность конструкции изделия при условии обеспечения заданной прочности, вероятно низкий ресурс изделия и некоторые другие. В результате БерМЗ отказался от попыток изготовления ОНВ с альтернативным видом ПТ на базе собственных технологий и обратился к производителям, готовым предоставить необходимые технологии или готовые комплектующие для производства новых ОНВ на базе альтернативных ПТ. Одной из таких организаций, готовых к сотрудничеству, оказалась дочернее предприятие компании Aurubis в Швеции. Предприятие владеет технологией CuroBrazе и современными технологиями изготовления лёгких и компактных трубчато-пластинчатых ПТ. По просьбе БерМЗ предприятие Aurubis начало подбор подходящей ПТ для изготовления ОНВ с параметрами, заявленными БерМЗ. В результате была выбрана ПТ (рис. 1).

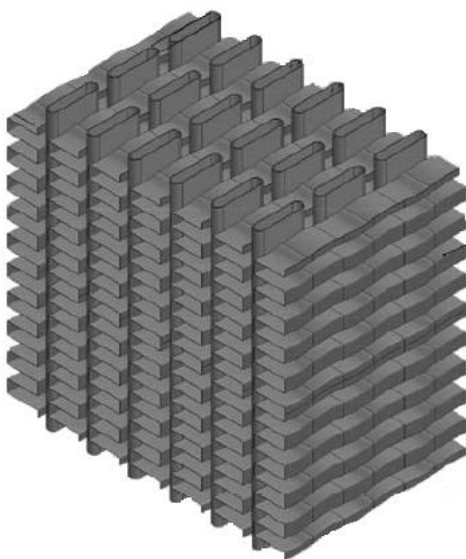


Рис. 1. Фрагмент теплообменного элемента экспериментальной модели ОНВ

На ее основе изготовлен экспериментальный образец модели ОНВ и выполнены первые экспериментальные исследования. Результаты были представлены БерМЗ. В то же время результаты не были представлены таким образом, чтобы заказчик смог количественно оценить те параметры (как минимум, η и Δp), которые имел бы натурный ОНВ на двигателе, если бы он был выполнен из этой ПТ.

Методика обработки экспериментальных данных, предложенная авторами, основана на получении коэффициента теплоотдачи от воздуха расчетным путем через определение коэффициента теплопередачи как функции КПД теплообменника, для которого известна схема взаимного течения теплоносителей и особенность перемешивания воздушного потока в каждом поперечном сечении по его ходу. В результате обработки экспериментальных данных получены константы критериальных уравнений по теплообмену и сопротивлению, традиционно использующиеся для описания частных граничных условий

$$Nu = 0,1612 Re^{0,5879},$$

$$Eu Re^2 = 0,4143 Re^{2,0958} \frac{L}{d_s},$$

где L – длина теплообменного элемента ОНВ по ходу движения воздуха, м; d_s – эквивалентный диаметр поверхности теплообмена по воздуху, м.

Для установления целесообразности применения новой ПТ при создании перспективных конструкций ОНВ тепловозных двигателей выполнены сравнительные расчеты для тепловозного двигателя типа Д49. Сравнивались ОНВ с ПТ вида ТПКпв, с ПТ, предложенной предприятием Aurubis и рассмотренной в данной работе (см. рис. 1). Расчеты обоих ОНВ выполнялись при одинаковых параметрах теплоносителей на входе и одинаковых габаритных размерах теплообменного элемента ОНВ, для чистой поверхности теплообмена. В результате получены значения всех параметров теплоносителей за сравниваемыми ОНВ, а также КПД теплообменников и их сопротивления по воздуху и воде (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчета ОНВ для двигателя типа Д49

Параметр	Ед. изм.	Наименование параметра	Значение	
			ТПКпв	Aurubis
G_B	кг/с	Расход воздуха	5,2	
G_W	кг/с	Расход воды	18,1	
t_{B1}	°C	Температура воздуха на входе в ОНВ	137,6	
t_{B2}	°C	Температура воздуха на выходе из ОНВ	48,7	58,3
t_{W1}	°C	Температура воды на входе в ОНВ	46,3	

t_{w2}	°C	Температура воды на выходе из ОНВ	57,4	51,8
η		КПД ОНВ	0,9736	0,8687
P_1	кПа	Давление воздуха перед ОНВ	270,66	
ΔP	мм в.ст.	Сопротивление ОНВ по воздуху	193,4	604,9
ΔP_w	кПа	Сопротивление ОНВ по воде	8,54	13,1
w_w	м/с	Скорость воды в трубках	0,85	0,80
$R_{ст}$	м ² ·К/Вт	Термическое сопротивление стенки	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$
Q	кВт	Тепловая мощность ОНВ	585,9	414,5
L_n	м	Длина пучка	0,37	0,37
B_n	м	Ширина пучка	0,68	0,68
H_n	м	Высота пучка	0,52	0,52
b_{wt}		Количество термодинамических ходов по воде в ОНВ	2	2
b_w		Количество гидравлических ходов по воде в ОНВ	1	1
$\bar{\rho}$		Степень повышения плотности воздуха	1,427	1,21

Как видно из табл. 1, наилучшей совокупностью теплотехнических параметров бесспорно обладает ОНВ, выполненный на базе поверхности теплообмена ТПКпв. ПТ, выбранная Augubis, не обладает необходимыми данными и должна быть заменена на более удачную.

Литература

- [1] Бажан, П. И. Расчет и конструирование охладителей дизелей [Текст] / П. И. Бажан. – М. : Машиностроение, 1981. – 168 с.
- [2] Бурков, В. В. Автотракторные радиаторы [Текст] / В. В. Бурков, А. И. Индейкин. – Л. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
- [3] Гогоренко, А. А. Создание перспективных конструкций охладителей наддувочного воздуха тепловозных двигателей [Текст] / А. А. Гогоренко // Вісник НУК імені адмірала Макарова. – 2011 – №1. – С. 86–95.
- [4] Мошенцев, Ю. Л. О целесообразности применения различных видов поверхностей теплообмена в охладителях наддувочного воздуха тепловозных двигателей [Текст] / Ю. Л. Мошенцев, А. В. Нагорный, А. А. Гогоренко // Международный информационно-технический журнал «Локомотив-информ». – 2010 – № 4. – С. 14–17.