

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

И.И. Хабибуллин, Д.Н. Шатунов, К.Т. Хайретдинова

Рассмотрены основные интенсификаторы теплообмена и конструкции аппаратов воздушного охлаждения российского производства. В ходе исследования создан экспериментальный образец аппарата воздушного охлаждения масла, проведены функциональные и ресурсные испытания, включающие наработку аппаратов воздушного охлаждения масла в автоматическом режиме более 6500 ч. Приведены сравнительные данные опытной конструкции аппарата воздушного охлаждения и конструкций аналогов российского производства.

Ключевые слова: интенсификация, аппарат воздушного охлаждения масла, оребренная труба, прототип, модульная конструкция.

При использовании газоперекачивающих агрегатов в нефтегазовой промышленности требуется своевременное охлаждение рабочей среды в компрессорах и на узлах трения, в связи с чем возникает необходимость применения энергоэффективных теплообменных аппаратов. В большинстве случаев применяются аппараты воздушного охлаждения масла, поскольку данные устройства имеют широкий диапазон температурных режимов, просты в обслуживании и технологически эффективны в рамках поставленной задачи. С точки зрения тепло- и массообмена, можно улучшить работу аппаратов воздушного охлаждения масла с целью охлаждения среды, применяя метод интенсификации теплообмена.

Целью работы является рассмотрение конструкций интенсификаторов теплообмена на базе существующих аппаратов воздушного охлаждения и разработка опытного образца аппарата воздушного охлаждения масла с оценкой эффективности применения интенсификации, рассмотрение различных схем течения теплоносителя, проведение ресурсных испытаний при разработке прототипа аппарата воздушного охлаждения масла, а также составление дальнейшего плана по реализации полученного решения. Планируется решить данные вопросы, анализируя литературные источники, используя проектное и численное моделирование, а также с помощью реализации решения в виде рабочего прототипа для дальнейшего проектировании типоразмерного ряда аппаратов воздушного охлаждения масла различной тепловой мощности.

Интенсификационный теплообмен, обусловленный улучшением массогабаритных характеристик аппарата, способствует снижению энергозатрат на эксплуатацию оборудования увеличением теплообменной площади и разрушением пограничного слоя рабочей среды. Расширенный спектр классификаций применяемых методов включает пассивные – макрошероховатые теплообменные поверхности, змеевики, оребренные поверхности, устройства закрутки потока. Активные методы – это технологически механическое смешивание, вибрационная поверхность, инжекция, струйные устройства, электрически статические поля, отсос и пульсация рабочей среды.

В настоящее время наиболее популярным способом улучшения интенсификации теплогидравлического процесса является применение оребренных труб (поперечно-винтовая накатка/навивка/навивка с приваркой). Данные интенсификаторы применяются на Бугульминском механическом заводе (Бугульма), Борхиммаше (Борисоглебск). Пластинчато-ребристые модули используются в «Газхолодтехнике» (Щелково), змеевики малого габарита – в «Анод-ТЦ» (Нижний Новгород).

Более подробная информация о теплогидравлической эффективности и механизмах интенсификации тепломассообмена, возникающего в данных конструкциях, представлена в работе [1].

В предлагаемой конструкции аппарата воздушного охлаждения масла в качестве теплообменной секции используются плоские трубы с внешними разрезным оребрением (рис. 1).

Данная конструкция аппарата воздушного охлаждения масла представляет собой блок-контейнер, внутри которого вертикально расположена теплообменная секция и блок вентиляторов, работающих на всасывание воздуха, обеспечивая охлаждение масла и регулирование температуры с помощью частотного регулирования [2].

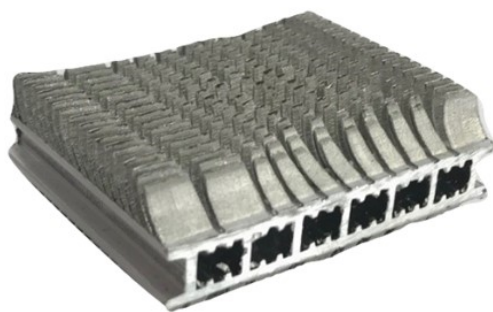


Рис. 1

Данная конструкция теплообменной секции исследована на экспериментальном стенде при различной геометрии интенсификаторов теплообмена. В опытных образцах теплообменной секции варьировался шаг оребрения в пределах 2...3,75 мм, толщина ребер по высоте находилась в диапазоне 0,2...0,35 мм, ширина разрезов составила 1 мм, длина всей теплообменной секции – 1400 мм. Среди пяти различных конфигураций теплообменных труб выбран наиболее эффективный образец по теплогидравлическим параметрам для применения в конструкции опытного образца аппарата воздушного охлаждения масла [3]. Конструкция опытного образца перед сборкой проверялась в ходе численных испытаний [4], предложена рациональная компоновка аппарата воздушного охлаждения масла [5].

Опытный образец аппарата воздушного охлаждения масла прошел функциональные испытания, в ходе которых также исследованы различные схемы теплоносителя внутри теплообменной секции – однорядная одноходовая (рис. 2, а), двухрядная трехходовая (рис. 2, б), двухрядные двухходовые (рис. 2, в) [6].

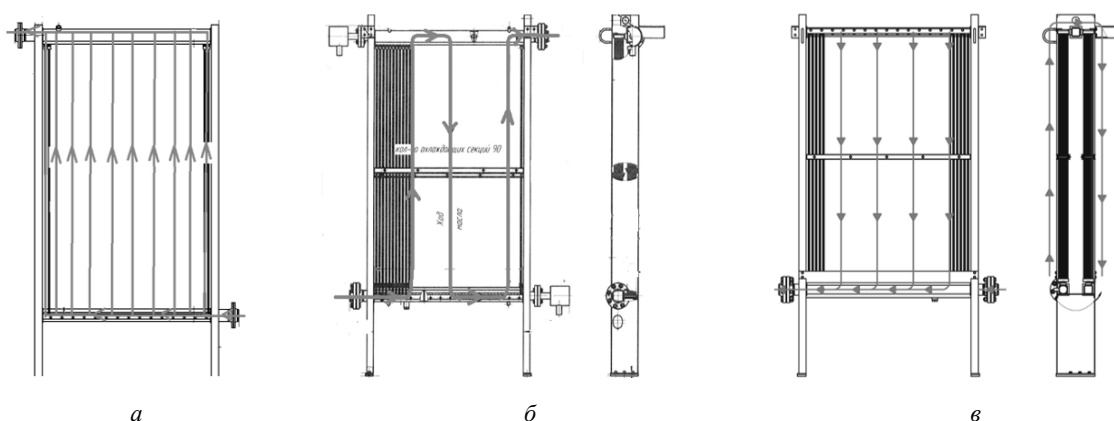


Рис. 2

В ходе испытаний проводилась доработка конструкции опытного образца в соответствии с техническим заданием: изменялась конструкция теплообменной секции, отличающейся площадью теплообмена и схемой течения теплоносителя в маслоохладителе.

Приведем результаты испытаний в виде зависимостей теплового потока (рис. 3, а) и гидравлического сопротивления (рис. 3, б) в масляном тракте от расхода масла. Значения тепловой мощности и гидравлические потери в ограниченных габаритных размерах указаны в техническом задании.

После подтверждения технического задания в ходе функциональных испытаний опытный образец аппарата воздушного охлаждения масла прошел ресурсные испытания в течение 6500 ч в качестве штатного охладителя винтового компрессора в автоматическом режиме.

Для более полного понимания того, какой интенсификатор теплообмена можно считать эффективным, был проведен расчет коэффициентов теплопередачи для следующих типов теплообменной поверхности: оребренная труба со спиральной лентой, пластинчато-ребристые модули и конструкция аппарата ООО «Газхолодтехника», змеевик малого радиуса сгиба конструкции «Анод-ТЦ», плоскооребренные трубы и аппарат производства АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» (Казань).

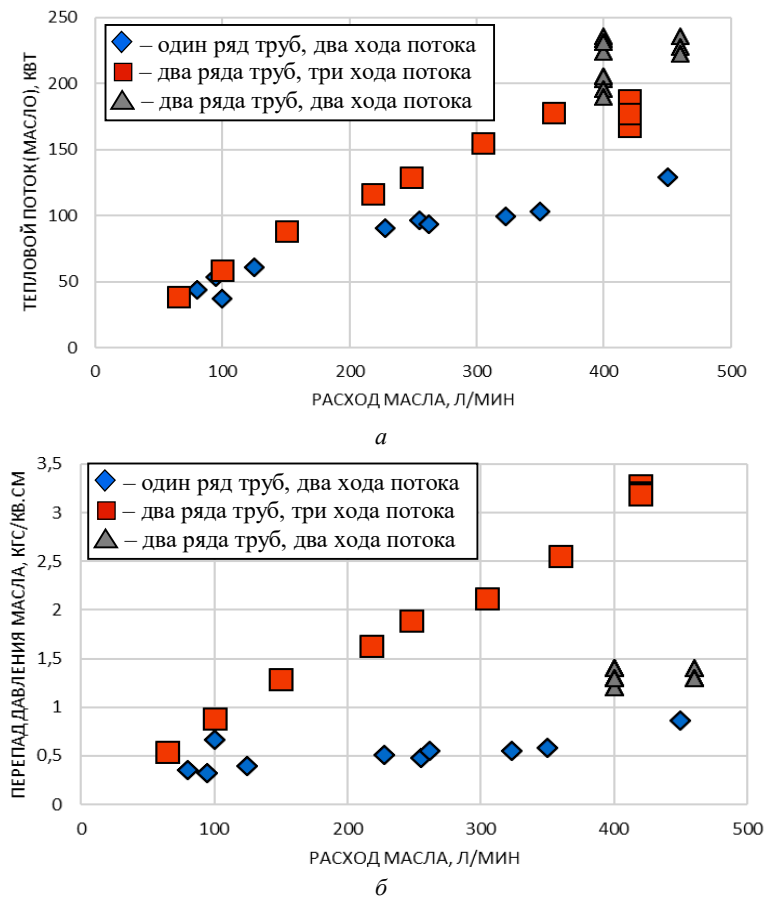


Рис. 3

Данный расчет проводился при одинаковых условиях для каждой теплообменной секции: расход масла – 400 л/мин; температура масла на входе – 90 °С; температура масла на выходе – 70 °С; температура воздуха на входе – 34 °С; температура воздуха на выходе – 50 °С.

Результаты сравнительно численного анализа приведены в таблице.

Обозначение теплообменной секции	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·К	Площадь теплообмена, м ²	Аэро-сопротивление, МПа	Гидро-сопротивление, МПа
Оребренная труба со спиральной лентой и конструкция аппарата («Борхиммаш»)	299,745	21,4	0,0035	0,06
Пластинчато-ребристые модули и конструкция аппарата («Газхолотехника»)	198,044	30,7	0,00019	0,186
Змеевики малого радиусагиба и конструкция аппарата («Анод-ТЦ»)	62,26	94	0,00022	0,03
Плоскооробренные трубы и аппарат производства АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»	220,28	27,6	0,0004	0,12

Как видим (см. таблицу), самой неэффективной является теплообменная секция компании «Анод-ТЦ». Данная секция имеет низкое значение коэффициента теплопередачи 62,26 Вт/м²·К, но самое большое значение площади теплообменной поверхности – 94 м², за счет чего и достигается температура масла на выходе 70 °С. Лучшие показатели имеет теплообменная секция с оребренной трубой и спиральной лентой внутри со значением коэффициента теплопередачи 299,74 Вт/м²·К при площади теплообменной поверхности 21,4 м². Однако у данного образца большой перепад давления со стороны всасываемого потока воздуха. В связи с этим при данных условиях (см. таблицу) самым оптимальным выбором являются теплообменные секции производителей «Газхолотехника» и «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа».

Таким образом, по результатам обзора конструкций аппаратов воздушного охлаждения масла и конструкций интенсификаторов теплообмена, применяемых на российском рынке, можно сделать вывод о том, что каждая представленная конструкция аппаратов воздушного охлаждения масла может приме-

няться в качестве охладителя системы смазки компрессорной установки в зависимости от технического задания, размещения и климатических условий применения аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов И.А., Махьянов Х.М., Гуреев В.М.* Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 560 с.
2. Аппарат воздушного охлаждения масла модульной конструкции: пат. на полезную модель 206684 Рос. Федерация, № 2021117963; заявл. 21.06.2021; опубл. 22.09.2021.
3. *Тунов С.В., Низамутдинов Р.М., Хабибуллин И.И.* Экспериментальные и численные исследования теплогидравлических характеристик монометаллических плоскооребранных труб из алюминиевого сплава // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2020. № 12. С. 27–32.
4. *Хабибуллин И.И. и др.* Численное моделирование процессов теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Газовая промышленность. 2019. № 2. С. 84–90.
5. *Гуреев М.В. и др.* Определение рациональных компоновочных решений для аппарата воздушного охлаждения масла систем смазки компрессорных установок с использованием методов физического и численного моделирования // Изв. Национальной академии наук Беларуси. Сер. физико-технических наук. 2020. № 2. С. 215–223.
6. *Хабибуллин И.И., Низамутдинов Р.М., Николаенко И.В.* Функциональные испытания аппарата воздушного охлаждения масла модульной конструкции // Компрессорная техника и пневматика. 2021. № 3. С. 45–48.

Поступила в редколлегию 8.08.23

INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER IN AIR COOLING APPARATUS

I.I. Khabibullin, D.N. Shatunov, and K.T. Khairtdinova

The main heat exchange intensifiers and designs of Russian-made air cooling devices are considered. In the course of the study, an experimental sample of an oil air cooling device was created, functional and resource tests were carried out, including the operating time of oil air cooling devices in automatic mode for more than 6500 hours. Comparative data of the experimental design of the air cooling apparatus and the designs of analogues of Russian production are presented.

Keywords: intensification, oil air cooler, finned tube, prototype, modular design.

Хабибуллин Ильмир Ильдарович – канд. техн. наук (АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Казань)
E-mail: ilmir.khabibullin@niitk.ru

Шатунов Даниил Николаевич – магистр (АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Казань)
E-mail: daniil.shatunov@niitk.ru

Хайретдинова Карина Тагировна – бакалавр (АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Казань)
E-mail: karina.khairtdinova@niitk.ru