

**Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов
А. Б. Голованчиков**

АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов, А. Б. Голованчиков

АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Учебное пособие



Волгоград
2019

УДК 66.023:62-712 (075)

Рецензенты:

Инженерная школа природных ресурсов Отделения химической инженерии национального исследовательского Томского политехнического университета, д-р техн. наук профессор *Э. Д. Иванчина*
д-р техн. наук профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»
Ивановский государственный химико-технологический университет
С. В. Натарева;

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Шибитова Н. В.

Аппараты воздушного охлаждения: учеб. пособие / Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов, А. Б. Голованчиков ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – 96 с.

ISBN 978-5-9948-3530-2

В учебном пособии представлена классификация аппаратов воздушного охлаждения, устройство и принцип работы, конструктивные особенности усовершенствованных конструкций, основные направления по интенсификации теплообмена данного типа теплообменников и другая техническая информация.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии», по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и направлению 43.03.01 «Сервис».

Ил. 49. Табл. 16. Библиогр.: 82 назв.

ISBN 978-5-9948-3530-2

© Волгоградский государственный
технический университет, 2019

© Н. В. Шибитова, Н. С. Шибитов,
А. Б. Голованчиков, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Общие сведения.....	5
1.1. Классификация аппаратов воздушного охлаждения.....	6
1.2. Устройство и принцип действия.....	10
1.3. Области применения.....	33
Глава 2. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения.....	35
2.1. Условные обозначения АВО.....	43
2.2. Патентный обзор конструкций АВО	46
Глава 3. Основные направления интенсификации работы аппаратов воздушного охлаждения.....	61
Глава 4. Ремонт аппаратов воздушного охлаждения.....	65
Глава 5. Методика расчета аппаратов воздушного охлаждения.....	74
5.1. Методика расчета АВО газа.....	74
Библиографический список.....	85
Приложение 1.....	90
Приложение 2.....	91
Приложение 3.....	93

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов очной, очно-заочной, заочной форм обучения, обучающихся по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и по направлению 43.03.01 «Сервис». Материал, представленный в пособии, может использоваться при изучении дисциплин «Машины и аппараты химических производств», «Оборудование производств нефтегазовой отрасли» и «Объекты сервиса в нефтегазовых комплексах».

В первой главе рассматриваются общие сведения об аппаратах воздушного охлаждения (АВО): их классификация и области применения; устройство и принцип работы; подробно описаны составные части теплообменников воздушного охлаждения (ВО). Большое внимание уделено конструктивным особенностям оребренных труб, устанавливаемых в теплообменных секциях с целью интенсификации теплообмена и обеспечения энерго- и ресурсосбережения в АВО.

Во второй главе приводится информация по существующим конструкциям АВО, их условные обозначения, габаритные размеры и техническая характеристика некоторых конструкций, краткий обзор по новым разработкам.

В третьей главе показаны основные пути по интенсификации работы АВО.

В четвертой главе описаны основные мероприятия по проведению ремонта и очистке аппаратов воздушного охлаждения, а также сведения о неисправностях, возникающих при эксплуатации оборудования и методы их устранения.

В пятой главе приведены общие сведения по расчету теплообменников и методика расчета АВО для газа.

В Приложениях 1, 2 и 3 представлены техническая информация по некоторым конструкциям АВО, опросные листы для заказа оборудования.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях для отвода, образующегося на производствах тепла, в системах оборотного водоснабжения используется вода. Несмотря на несомненные преимущества применения воды в процессе теплообмена, есть и существенные недостатки. В первую очередь, это негативное воздействие на окружающую среду из-за образования в больших объемах загрязненных сточных вод, на очистку которых требуются дополнительные затраты (например, установка технологического оборудования: отстойников, фильтров, центрифуг и др.) [1].

Кроме этого, дорогостоящими статьями расходов являются затраты на прокачку воды и ее химическую подготовку перед использованием, а также на очистку внутренней поверхности трубопроводов и теплообменников от отложений, образующихся при эксплуатации.

Использование в технологических процессах АВО для охлаждения и конденсации высокотемпературных сред позволяет существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с применением воды: сооружение и эксплуатация систем очистки и водоподготовки, системы оборотного водоснабжения, насосного оборудования, затраты на реагенты и др.

На данный момент главными отечественными производителями аппаратов воздушного охлаждения являются:

- ООО «Грибановский машиностроительный завод» (Воронежская обл., г. Борисоглебск) [2];
- Борисоглебский завод «БорХимМаш» (Воронежская обл.) [3];
- ВНИИНефтеМаш (г. Москва) [4];
- ОАО «ДимитровградХимМаш» (г. Димитровград, Ульяновская область) [5];

- Бугульминский механический завод ПАО «Татнефть» (республика Татарстан) [6];
- ООО «Асбестовский котельно-машиностроительный завод» [7];
- ООО «УралКотлоМашЗавод» (Свердловская обл.) [8];
- ООО ПК «Спецмаш» (Воронежская обл., г. Борисоглебск) [9];
- ООО «ПО ХИМСТРОЙПРОЕКТ» (г. Кострома) [10];
- ПО «ТЯЖМАШ» (Ростовская обл.) [11] и др.

За рубежом разработкой АВО занимаются фирмы «Крезолуар» (Франция), ГЕА (Германия), «Хадсон» (США), «Бронсверк» (Чешская республика) и др.

1.1. Классификация аппаратов воздушного охлаждения

Аппараты воздушного охлаждения делятся (рис. 1.1):

- *по технологическому назначению;*
- *по конструктивным особенностям;*
- *по конструкциям теплообменных камер;*
- *по способу подачи охлаждающего воздуха;*
- *по системам циркуляции.*

По технологическому назначению АВО применяются как *холодильники* и *конденсаторы* для охлаждения или конденсации парообразных, газообразных и жидких сред в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности.

Конструктивные особенности АВО зависят от расположения теплообменных секций и в зависимости от этого делятся на *горизонтальные* – типа *АВГ* (с горизонтальным расположением охлаждающих секций), *вертикальные* – типа *АВМ* (с вертикальным (*АВМ-В*) или горизонтальным (*АВМ-Г*) расположением охлаждающих секций (малопоточные), *зигзагообразные* – типа *АВЗ* (с зигзагообразным расположением охлаждающих сек-

ций), *дельтаобразные* – типа АД и *блочные* аппараты – типа БМР (блоч-но-модульные с внешней рециркуляцией).

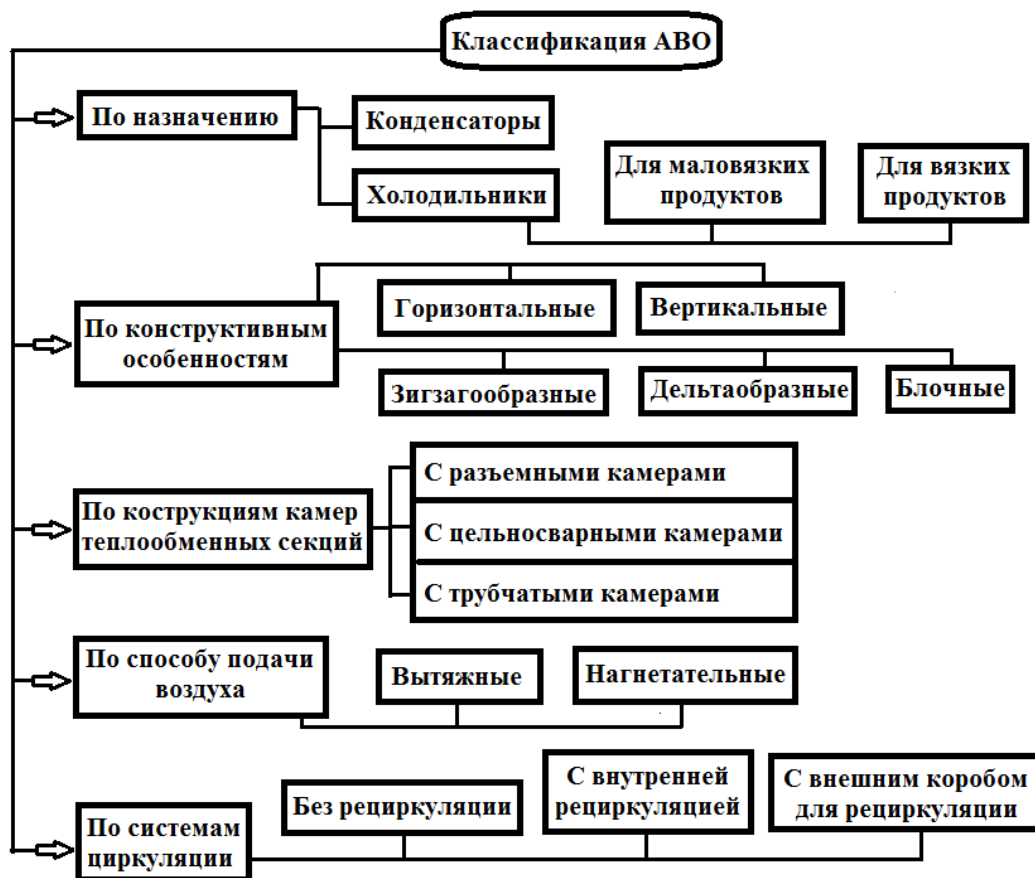


Рис. 1.1. Классификация аппаратов воздушного охлаждения

В соответствии с ГОСТом Р 51364-99 [12] в АВО применяются следующие **конструкции теплообменных камер** (рис. 1.2):

- *разъемные* давлением до 6,3 МПа (рис. 1.2 а, б, в);
- *цельносварные* с прибавкой на давление до 10 МПа (рис. 1.2 г, д);
- *трубчатые* камеры на давление выше 10 МПа (рис. 1.2 е).

Камеры секций теплообменных аппаратов выполняются разъемными и неразъемными. Разъемные камеры состоят из:

- трубной решетки (доски), в которой крепятся оребренные теплообменные трубы;
- крышки со штуцерами для подвода рабочей среды.

Внутри крышки могут быть перегородки, уплотняемые прокладками в плоскости фланцевого соединения для обеспечения различного числа ходов рабочей высокотемпературной среды, движущейся внутри трубного пространства.

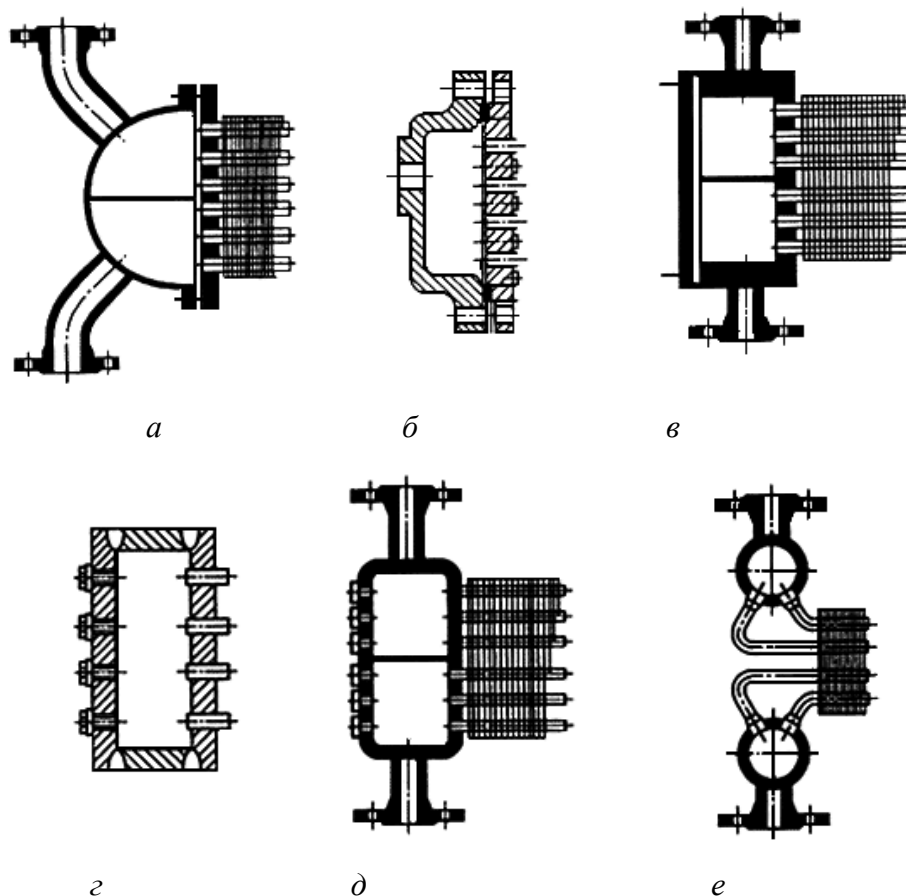


Рис. 1.2. Основные типы камер теплообменных секций в АВО [12]:
 а, б, в – разъемные камеры на давление до 6,3 МПа;
 г, д – цельносварные камеры с пробками на давление до 10,0 МПа;
 е – трубчатые камеры на давление свыше 10,0 МПа.

Во избежание высоких термических напряжений перепад температур одной крышки многоходовой секции не должен превышать 100 °С. В верхней части крышек имеются воздушники, заглушенные резьбовыми пробками; в перегородках – отверстия для дренажа охлаждающей среды, а в нижней части – сливные отверстия, закрытые пробками.

По *способу подачи охлаждающего воздуха* АВО изготавливают с *нагнетательной* и *вытяжной тягой* (рис. 1.3).

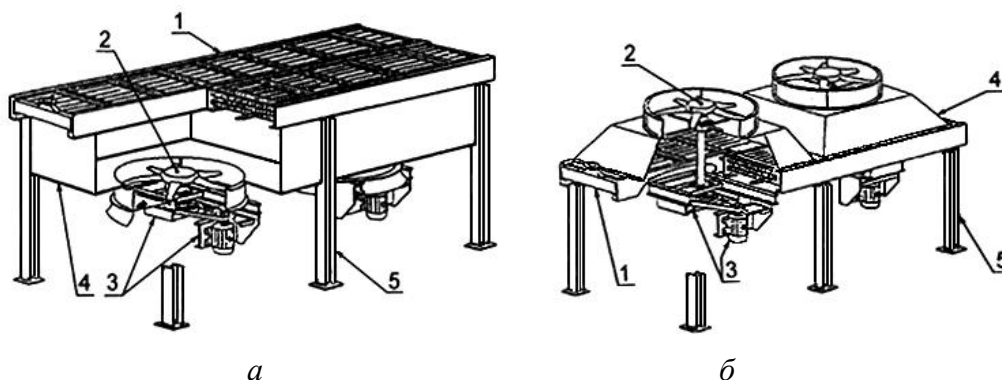


Рис. 1.3. Конструкции АВО в зависимости от способа подачи воздуха [12]:
а – аппарат нагнетательного вида; *б* – аппарат вытяжного вида.
 1 – теплообменная секция; 2 – колесо вентилятора; 3 – привод вентилятора;
 4 – диффузор с коллектором; 5 – опорная конструкция.

Для обеспечения температурных режимов в зависимости от времени года и технологического назначения АВО могут работать [12]:

- без рециркуляции (рис. 1.3);
- с внутренней рециркуляцией воздуха через соседний вентилятор (рис. 1.4 а);
- с внешним коробом для рециркуляции (в холодное время года, чтобы предотвратить переохлаждение продукта) (рис. 1.4 б).

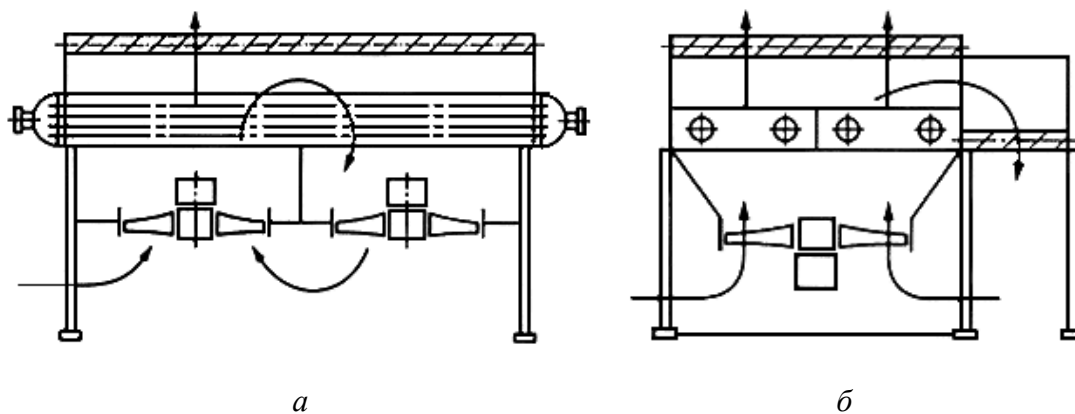


Рис. 1.4. АВО с разной системой циркуляции [12]:
а - с внутренней рециркуляцией; *б* - с внешней рециркуляцией.

Входной воздух – атмосферный или окружающий воздух, который поступает в теплообменник с воздушным охлаждением.

Выходной воздух – нагретый воздух, выходящий из теплообменника в

атмосферу.

Рециркуляционный воздух – воздух, прошедший через трубный пучок и направляемый для смешивания с входным воздухом для его подогрева.

Внешняя рециркуляция – процесс, в котором используют внешний воздуховод, проводящий рециркуляционный воздух для смешивания с входным воздухом и его подогрева.

Внутренняя рециркуляция – процесс, в котором используются вентиляторы (при необходимости с жалюзи) для создания циркуляции воздуха от одной части технологического трубного пучка к другой части.

1.2. Устройство и принцип действия

В соответствии с общими техническими условиями стандарта [12] АВО должен иметь основные части и при технологической необходимости дополняться конструктивными элементами, показанными на рис.1.5.

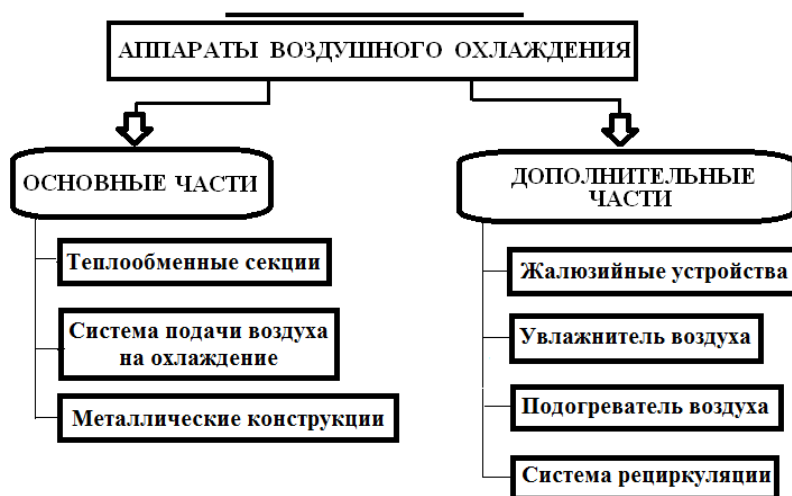


Рис. 1.5. Составные части АВО.

В основные части АВО входят [12]:

- теплообменные секции (пучок оребренных труб);
- система для подачи воздуха (вентилятор с приводом, диффузор);
- опорная металлоконструкция.

Рассмотрим устройство и принцип работы аппаратов воздушного охлаждения на примере теплообменника типа АВГ, показанного на рис. 1.6.

Аппарат воздушного охлаждения расположен на опорной металлоконструкции 5. В верхней части аппарата находятся теплообменные секции 1 с охлаждаемым или конденсируемым потоком.

Внутри диффузора 2 расположено колесо вентилятора 3 с лопастями. Диффузор 2 защищает АВО от воздействия окружающей среды, и обеспечивает равномерное распределение потока входного воздуха.

Коллектор 6 присоединяется к диффузору 2, защищая лопасти колеса 3, и способствует направленному движению воздушного потока. Кроме этого

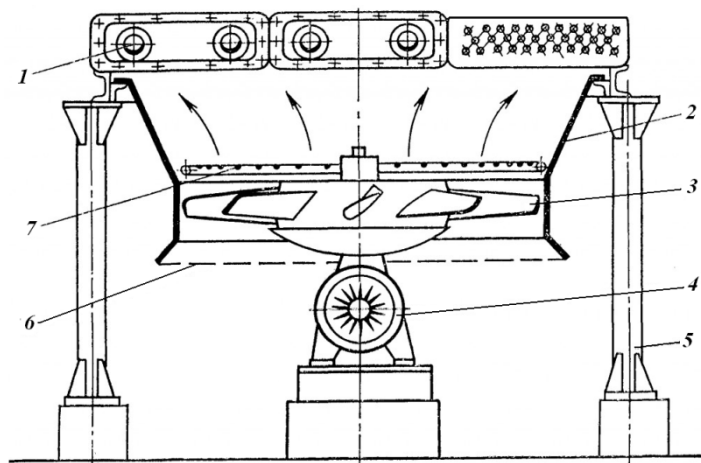


Рис. 1.6. Аппарат воздушного охлаждения типа АВГ [13]:

1 – теплообменные секции с охлаждаемой средой; 2 – диффузор; 3 – колесо вентилятора; 4 – привод вентилятора; 5 – опорные металлоконструкции; 6 – коллектор; 7 – узел увлажнения воздуха.

коллектор плавного входа минимизирует снижение реальной площади воздуха, что на 8% повышает коэффициент полезного действия вентилятора.

Для снятия пиковых нагрузок в летнее время в аппарате установлен узел увлажнения воздуха 7.

На рис. 1.7 схематично показана работа АВО. Входной воздушный поток (поток В) нагнетается колесом вентилятора и, проходя через систему подачи воздуха 2 и наружную поверхность теплообменных секций 1, нагревается и выходит через верхнюю часть (поток Г).

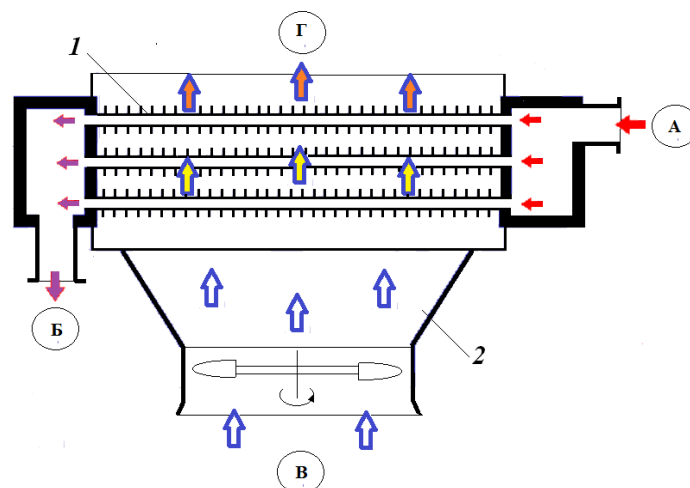


Рис.1.7. Схема работы АВО:

А – ввод горячего продукта; Б – выход охлажденного продукта; В – входной воздух на охлаждение; Г – выходной воздух (нагретый).

1 – теплообменная секция; 2 – система подачи воздуха.

Таким образом, подаваемый на охлаждение или конденсацию внутрь оребренных труб горячий продукт (поток А) охлаждается (поток Б).

1.2.1. Основные части АВО.

1.2.1.1. Теплообменные секции – это оребренные трубы, объединенные в трубные пучки и закрепленные с помощью *сварки* или способом *развальцовки* труб в трубной решетке.

Развальцовка используется для труб из стали и цветных металлов (латуни, алюминия) с соблюдением требований ГОСТа Р 55601-2013 [14], ОСТа 26-17-01-83 [15], СТО 00220368-014-2009 [16].

Трубная решетка – элемент теплообменного аппарата, предназначенный для крепления теплообменных труб и разделения теплообменных сред.

Для увеличения коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха наружная поверхность труб выполняется оребренной, что обеспечивает увеличение поверхности теплообмена. Оребрение труб, в основном, выполняется методом навивки или накатки [17].

Коэффициент оребрения труб – отношение поверхности всех ребер и участков между ребрами к поверхности неоребранных участков.

Степень оребрения – отношение всей наружной оребренной поверхности к внутренней поверхности трубок. *Эффективность оребрения* вычисляется с учетом теплопроводности материала, формы и геометрических размеров ребер, а также структуры трубного пучка для каждого аппарата.

На рис. 1.8 представлен общий вид теплообменной секции [12].

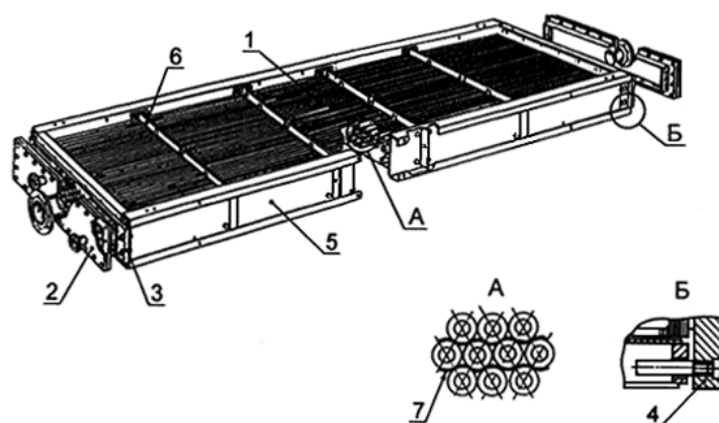


Рис. 1.8. Конструкция теплообменной секции [12]:

1 – трубный пучок; 2 – крышка камеры; 3 и 4 – неподвижная и подвижная трубные доски; 5 – боковая стенка; 6 – балка; 7 – дистанционирующий элемент.

Конструкция секций, используемых в устройстве АВО должна [18]:

- быть достаточно жесткой для предотвращения деформации пучка труб;
- быть прочной для создания минимально допустимого прогиба труб;
- с возможностью теплового расширения;
- обеспечивать безопасность при эксплуатации (для удаления воздуха требуется предусмотреть наличие резьбовых отверстий или в этих целях использовать штуцеры камер).

Особые требования предъявляются к исполнению теплообменных секций АВО в случае, если охлаждаемые (конденсируемые) среды будут токсичные и взрывоопасные. При этом тщательно подбирается материал ис-

полнения труб и предусматривается дополнительная защита секций от коррозии и других проявлений негативного воздействия агрессивных сред.

На рис. 1.9 показана теплообменная секция, изготавливаемая ООО ИТЦ «НЕФТЕМАШ-ИНЖИНИРИНГ» [19].



Рис. 1.9. Секция в сборке для аппарата типа АВГ [19].

Главным элементом секций являются оребренные трубы. Функциональное назначение элементов конструкции оребренной трубы:

- *внутренняя труба* – несущий элемент, устойчивый к избыточному давлению, коррозии;
- *внешние ребра* обеспечивают теплоотдачу от внутренней среды к внешней.

Основные части оребренной трубы изображены на рис. 1.10. Трубы могут быть *монометаллическими* из алюминиево-магниевого сплава и *биметаллическими*. Наибольшее распространение получили биметаллические трубы с внутренней несущей трубой из углеродистой или легированной стали (стали марок 10, 20, 15Х5М, 15Х8, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т), либо из латуни и наружной оребренной трубой из легкодеформируемого алюминиевого сплава АД1.

Если в охлаждаемом или конденсируемом потоке содержится агрессивный компонент, например, хлористый водород, то в трубных секциях АВО обычно используют биметаллические трубы с внутренними трубами

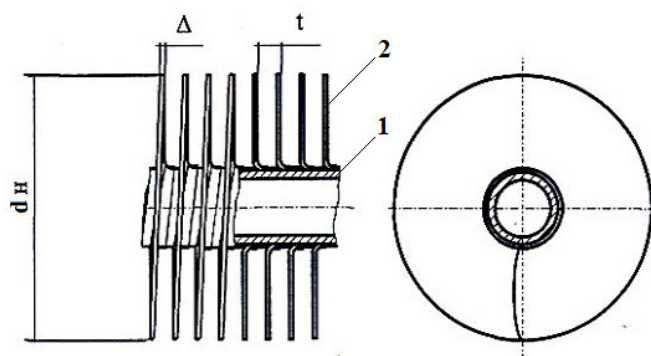


Рис. 1.10. Конструкция оребренной трубы [10]:
1 – внутренняя труба; 2 – внешние ребра.

из латуни, трубные решетки выполняют биметаллическими с защитным слоем латуни, а крышки распределительных камер покрывают изнутри тонким слоем латуни или бакелитовым лаком.

Для защиты от сернистых соединений применяют монометаллические трубы из алюминиево-магниевого сплава или биметаллические с внутренними трубами из высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей.

Оребрение обычно выполняют спиральной накаткой обжимными роликами на специальных станках, а также методом навивки лентой или запрессовкой ребер. Самый распространенный способ изготовления оребренных труб из сплошной толстостенной трубы (в основном из алюминия или алюминиевых сплавов), подвергнутой механической обработке. При пропускании трубы через ряд формовочных дисков ребра нарезаются методом поперечно-винтового накатывания с помощью станов холодной прокатки ребристых труб (ХПРТ). Этот метод отличается высокой производительностью и может быть механизирован или автоматизирован.

Внутренняя труба чаще всего изготавливается из стали, но может быть выполнена, в зависимости от рабочих условий, из цветных металлов. Главное требование к материалу – он должен обладать сопротивлением к температурным воздействиям и повышенному давлению, а также не поддаваться коррозии. Внешние ребра также производят из стали или цветных металлов.

Для примера в табл. 1.1 представлены характеристики оребренных труб, производимых ООО «ПО ХИМСТРОЙПРОЕКТ» [10]. Материал несущей трубы выбирается в зависимости от рабочих условий в аппарате – углеродистая сталь обыкновенного качества, жаропрочная (нержавеющая) сталь, латунь, медь и др. Трубы изготавливаются различных диаметров (от 6 до 60 мм) и толщин стенок. Оребрение проводится из алюминия или меди диаметром от 20 до 113 мм с шагом от 1,5 до 13,0 мм.

Таблица 1.1

Характеристика оребренных труб [10]

Параметры несущей трубы, мм	Наружный диаметр d_n , мм	Внутренний диаметр, $d_{вн}$, мм	Шаг, t	Толщина вершины ребра, Δ_1	Толщина основания ребра, Δ_2	Площадь поверхности нагрева 1 п. м, m^2	Максимальная длина, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
6x1,0	20,0	8,8	2,0	0,3	0,45	0,284	5000
8x1,0	20,0	10,8	1,5 2,0 2,7	0,3 - 0,3	0,4 0,45 0,5	0,199 - 0,257	5000
10x1,0	23,0	11,8	2,0	0,3	0,5	0,345	5000
13x1,0	37,0	15,0	3,5	0,3	0,5	0,563	5000
16x1,0	39,0	17,8; 17,9	2,8 3,4 5,0	0,25 - 0,3	0,5	0,447 0,544 0,6	12000
16x1,5	39,0	17,8; 17,9	2,8 3,4 5,0	0,25 - 0,3	0,5	0,447 0,544 0,6	12000
16x2,0	37,0; 39,5	17,8; 17,9	2,8 3,4 5,0	0,25 - 0,3	0,5	0,447 0,544 0,6	12000
16x2,5	37,0; 39,5	17,8; 17,9	2,8 3,4 5,0	0,25 - 0,3	0,5	0,447 0,544 0,6	12000
19x1,0	43,0	20,5	3,4	0,4	0,6	0,729	12000
19x1,5	43,0	20,5	3,4	0,4	0,6	0,729	12000
22x1,5	43,0; 41,0	23,8	2,8 3,4 5,0	0,3	0,5	0,534 0,590 0,7	12000
22x2,0	41,0; 45,0	23,8	2,8 3,4 5,0	0,3	0,5	0,534 0,590 0,7	12000

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
25x2,5	49,0; 55,0; 56,0	27,5	2,8 3,4 5,0	0,3 - 0,4	0,5 - 0,6	0,849 1,36 1,59	12000
Ду20(26,8x2,8)	71,0	30,0	5,0	0,4	0,6 - 0,8	1,40	12000
32x2,0	63,0	36,0	3,4	0,4	0,6 - 0,8	1,35	12000
38x2,0	62,0	41,0	3,4	0,4 - 0,9	0,6- 0,8	1,13	12000
40x3,0	76,0; 92,0	43,0; 46,0	2,8 8,7	0,4 - 1,0	0,6 0,8 1,2	1,34 2,20	6000
45x2,5	100,0; 102,0	48,0; 50,0	8,7 13,0	0,9 - 1,0	1,2 1,3	1,07 1,62	6000
Ду50 (60x3,5)	113,0	67,0	8,7	1,0	1,3	1,71	6000

Оптимальная высота ребра – $(0,4\text{--}0,8)d$ (меньшие значения рекомендуются для труб с $d > 15$ мм). Оптимальный шаг ребер составляет $t = (0,2\text{--}0,4)d$ (обычно $t = 3\text{--}4$ мм) [10].

Уменьшение шага ребер t приводит к снижению конвективной теплоотдачи, из-за образования у основания ребер зоны со слабой циркуляцией потока. На интенсивность теплообмена в межтрубном пространстве также значительно влияет материал и толщина ребра. Чем выше теплопроводность ребра, тем больше коэффициент теплопередачи. При достижении значения теплопроводности сплавов алюминия $\lambda_p = 140$ Вт/(м·К), возрастание α при увеличении λ_p замедляется. Поэтому применение биметаллических труб с оребрением из сплавов АМцМ или АД-1 выгодно с точки зрения теплообмена и улучшения массовых характеристик аппарата. При высоте ребра $h = 5\text{--}16$ мм оптимальная его толщина – 0,5 мм. Увеличение числа заходов винтовой линии накатных ребер от одного до трех не влияет на теплоотдачу и аэродинамическое сопротивление пучков.

Преимуществами использования оребренных труб по сравнению с гладкими трубами являются:

- увеличение коэффициента теплопередачи;
- сокращение расхода материала на изготовление труб;
- уменьшение массы теплообменника;
- увеличение рабочей поверхности теплообмена;
- снижение аэродинамического сопротивления.

Общий вид оребренных труб, применяемых в химической и нефтехимической промышленности, показан на рис. 1.11.



Рис. 1.11. Виды оребренных труб.

Наиболее часто в теплообменниках используются следующие конструкции [20] оребренных труб:

«– с заглубленными ребрами – алюминиевое ребро прямоугольного поперечного сечения, навитое с натяжением и механически заглубленное в канавку глубиной $(0,25 \pm 0,05)$ мм, спирально прорезанную на внешней поверхности трубы;

– *интегральные* – алюминиевая внешняя труба, из которой методом экструзии сформированы ребра, механически прикрепленные к внутренней трубе или вкладышу;

– с *перекрывающимися лапками* – L-образное алюминиевое ребро навито с натяжением на наружную поверхность трубы, труба полностью покрыта перекрывающимися лапками под ребрами и между ними;

– *с лапками* – L-образное алюминиевое ребро навито с натяжением на наружную поверхность трубы, при этом труба полностью покрыта лапками между ребрами;

– *прикрепленные снаружи* – трубы, на которых ребра прикреплены к наружной поверхности методом горячего цинкования, пайки твердым припоем или сварки;

– *с лапками и накаткой* - L-образное алюминиевое ребро навито с натяжением на наружную поверхность трубы, лапка ребра одновременно впрессована в ребристую внешнюю поверхность трубы».

В табл. 1.2 приведены значения максимальных расчетных рабочих температур для различных типов крепления ребер в соответствии с [20].

Таблица 1.2

**Максимальная расчетная рабочая температура
для различных типов крепления ребер [20]**

Тип крепления ребер	Максимальная расчетная рабочая температура, °C
1. Механически заглубленные ребра	400
2. Стальные ребра, оцинкованные горячим способом	360
3. Экструдированные ребра (алюминиевые ребра)	300
4. Ребра с лапками (L-образные с одной лапкой) и L-образные с двумя лапками	130
5. Накатанное/алюминиевое ребро, L-образное с одной или двумя лапками)	200
6. Ребра, приваренные методом лазерной сварки	более 400

Для придания трубам более высоких антикоррозионных свойств и стойкости в случае резких перепадов температур и изменения окружающей среды, на них наносится термостойкое покрытие повышенной эффективности. Для этого трубы покрывают окисью магния и обжигают.

Ниже приведен пример условного обозначения трубы оребренной биметаллической с поперечно-винтовым накатыванием ребер по ТУ 3612-157-00220302-2010 [21]:

Труба оребренная 25х2-20-40-Ц15-6-Б-О ТУ 3612-157-00220302-2010:

оребренная труба биметаллическая, диаметр внутренней трубы – 25 мм, толщина стенки внутренней трубы – 2 мм, коэффициент оребрения – 20, длина неоребренных концов – 40 мм, вид защитного покрытия открытых от оребрения концов труб по ГОСТ 9.306-85 [22] – Ц (цинк), ширина зоны нанесения защитного покрытия – 15 мм, длина оребренной трубы – 6 м, материальное исполнение оребренной трубы – Б, предусмотреть очистку от технологической смазки – О.

Материальное исполнение трубы внутренней согласно [20]:

- Б1 – Сталь 10, Сталь 20 Сталь 10Г2 по ГОСТ 550-75, ГОСТ 8731-74, ГОСТ 8733-74, Сталь 20 по ТУ 14-3-460-75;
- Б2 – Сталь 15Х5М или Сталь Х8 по ГОСТ 550-75;
- Б3 – Сталь 12Х18Н10Т, Сталь 08Х18Н10Т, Сталь 08Х22Н6Т по ГОСТ 9941-81;
- Б4 – Сталь 10Х17Н13М2Т по ГОСТ 9941, Сталь 08Х21Н6М2Т по ТУ 14-3-1905-93;
- Б5 – Латунь ЛАМШ-77-2-0,05 по ГОСТ 21646-76.

Материальное исполнение трубы наружной: Алюминий АД1, Алюминий А6, Алюминий А0 по ТУ 1-3-67-98, ТУ 1-8-267-99.

В Прилож. 1 приведен опросный лист, заполняемый при заказе оребренных труб.

С целью интенсификации теплоотдачи, повышения эксплуатационной надежности и обеспечения энерго- и ресурсосбережения в АВО конструкторы большое внимание уделяют усовершенствованию конструкций труб теплообменных секций.

Так, например, разработан способ и устройство для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами с обжатými вершинами рельефов, описанный в патенте [23]. Совершенствование механического соединения (контакта) ребра 4 с несущей трубой 1 снижает затраты на прокач-

ку воздуха через межтрубное пространство (рис. 1.12). Кроме этого отсутствуют микроотрывы в карманах полки ребра 4 от несущей трубы 1.

Такое конструктивное решение увеличивает площадь поверхности контакта и уменьшает ТКС на 15–20%. Происходит процесс интенсификации коэффициента теплопередачи до 10%.

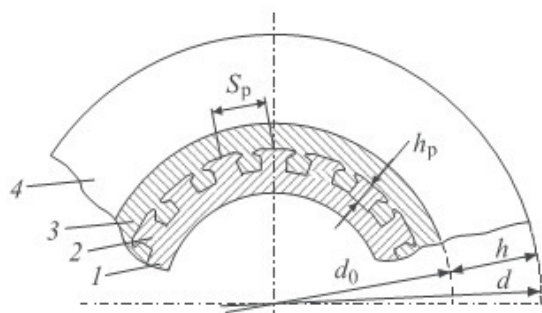


Рис. 1.12. Биметаллическая труба с обжатыми вершинами рельефов на несущей трубе [23]:

1 – несущая труба; 2 – поперечное сечение грибовидной формы;
3 – горизонтальная полка; 4 – KLM-ребра.

Теплообменная труба с KLM-ребрами может надежно эксплуатироваться при температуре охлаждаемой среды на входе до 320 °С.

Труба с подогнутыми ребрами [23] отличается повышенной до 25% интенсивностью теплоотдачи по воздушной стороне и пониженной до 22% материалоемкостью поверхности оребрения.

Теплообменная труба [24] (рис. 1.13) состоит из круглой металлической несущей трубы 1, с навитыми на ней под натягом спиральных разновысоких двухзаходных ребер L-образного поперечного сечения из пластичного металла.

Высокие ребра отогнуты с противоположных сторон трубы по линии хорды до соприкосновения с торцом низких ребер. Низкие ребра 3 периодически чередуются с высокими ребрами 2. Диаметр высоких ребер $D = d + 2n \cdot s$, где n – общее число заходов ребра; s – шаг ребра.

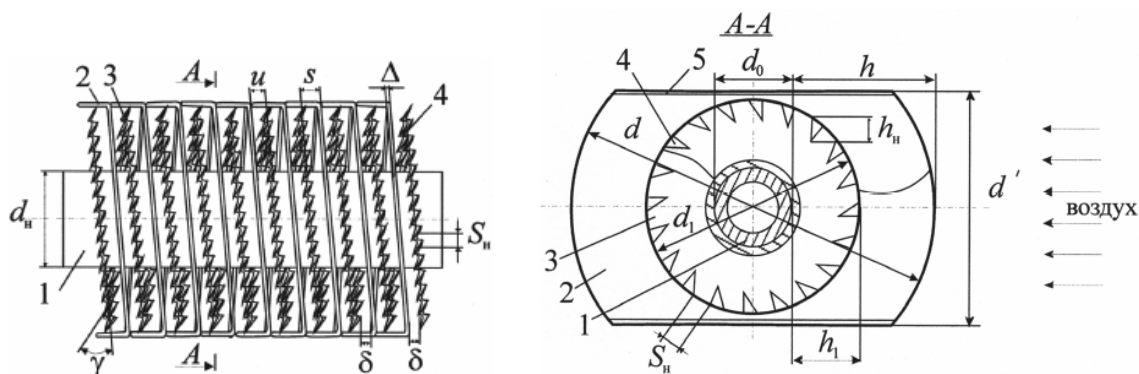


Рис. 1.13. Труба с навитыми спиральными подогнутыми разновысокими ребрами [24]:
1 – несущая труба; 2 – спиральные высокие ребра; 3 – низкие ребра; 4 – элементы;
5 – линия хорды.

В поперечных рядах секции подогнутые ребра смежных труб расположены вплотную, что обеспечивает течение всего потока охлаждающего воздуха через межтрубные каналы, дополнительно турбулизируя поток отогнутыми ребрами и увеличивая коэффициент эффективности низких ребер по сравнению с высокими.

Использование труб такой конструкции позволяет увеличить до 30–35% аппаратной тепловой мощности и эксплуатационной надежности АВО, а также повысить компактность трубного пучка на 8–15%.

Периферийный кольцевой участок 5 трубы [25], показанный на рис. 1.14, имеет радиально расположенные гофры 4 с высотой большей толщины пограничного слоя хладагента на боковых ребрах 2 и 3.

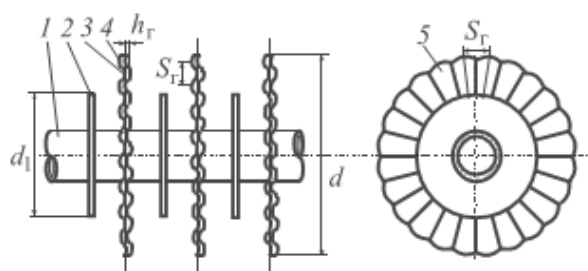


Рис. 1.14. Труба с радиально расположенными гофрами [25]:
1 – несущая труба; 2,3 – алюминиевые ребра; 4 – гофра;
5 – периферийный кольцевой участок.

При этом шаг гофров 4 равняется длине образующихся вихрей от поверхности предыдущего ребра к следующему. За счет такого расположения на поверхности ребер гофр разрушается пограничный слой воздушного потока и повышается его турбулентность в межтрубных пространствах генерируемыми гофрами вихрей.

Таким образом, достигается интенсификация теплоотдачи на 15–25% выше по воздушной стороне в сравнении с теплоотдачей трубы с гладкими ребрами и меньшая склонность к загрязнению.

Такой же эффект достигается в другой разработанной конструкции теплообменной трубы [26], но за счет выступов 3 формирующих зигзагообразный рельеф (рис. 1.15). Форма поперечного сечения выступов выполнена в виде плавных обтекаемых очертаний. Высота радиальных выступов равномерно уменьшается от наибольшей в основании ребер до высоты при переходе их в веерообразные. Тепловая эффективность таких труб увеличивается на 10%.

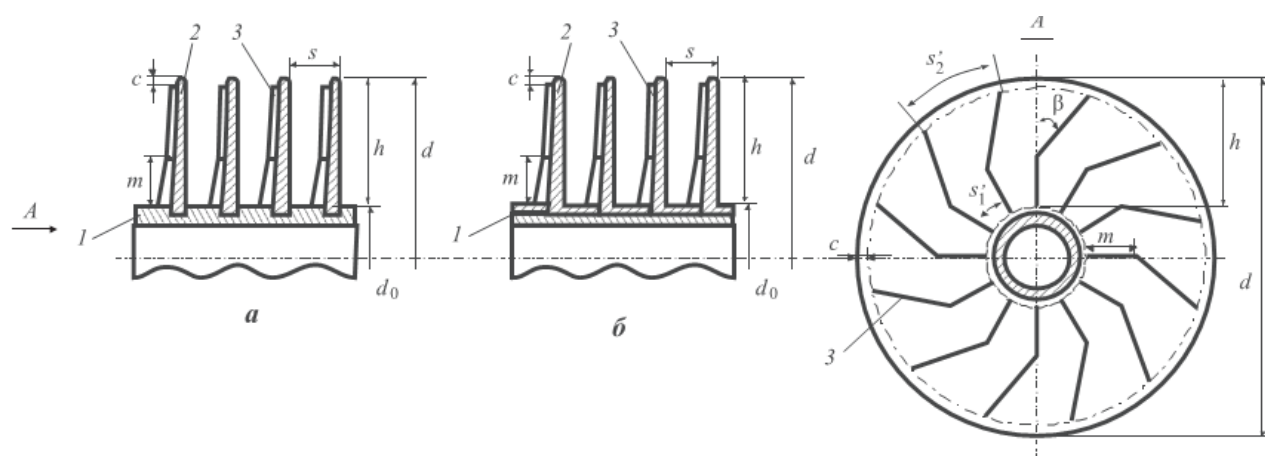


Рис. 1.15. Труба с выступами, формирующими зигзагообразный рельеф [26]:

а – завальцованные ребра; б – ребра.

1 – несущая труба; 2 – алюминиевые ребра; 3 – зигзагообразные рельефные выступы.

Проф. Кунтыш В. Б. со своими коллегами усовершенствовали конструкцию теплообменной трубы, описанную в патенте [27]. У такой конструкции трубы теплоотдача увеличивается до 1,6 раза при поперечном об-

течении ее воздухом за счет размещения на боковой поверхности ребер 2 сферических выемок 3 определенной глубины (рис. 1.16).

На противоположной стороне этих же ребер под выемками образуются сферические выступы высотой больше толщины пограничного слоя теплоносителя.

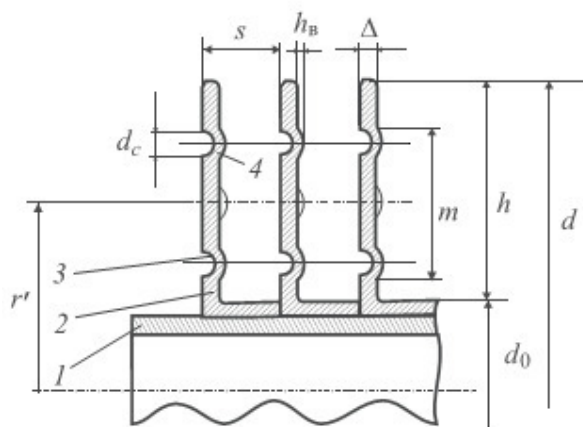


Рис. 1.16. Теплообменная труба со сферическими выемками на ребрах [27]:
1 – металлическая труба; 2 – ребра; 3 – сферические выемки; 4 – выступы.

Плотность выемок на каждом ребре находится в интервале 55–65%. Максимальное значение тепловой эффективности и умеренный рост аэродинамического сопротивления достигается именно при такой форме сферических выемок на ребрах.

В патенте [28] отличительной особенностью является то, что на наружной поверхности металлической несущей трубы 1 круглого поперечного сечения нанесены рельефные V-образные рифления 2 «впадина-выступ» шевронного типа и спирально навитые под натяжением одно- или двухзаходные ребра 3 L-образного поперечного сечения из пластичного металла (рис. 1.17).

Применение шевронных рифлений увеличивает поверхность контакта до 21% в сравнении с продольно радиальными рифлениями, возрастает контактное давление и повышается ТКС в 1,5 раза. Сводится до минимума риск отсоединения спирального ребра 3 от стенки несущей трубы 1 из-за циклического теплового потока в режиме «включения-выключения» тепло-

обменного аппарата. При этом повышается надежность работы АВО и расширяется температурный диапазон применимости таких труб до 275–290 °С.

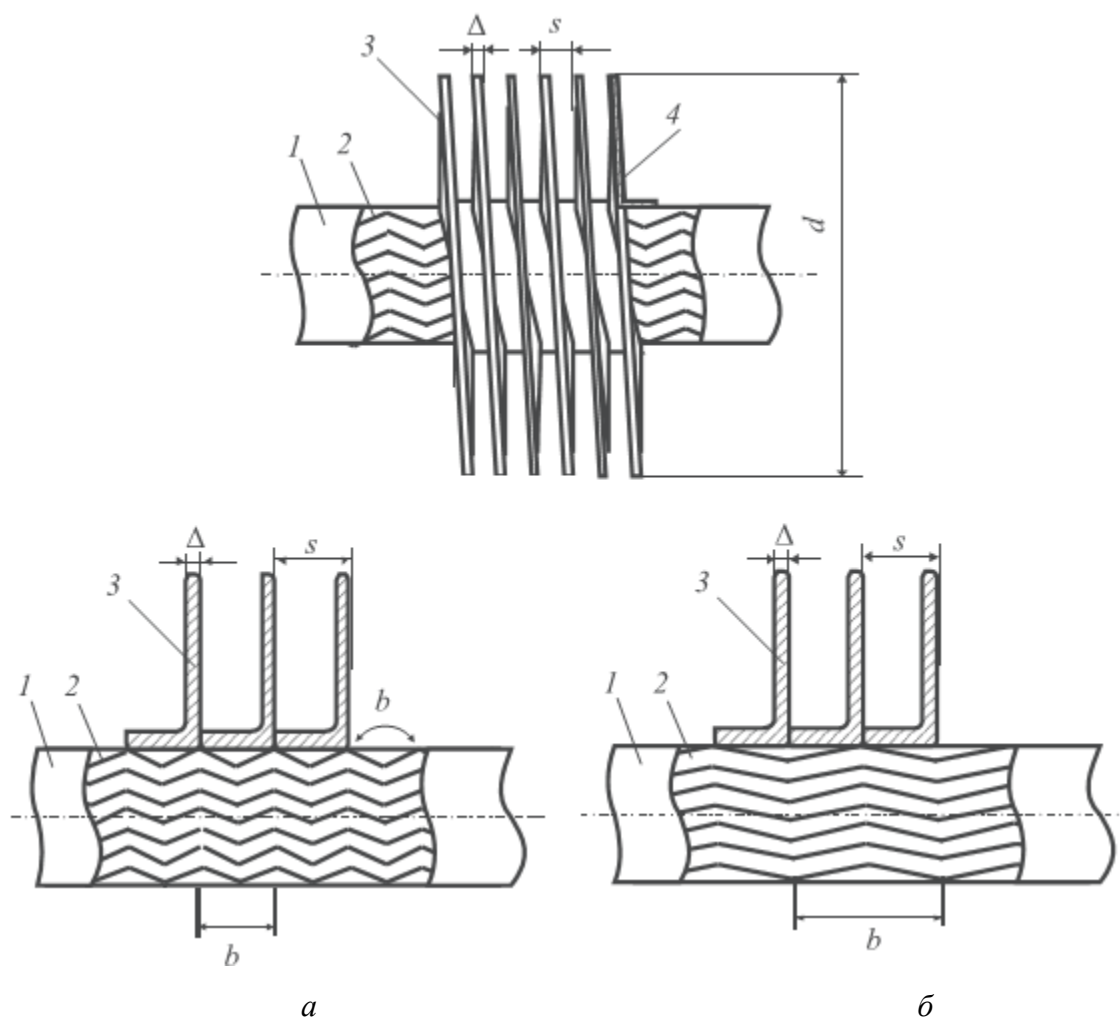


Рис. 1.17. Труба с рельефами шевронного типа [28]:
а – однозаходное оребрение; б – двухзаходное оребрение.
1 – несущая труба; 2 – рифления; 3 – ребра; 4 – горизонтальная полка.

Авторами патента [28] также разработано устройство для изготовления ребристой трубы, состоящей из узла накатки шевронных рифлений, механизма навивки ленты L-профиля и механизма резки. Производительность по оребрению достигает 5 м/мин.

Применение рифлений в виде 4-угольных пирамид [29] по сравнению с рифлениями шевронного типа увеличивает площадь поверхности контакта в 2,1 раза. Увеличение коэффициента теплопередачи осуществляется без

дополнительных затрат энергии на перемещение воздушного потока по оребренной поверхности трубы, что в свою очередь снижает температурные напряжения и деформации L-ребра 3 и несущей трубы 1 (рис. 1.18).

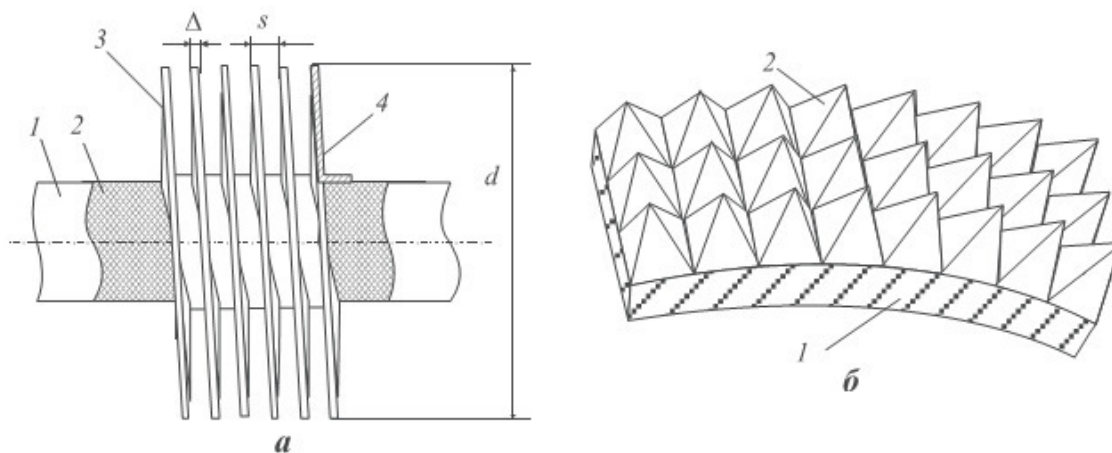


Рис. 1.18. Биметаллическая труба с пирамидальными рифлениями [29]:

а – на несущей трубе; б – фрагмент рифления.

1 – несущая труба; 2 – рифления; 3 – ребра; 4 – полка.

Предельная температура стенки несущей трубы 1 в контактной зоне увеличивается до 300 °С.

Исследователями Тюменского государственного нефтегазового университета разработан новый способ повышения эффективности теплообмена – игольчатое оребрение несущей трубы. По мнению авторов [30] «...такое оребрение может обладать значительной высотой ребра без образования застойных зон, и загрязняемость таких труб будет значительно ниже». Большой интерес представляет динамическое оребрение труб, при котором воздействие потока воздуха на оребренные трубы создает их вибрацию, что повышает теплоотдачу за счет разрушения теплового подслоя на поверхности ребра [31].

1.2.1.2. Система для подачи воздуха. Как уже отмечалось, теплообменники АВО могут работать с нагнетательной тягой или с вытяжной тягой, и иметь как основные, так и вспомогательные элементы, показанные на рис. 1.5. Для эффективной эксплуатации и технического обслуживания

этого оборудования используются также лестницы и площадки. Кроме этого для обеспечения рабочих режимов на АВО необходимо установить контрольно-измерительные приборы и применить системы автоматического управления технологическим процессом.

В аппаратах воздушного охлаждения для подачи воздуха используются осевые вентиляторы с числом лопастей от 4 до 8 и диаметром от 0,8 до 5,0 м, имеющие сравнительно небольшие статические напоры (100–400 Па). Каждый вентилятор состоит из рамы, кожуха, рабочего колеса и электродвигателя. В ГОСТе 11442-90 [32] и ГОСТе 10616-2015 [33] приведена техническая информация по осевым вентиляторам.

В настоящее время в АВО применяются осевые вентиляторы с электродвигателями ВАСО [34, 35], ВАБ [36], АИМ [37, 38] и др.

Секции монтируются на металлической конструкции. Привод колеса вентилятора может размещаться на отдельной раме или на отдельной опоре (рис. 1.19) [39].



Рис. 1.19. Установка электродвигателя осевого вентилятора в АВО [39]

Для безредукторного привода аппаратов воздушного охлаждения применяются двигатели асинхронные взрывозащищенные вертикальные серии ВАСО (взрывозащищенный асинхронный специальный обдуваемый) [34], они могут применяться во взрывоопасных зонах помещений и наружных установках, где возможно образование взрывоопасных смесей. Расшифровка их обозначения **ВАСОХ-Х-ХХ1**: Х – номер серии (2; 4); Х – мощ-

ность, кВт (22; 30; 37; 55; 75; 90); X – число полюсов (14; 24; 32); X1 – климатическое исполнение (У, ХЛ, Т) и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

На рис. 1.20 показаны устройства приводов электродвигателей, применяемых в аппаратах воздушного охлаждения типа АВГ [20].

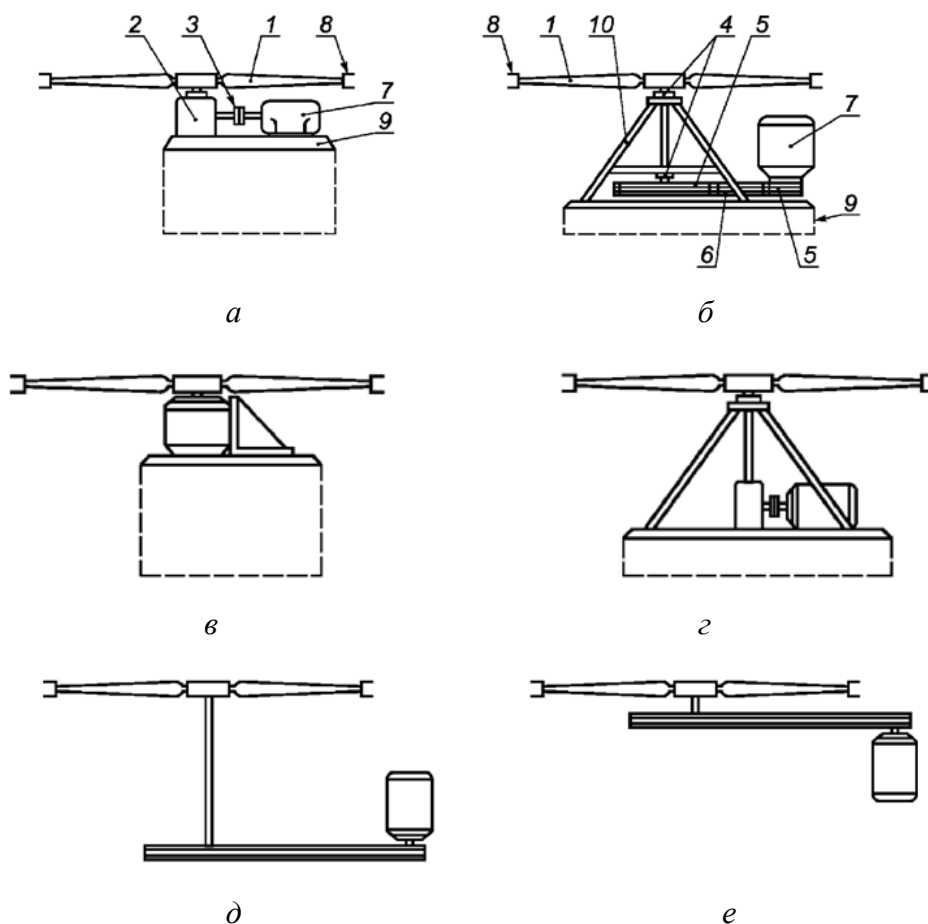


Рис. 1.20. Типовые устройства приводов для АВГ [20]:

- а* – привод с прямой ортогональной зубчатой передачей; *б* – ременный привод;
в – прямой привод от электродвигателя; *г* – привод с ортогональной зубчатой передачей, с опорой вентилятора; *д* – подвесной привод, вал двигателя вниз;
е – подвесной ременный привод, вал двигателя вверх
1 – вентилятор; 2 – коробка передач; 3 – муфта; 4 – подшипник; 5 – шкив; 6 – ременный привод; 7 – электродвигатель; 8 – кольцо вентилятора; 9 – опорная плита;
10 – опора вентилятора

Типы двигателей серии ВАСО [34] приведены в табл. 1.3, а их габаритные размеры показаны на рис. 1.21.

Таблица 1.3

Габаритные и установочные размеры двигателей серии ВАСО [34]

Тип электродвигателя	Размеры, мм					Масса, кг
	d_1	d_2	h	l	l_1	
ВАСО2-22-14	922	810	985	140	550	805
ВАСО2-30-14						855
ВАСО2-37-14						1065
ВАСО4-37-24	1450	1350	1116	300	750	1640
ВАСО4-55-24			1266			2325
ВАСО4-75-24			1316			2940
ВАСО4-90-24			1020			4240
ВАСО4-30-32			880			2325
ВАСО4-75-32			1060			478

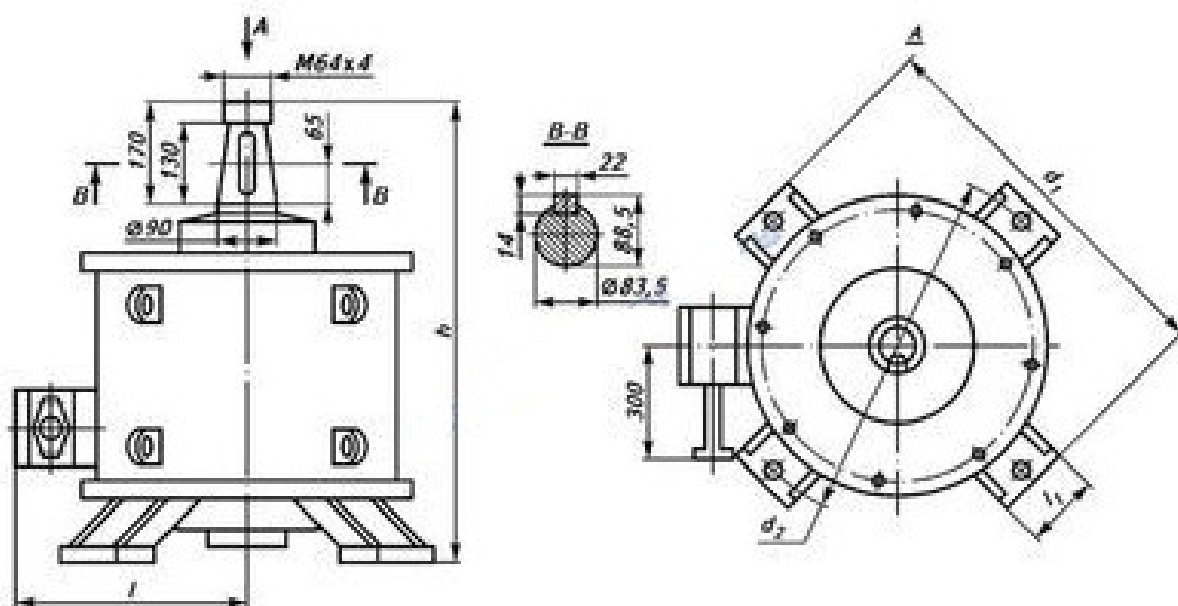


Рис. 1.21. Общий вид двигателей серии ВАСО (с указанием габаритных размеров) [34].

Техническую информацию по двигателям ВАСО7 можно посмотреть в техническом каталоге [35], а по двигателям серии ВАБ и АИМ в руководствах по эксплуатации [36, 37] и на сайте [38].

Рабочее колесо является основной частью любого вентилятора. Различают колеса вентиляторов выполненные из металла или поликомпозитных

материалов. Так, например, лопасти рабочих колес ООО «ИВК-Сервис» изготавливаются из композиционных материалов (на основе синтетических смол и стекловолокна) методом контактного формования под давлением с последующим термоотверждением [40] в соответствии с техническими условиями ТУ 4861-001-92438187-2011 (табл. 1.4) и предназначены для создания искусственной тяги в типовых аппаратах воздушного охлаждения.

Таблица 1.4

Техническая характеристика рабочих колес вентилятора ООО «ИВК-Сервис» [40]

Параметры	Тип рабочего колеса		
	АВО-8К	АВО-25К	АВО-50К
1. Диаметр рабочего колеса, мм	800	2500	5000
2. Производительность, м ³ /час:			
количество лопастей - 4	97560	22540-44420	410000-658000
количество лопастей - 6	119880	16880-47780	490000-600000
3. Давление, Па:			
количество лопастей - 4	299	244-132	186-122
количество лопастей - 6	450	284-199	350-250
4. Мощность электродвигателя (привода) кВт:			
количество лопастей - 4	3	11	37
количество лопастей - 6	5,5	17	90
5. Частота вращения, об./мин:			
количество лопастей - 4	1500	575	250
количество лопастей - 6	1500	500	250

Компания «ЭЛНИГО» также производит колеса вентиляторов с лопастями ГАЦ с основными техническими параметрами [41]:

1. **ГАЦ-50-6МЗ** предназначено для установки в аппараты воздушного охлаждения типа АВЗ: диаметр рабочего колеса – 4,98 м; диаметр ступицы – 1,28 м; число лопастей – 6 шт; скорость вращения – 250 об/мин; масса рабочего колеса – 190 кг; мощность электродвигателя – 75 кВт; номинальный расход воздуха – 520-800 тыс. м³/час; номинальный статический напор – 390-220 Па.

2. **ГАЦ-50-4МЗ** предназначено для установки в аппараты воздушного охлаждения типа 2АВГ-75: диаметр рабочего колеса – 4,98 м; диаметр ступицы – 1,28 м; число лопастей – 4 шт; скорость вращения – 250 об/мин; масса рабочего колеса – 120 кг; мощность электродвигателя – 37 кВт; номинальный расход воздуха – 510 тыс. м³/час; номинальный статический напор – 210-220 Па.

3. **ГАЦ-28-6М2** предназначено для установки в теплообменники ВО типа АВГ, АВЗ и др.: диаметр рабочего колеса – 2,8 м; диаметр ступицы – 0,95 м; число лопастей – 6 шт.; скорость вращения – 428 об/мин; масса рабочего колеса – 55 кг; мощность электродвигателя – 30-37 кВт; номинальный расход воздуха – 320 тыс. м³/час; номинальный статический напор – 280 Па.

Выбор материала для изготовления вентилятора определяется исходя из условий проведения технологического процесса (рис. 1.22).

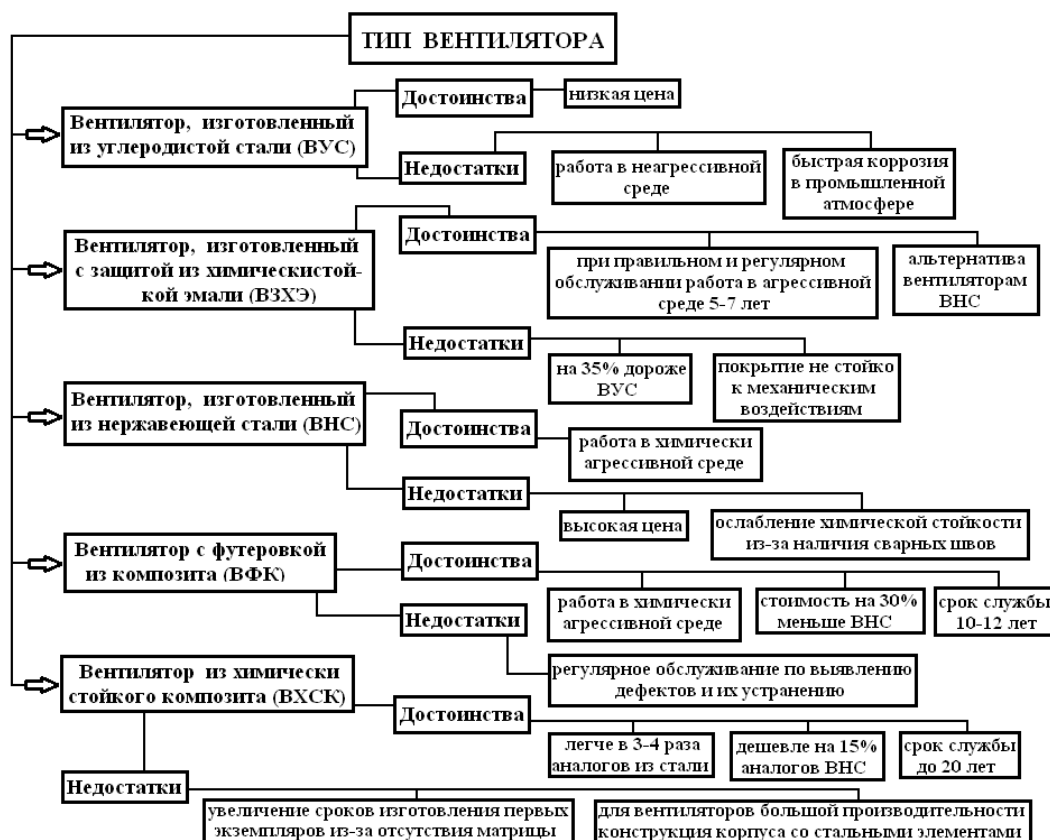


Рис. 1.22. Достоинства и недостатки вентиляторов, изготовленных из различных материалов.

Основные положения по проектированию вентиляторов для работы в потенциально взрывоопасных средах изложены в ГОСТе Р 55026-2012 [42].

Поддержание технологического режима работы АВО, например, в случае изменения нагрузок по производительности охлаждаемой (конденсируемой) среды или сезонного изменения температуры охлаждающего воздуха обеспечивается регулированием подаваемого вентилятором расхода воздуха. Способы регулирования расхода атмосферного воздуха, подаваемого в теплообменные секции, представлены на рис. 1.23.

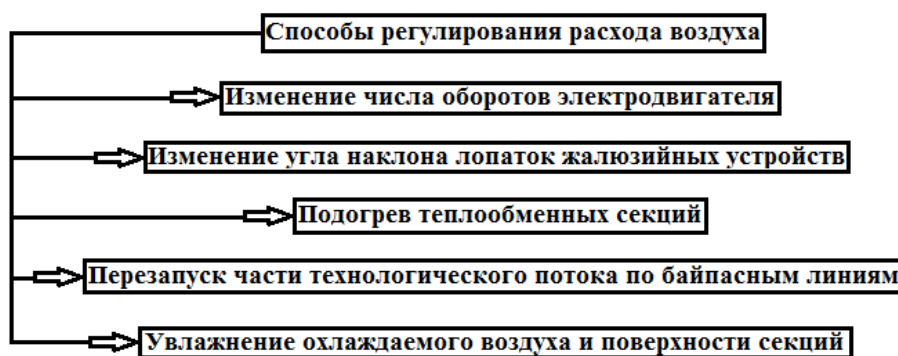


Рис. 1.23. Варианты управления расходом воздуха.

На рис. 1.24 показана система для регулирования воздушного потока с помощью жалюзи с автоматическим или ручным управлением в зимний период времени [20]. Возможно также использование автоматически управляемых вентиляторов с регулируемым шагом (работа с нагнетанием) с открытой и закрытой внутренней рециркуляцией воздуха.

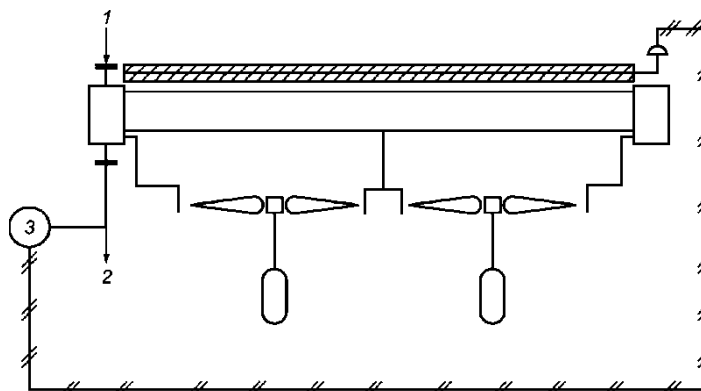


Рис. 1.24. Система регулирования воздушного потока с помощью автоматически управляемых выходных жалюзи и вентиляторов с постоянным шагом [20]:

1 – вход технологической среды; 2 – выход технологической среды; 3 – контроллер с индикацией температуры.

1.2.1.3. Металлические конструкции. Теплообменные секции аппаратов воздушного охлаждения устанавливают на опорные металлоконструкции. Металлические несущие конструкции для АВО согласно [12] применяются для установки в районах с сейсмичностью до 7 баллов и скоростным напором ветра по IV географическому району, с усиленной металлической конструкцией – для работы в районах с сейсмичностью до 9 баллов и со скоростным напором ветра по V географическому району.

1.3. Области применения

АВО широко применяются в химической, металлургической и нефтехимической промышленности, электроэнергетике, пищевой промышленности и других отраслях. Аппараты воздушного охлаждения используются в составе компрессорных станций магистральных газопроводов для охлаждения газа после компримирования и масла системы смазки газоперекачивающих агрегатов; для охлаждения и конденсации газообразных, паровых и жидких сред на установках первичной переработки нефти, каталитического риформинга, изомеризации, гидрокрекинга и крекинга углеводородов; синтеза аммиака, в производстве метанола и т.д.

На многих производствах нефте- и газоперерабатывающих заводов, АВО заменили малоэффективные аппараты погружного типа, а аппараты воздушного охлаждения, установленные несколько десятилетий назад, заменяются на более современные конструкции [43, 44].

При выборе определенной конструкции АВО для конкретного технологического процесса, руководствуются в основном следующими параметрами: температурой, давлением и производительностью рабочей среды; площадью поверхности теплообмена; материалом труб; массой и габаритами аппарата. Немаловажными факторами являются место установки и

климатические условия по ГОСТ 15150 (УХЛ1 – умеренное и холодное, У1 – умеренное, С – северное, Т – тропическое).

В табл. 1.5 приведена информация для различных типов АВО (в зависимости от их конструктивных особенностей) по технологическому назначению.

Таблица 1.5

Существующие конструкции АВО по технологическому назначению [2]

Тип аппарата	Назначение аппарата
АВГ	Для охлаждения и конденсации газообразных, парообразных и жидких сред.
2АВГ	Для охлаждения жидких и парообразных сред.
1АВГ-В	Для охлаждения вязких (с вязкостью на выходе до $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$) продуктов.
АВГ-КБ* АВГ-КБ-Р* АВГ-КБС* АВГ-КБС-Р*	Для охлаждения и конденсации парообразных, газообразных и жидких сред.
АВЗД	
АВЗ	
2АВГ-75С 2АВГ-100С	
АВГ-СВР	Для охлаждения природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов.
АВГ-СВР	Для охлаждения газа после 1 и 2 ступени компрессора и масла в системе смазки компрессоров, установки мощностью 6000 кВт для газлифтной эксплуатации при нефтедобычи.
АВО-М	Для охлаждения масла низкого давления на компрессорных станциях.
АВГ-БМР*	Для предотвращения переохлаждения продукта аппарат снабжен узлом рециркуляции нагретого воздуха.
АВГ-МБ	Для охлаждения жидких сред, а также конденсации газовых и парообразных рабочих продуктов.
АВОГ-1 [45]	Для охлаждения продуктов нефтеперерабатывающей, нефтехимической и смежных отраслей промышленности.
АВМ [5]	Для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред.

Примечание: * АВГ-КБ – блочно-модульный комплектный; АВГ-КБ-Р – блочно-модульный комплектный с рециркуляцией нагретого воздуха; АВГ-КБС – блочно-модульный комплектный стыкуемый (установка двух аппаратов в блок); АВГ-КБС-Р – блочно-модульный комплектный стыкуемый с рециркуляцией нагретого воздуха (установка двух аппаратов в блок с общей камерой рециркуляции); АВГ-БМР – блочно-модульный с рециркуляцией; АВОГ-1 – дельтообразные аппараты.

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В разделе приведены конструкции аппаратов воздушного охлаждения, применяемых в настоящее время в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и смежных отраслях промышленности. А также рассмотрены усовершенствованные конструкции АВО, разработанные за последние годы.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) при изготовлении и проектировании должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51364-99 [12], ПБ 03-584 [46], а также техническим условиям и конструкторской документации, разработанной на конкретном предприятии.

Площадь теплообменной поверхности АВО, используемых в различных отраслях промышленности, изменяется от 50 до 52000 м². Коэффициенты оребрения выбирается от 9 до 22 в зависимости от технологического назначения аппарата [5]. Количество теплообменных секций определяется тепловой нагрузкой и зависит от конструкции АВО. В теплообменной секции длина оребренных труб составляет от 1 до 16 м, количество рядов труб от 1 до 12, число ходов от 1 до 20. Рабочее давление должно быть не более 32,0 МПа.

Вид климатического исполнения аппаратов У, УХЛ1 и др. по ГОСТ 15150-69. Аппараты предназначены для установки в районах с сейсмичностью 7 и 9 баллов согласно ТУ 3612-152-00220302-2009.

В системе подачи воздуха используется тихоходный привод от электродвигателя конструкционного типа ВАСО, ВАБ, АИМ мощностью: 1,5; 3; 5,5; 7,5; 9; 13; 15; 18,5; 22; 30; 37; 55; 75; 90 кВт. Диаметр колеса осевого вентилятора выбирается в соответствии с размерами теплообменника (800, 1600, 2250, 2500, 2800, 5000 мм).

В табл. 2.1. приведены особенности различных конструкций АВО, применяемых на предприятиях.

Модификации существующих АВО [2]

Тип аппарата	Особенности конструкций
1	2
АВГ	Площадь поверхности теплообмена от 875 до 6400 м². Аппарат состоит из трех горизонтально расположенных трубных секций, составленных из оребренных биметаллических труб. Секции монтируются на металлической конструкции. Привод колеса вентилятора размещается на отдельной раме. Число оборотов колеса вентилятора: 428,6 об/мин. Мощность тихоходного двигателя: 22; 30; 37 кВт. Материальное исполнение Б1 – сталь 10, 20; Б2, Б2.1 – 15Х5М или Х8; Б3 – 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т; Б4 – сталь 10Х17Н13М2Т; Б5 – ЛАМШ77-2-0,05.
2АВГ	Площадь поверхности теплообмена 830-4320 м². Аппарат состоит из двух трубных секций, имеющих оребренные биметаллические трубы. Секции расположены горизонтально и монтируются на металлической конструкции. Электродвигатель вентилятора размещается на отдельной раме. Число оборотов колеса вентилятора: 426 об/мин. Мощность тихоходного двигателя: 22; 30; 37 кВт. Диаметр колеса вентилятора – 2,8 м. Тип трубных секций – камерный. Материальное исполнение Б1; Б2; Б2.1; Б3; Б3.1; Б4.1; Б5.1.
1АВГ-В	Площадь поверхности теплообмена 1805-5-3590 м² (при длине теплообменных труб 8 м). Аппарат состоит из трех горизонтально расположенных трубных секций, составленных из оребренных биметаллических труб. Конструктивной особенностью аппарата является пониженный коэффициент оребрения – 7,8 при диаметре несущей трубы 38 мм. Секции установлены на металлической конструкции. Привод колеса вентилятора размещается на отдельной раме. Количество колес вентиляторов в аппарате: 1 (при длине теплообменных труб 4 м), 2 (при длине теплообменных труб в секции 8 м). Тип трубных секций – с разъемными крышками. Материальное исполнение Б1: Б2.1.
АВГ-КБ	Поверхность теплообмена аппарата 450–13908 м². Диаметр колеса вентилятора – 1,6; 2,25; 2,5 м. Тип электродвигателя: ВАСО 4, ВАСО 7. Мощность – 6,5; 9; 13; 15 кВт. Количество – 1, 2, 3, 4 шт. Материальное исполнение углеродистая сталь, нержавеющая сталь, латунь.
АВЗ	Поверхность теплообмена аппарата от 2650 до 9250 м². Аппарат состоит из шести трубных секций, с установленными в них оребренными биметаллическими трубами.

Продолжение таблицы 2.1

1	2
	Тип электродвигателя: ВАБ. Диаметр колеса вентилятора 5 м. Мощность двигателя: 37, 55,75 кВт. Тип трубных секций – крышечный. Материальное исполнение – Б1; Б2.1; Б3; Б4; Б5.
АВЗД	Площадь поверхности теплообмена от 3400 до 12000 м². Аппарат состоит из шести трубных секций, составленных из биметаллических оребренных труб. Секции расположены в форме зигзага под острым углом друг к другу и к горизонтальной опорной площадке. Секции крепятся сверху металлической конструкции. На отдельной раме размещается привод с колесом вентилятора. Тип трубных секций – крышечный. Материал внутренней трубы в зависимости от материального исполнения Б1 – сталь 20; Б2.1 – 15Х5М или Х8; Б3-12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т; Б4 – сталь 10Х17Н13М2Т; Б5- ЛАМШ77-2-0,05.
2АВГ-75С 2АВГ-100С	Площадь поверхности теплообмена 9930 м². Аппарат состоит из горизонтально расположенных секций, собранных из оребренных биметаллических труб. Аппараты изготавливаются одинарными или стыкуемыми. Стыкуемые аппараты соединяются с одинарным или стыкуемым аппаратом при их установке в ряд. Число рядов труб в секциях 6. Длина труб в секции 12 м. Коэффициент оребрения труб 20. Мощность тихоходного электродвигателя 37 кВт. Количество колес вентиляторов в аппарате 2 шт. Тип трубных секций – с цельносварными крышками. Материальное исполнение секции Б1.
АВГ-СВР	Площадь теплообмена 10600 м². Аппарат состоит из двух горизонтально расположенных секций, собранных из накатных оребренных биметаллических труб. В секциях под оребренными трубами предусмотрены змеевики подогрева воздуха. Секции установлены на несущей металлоконструкции. Вентиляторы, один из которых включает механизм изменения угла наклона лопастей с пневмоприводом, вращаясь в полости коллектора. Количество колес вентилятора в аппарате: 6 шт. Частота вращения колеса вентилятора: 500 об/мин. Мощность электродвигателя 9; 13; 15 кВт. Коэффициент оребрения – 20. Тип трубных секций – камерный. Материальное исполнение секции Б1.
АВО-М	Площадь поверхности теплообмена 1080 м². Тип турбулизатора – ленточная вставка. Тип крепления труб – развальцовка. Материальное исполнение трубы – алюминий АД1; остальное – углеродистая сталь.

Продолжение таблицы 2.1

1	2
АВГ-БМР	Площадь поверхности теплообмена от 430 до 5037 м ² . Аппараты поставляются двумя блоками (блок секции и блок вентилятора) и не требует досборки на месте монтажа (может поставляться без узла рециркуляции нагретого воздуха; с системой подогрева воздуха; с системой увлажнения воздуха; с жалюзи с ручным или пневматическим приводом). Тип электродвигателя – ВАБ. Материальное исполнение Б1; Б2; Б3; Б4; Б5.
АВГ-МБ	Площадь поверхности теплообмена от 600 до 6895 м ² . Основу аппаратов составляют оребренные трубы, по которым циркулирует жидкость или газ. Трубы объединены по 4, 6 или 8 рядов в секции. Секции крепятся к металлической конструкции, которая может выдерживать сейсмические нагрузки до 9 баллов. Тип трубных секций – камерный. Материальное исполнение трубы – Б1; Б2; Б2.1; Б3; Б3.1; Б4; Б4.1; Б5; Б5.1
АВОГ-1 [45]	Площадь поверхности теплообмена 8020 м ² . Количество теплообменных секций – 6 шт. Число рядов труб – 8. Тип электродвигателя – ВАСО. Материальное исполнение – углеродистая сталь, нержавеющая сталь.
АВМ [5]	Площадь поверхности теплообмена 105–775 м ² . Состоят из одной трубной секции, собранной из биметаллических оребренных труб, расположенных горизонтально для аппарата горизонтального типа АВМ-Г и вертикально – для типа АВМ-В. Тип электродвигателя – АИМ100S4. Материальное исполнение – углеродистая сталь, нержавеющая сталь.

Ниже показан общий вид некоторых АВО: горизонтального типа – 2АВГ-75С (рис. 2.1), вертикального типа малопоточный (АВМ-В) (рис. 2.2), зигзагообразного типа (рис. 2.3), блочного типа (БМР) (рис. 2.4), дельтаобразного типа (АВОГ-1) (рис. 2.5).

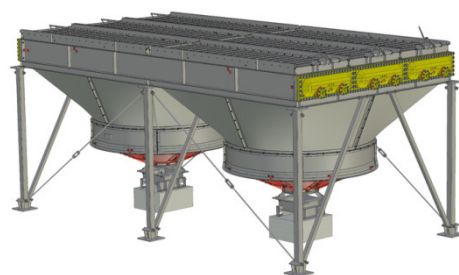


Рис. 2.1. АВО горизонтального типа [3, 47]

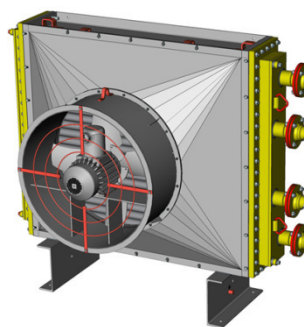


Рис. 2.2. АВО вертикального типа (АВМ-В) [21, 47]

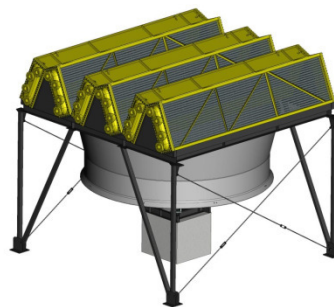


Рис. 2.3. АВО зигзагообразного типа (АВЗ) [47, 48]

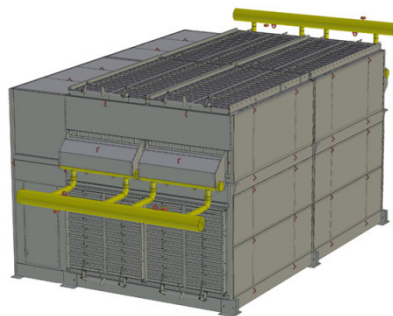


Рис. 2.4. АВО блочного типа (БМР) [21, 49]



Рис. 2.5. АВО дельтаобразного типа (АВОГ-1) [50, 51].

Техническая характеристика аппаратов воздушного охлаждения типа АВГ и 2АВГ приведена в табл. 1 (Прилож. 2), типа АВМ – в табл. 2 (Прилож. 2), типа АВЗ – в табл. 3 (Прилож. 2), типа БМР – в табл. 4 (Прилож. 2), дельтаобразного типа – в табл. 5 (Прилож. 2).

Далее приведены габаритные размеры конструкций АВО: для горизонтального типа АВГ и 2АВГ (рис. 2.6 и рис. 2.7), для вертикального типа малопоточный (рис. 2.8), для зигзагообразного типа (рис. 2.9), для блочно-го типа (рис. 2.10), для дельтаобразного типа (рис. 2.11).

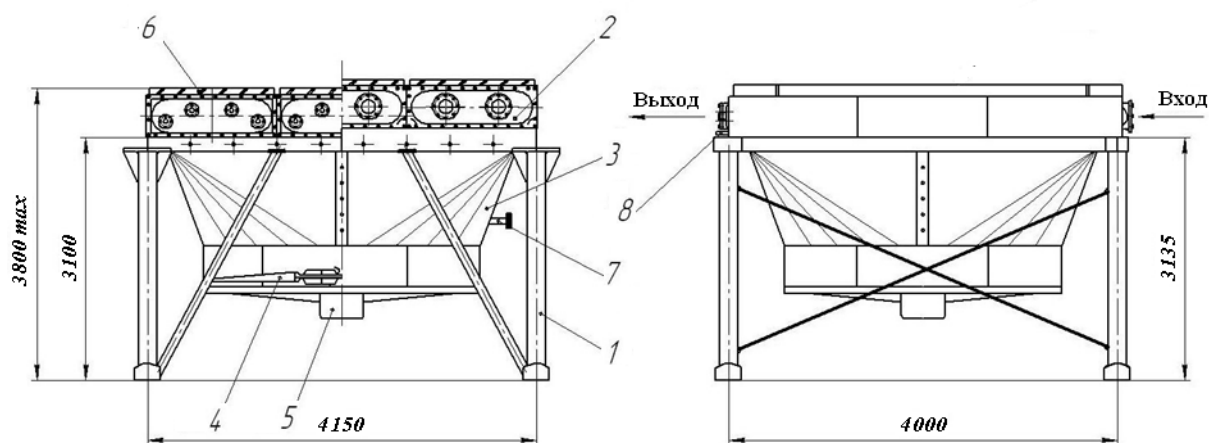


Рис. 2.6. Общий вид аппарата АВГ [5]:

1 – металлоконструкция; 2 – теплообменная секция; 3 – диффузор; 4 – вентилятор; 5 – электродвигатель; 6 – жалюзи; 7 – устройство для увлажнения; 8 – подогреватель воздуха.

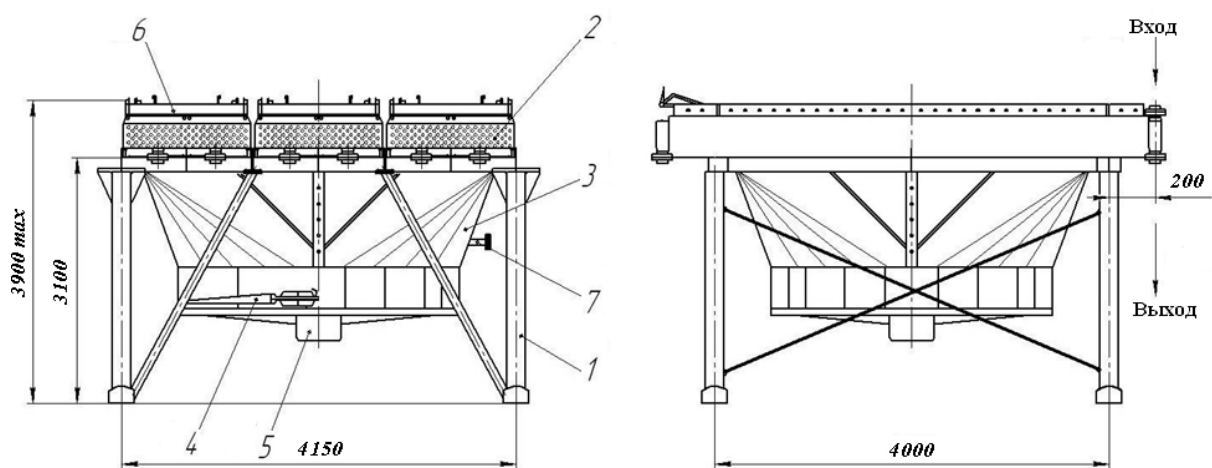


Рис. 2.7. Общий вид аппарата 2АВГ [5]:

1 – металлоконструкция; 2 – теплообменная секция; 3 – диффузор; 4 – вентилятор; 5 – электродвигатель; 6 – жалюзи; 7 – устройство для увлажнения.

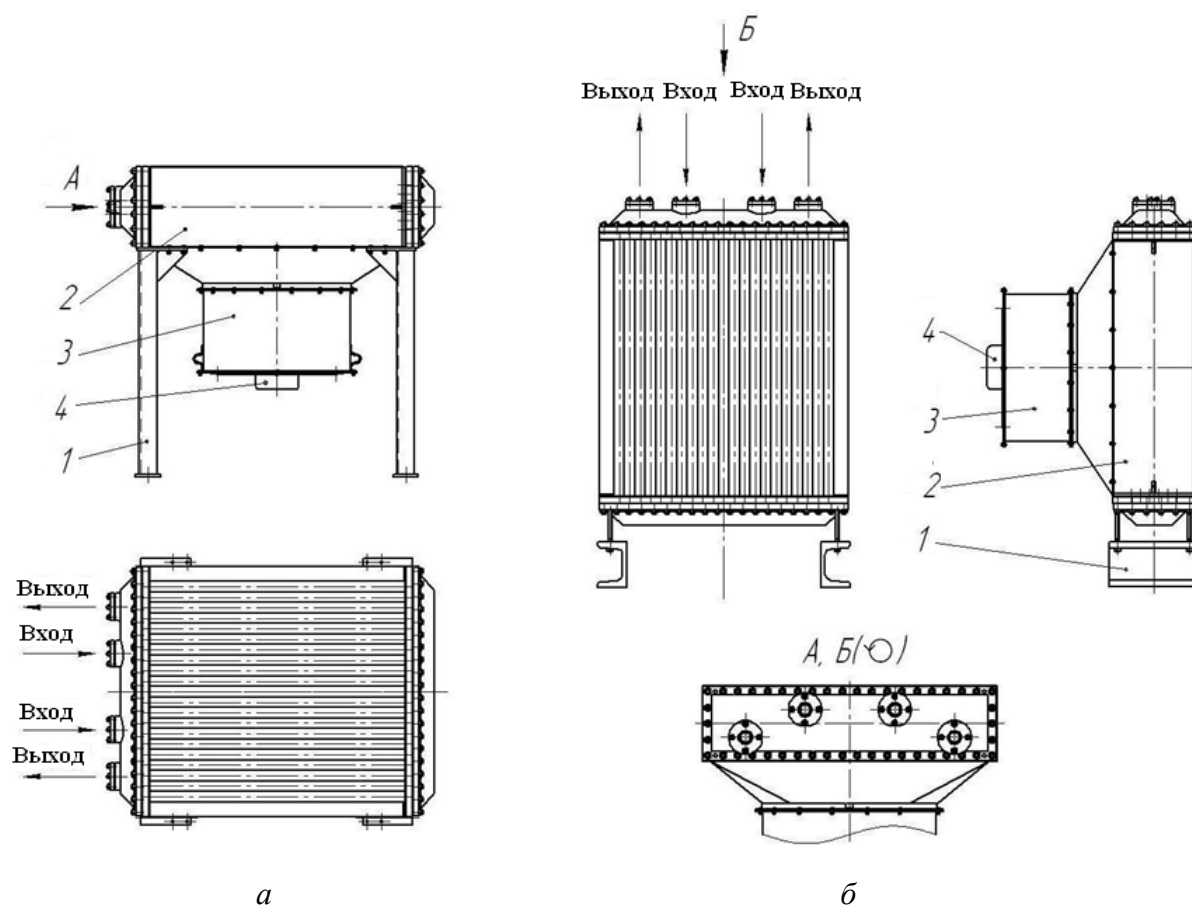


Рис. 2.8. Общий вид аппарата АВМ [5]:

а – горизонтального типа; б – вертикального типа.

1 – металлоконструкция; 2 – теплообменная секция; 3 – вентилятор; 4 – электродвигатель.

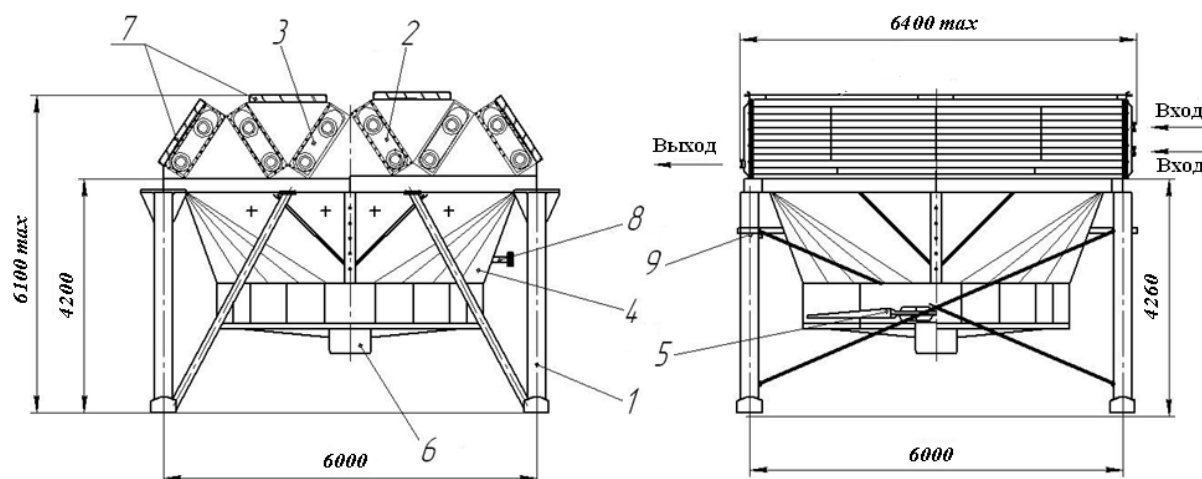


Рис. 2.9. Общий вид аппарата АВЗ [5]:

1 – металлоконструкция; 2 – теплообменная секция левая; 3 – теплообменная секция правая; 4 – диффузор; 5 – вентилятор; 6 – электродвигатель; 7 – жалюзи; 8 – увлажнитель воздуха; 9 – подогреватель воздуха.

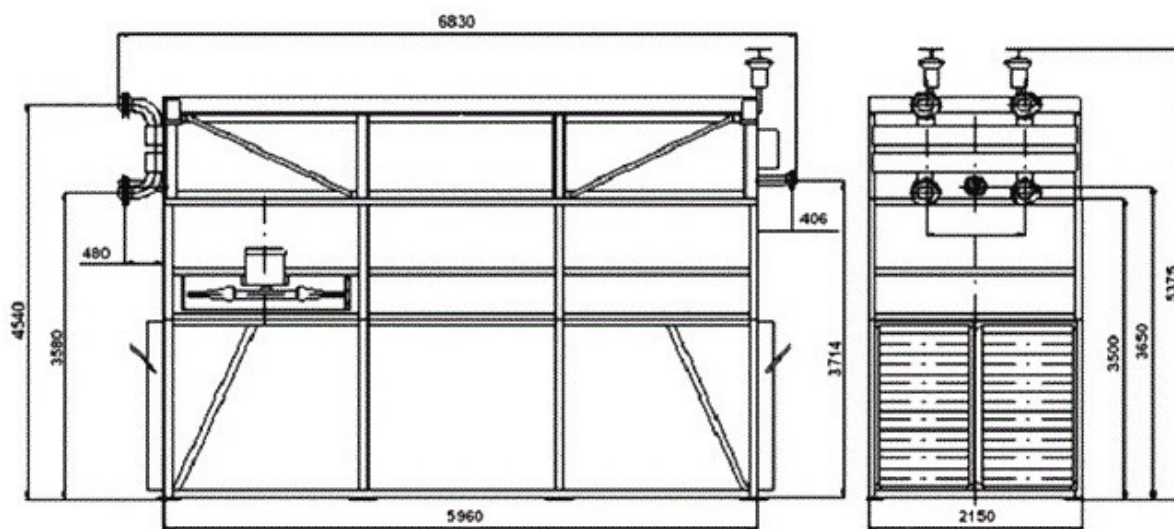


Рис. 2.10. Общий вид аппарата БМР [21, 45]

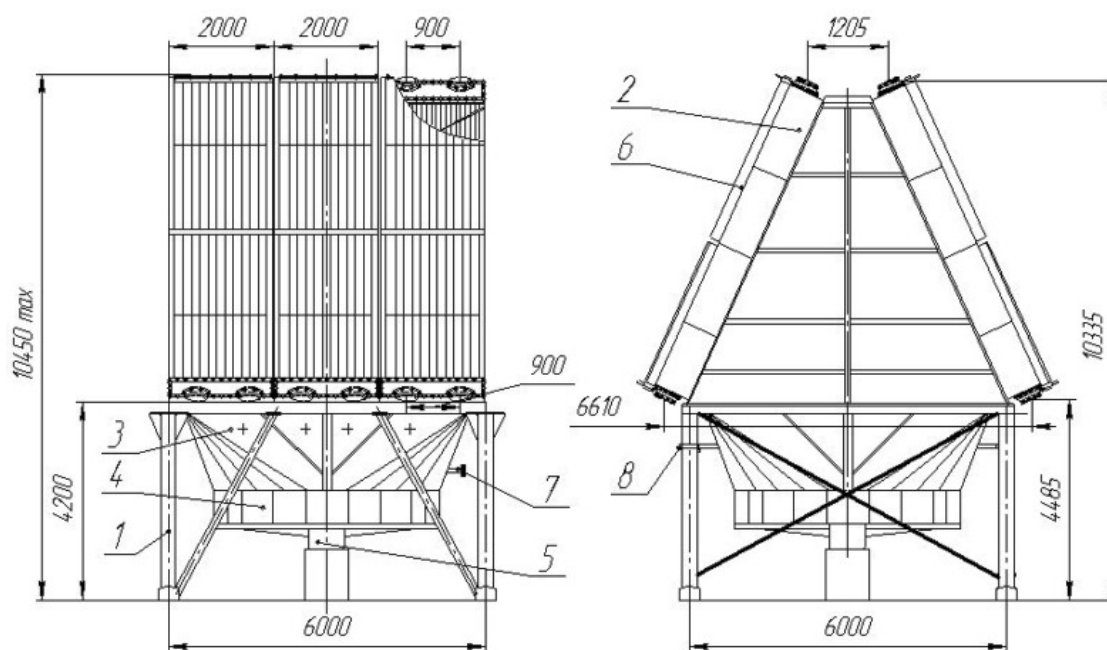


Рис. 2.11. Общий вид аппарата АВОГ-1 [3]:

1 – металлоконструкция; 2 – теплообменная секция; 3 – диффузор; 4 – вентилятор;
5 – электродвигатель; 6 – жалюзи; 7 – устройство для увлажнения; 8 – подогреватель воздуха.

Все аппараты комплектуются жалюзийными устройствами с ручным, электроприводом или пневмоприводом поворота заслонок, а также увлажнителем и подогревателем воздуха.

2.1. Условные обозначения АВО

На рис.2.12 схематично показана структура условного обозначения АВО.

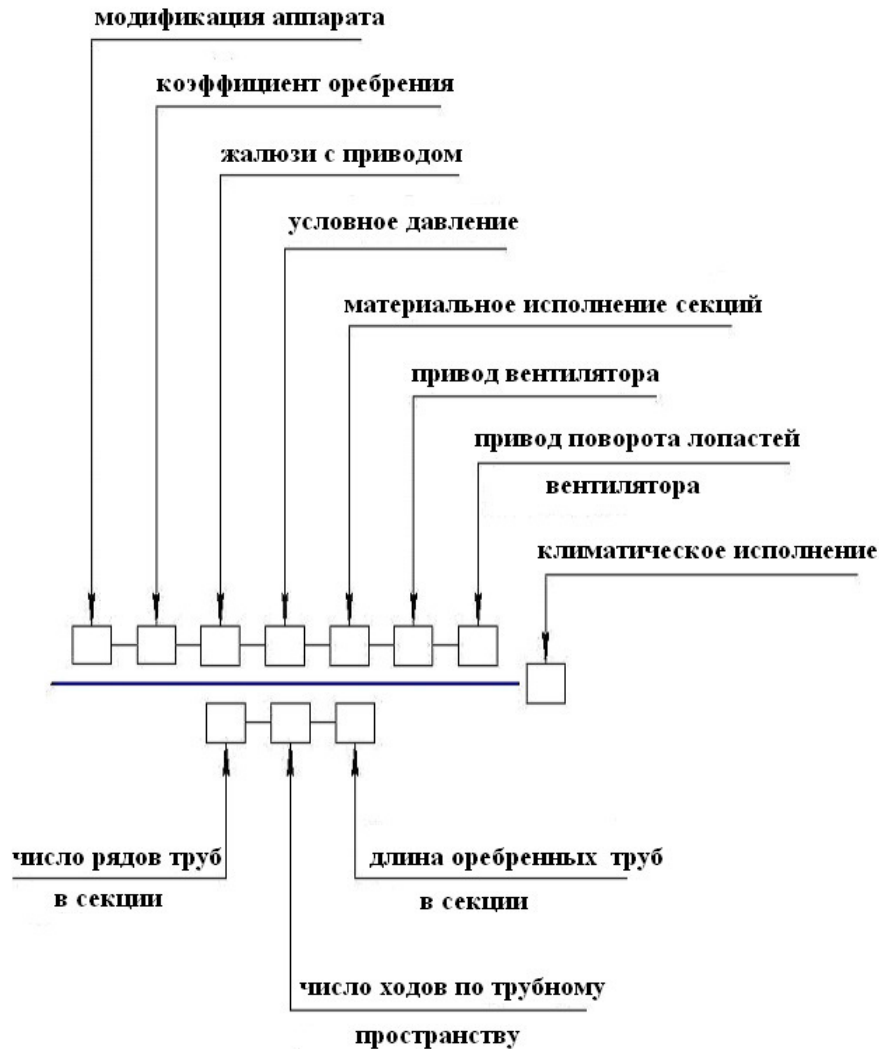


Рис. 2.12. Условное обозначение АВО [5]

Пример условного обозначения № 1:

АВГ-КБ-9-ЭЖ-2,5-Б1-13-2,5/6-1-8 УХЛ1 [47]:

- аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа (АВГ) блочно-модульный комплектный (КБ);
- коэффициент оребрения труб – 9;
- жалюзи с электрическим приводом поворота лопаток (ЭЖ);
- условное давление – 2,5 МПа;

- материальное исполнение – Б1;
- электродвигатель мощностью 13 кВт;
- колесо вентилятора диаметром 2,5 м;
- число рядов труб 6;
- число ходов 1;
- длина труб – 8 м;
- климатическое исполнение – УХЛ1.

Пример условного обозначения № 2:

АВМ-Г-14,6-ПЖ-2,5-Б1-В2Т/8-4-8 У1:

- аппарат малопоточный горизонтального типа (АВМ-Г);
- коэффициент оребрения теплообменных труб – 14,6;
- жалюзи с пневматическим приводом поворота лопаток (ПЖ);
- условное давление – 2,5 МПа;
- материальное исполнение секции – Б1;
- мощность электродвигателя – 30 кВт;
- число рядов труб – 8;
- число ходов – 4;
- длина труб – 8 м;
- климатическое исполнение – У1 (ГОСТ 15150).

Пример условного обозначения № 3:

АВЗ-14,6-Ж-0,6-Б1-В2Т/4-2-4 У1:

- аппарат с зигзагообразным расположением теплообменных секций (АВЗ);
- коэффициент оребрения труб – 14,6;
- жалюзи с ручным приводом (Ж);
- условное давление – 0,6 МПа;
- материальное исполнение секции – Б1;
- мощность электродвигателя – 30 кВт;
- число рядов труб – 4;

- число ходов – 2;
- длина труб – 4 м;
- климатическое исполнение – У1 (ГОСТ 15150).

При использовании различных приводов поворота лопастей вентилятора приняты следующие условные обозначения:

- с пневматическим приводом поворота лопастей вентилятора – (П);
- с электрическим приводом поворота лопастей вентилятора – (Э);
- с частотным преобразованием – (ЧП).

Пример условного обозначения № 4:

АВЗ-20-1,6-В1Т-ЧП/4-2-6 УХЛ1 ТУ 3612-127-0220302-2007

с рециркулятором:

– аппарат с зигзагообразным расположением теплообменных секций (АВЗ);

- коэффициент оребрения труб – 20;
- условное давление – 1,6 МПа;
- материальное исполнение секции – В1;
- привод вентилятора – **В1Т**;
- вентилятор с ручной регулировкой угла установки каждой лопасти при остановленном вентиляторе;

- с частотным преобразователем двигателя (ЧП);
- число рядов труб – 4;
- число ходов – 2;
- длина труб – 6 м;
- климатическое исполнение – УХЛ1 (ГОСТ 15150);
- изготовление в соответствии с ТУ 3612-127-0220302-2007;
- с рециркулятором (узлом рециркуляции подогретого воздуха).

Пример условного обозначения № 5:

БМР-20-0,6-В1-15кВт-2,25/4-2-8 УХЛ1:

- аппарат воздушного охлаждения блочно-модульный с внешней рециркуляцией (БМР);
- коэффициентом оребрения труб – 20;
- условное давление – 0,6 МПа;
- материальное исполнение – Б;
- привод вентилятора – 15 кВт;
- диаметр колеса – 2,25 м;
- число рядов труб – 4;
- число ходов – 2;
- длина труб – 8 м;
- климатическое исполнение – УХЛ1.

2.2. Патентный обзор конструкций АВО

Конструкторы и проектировщики АВО работают над повышением энергоэффективности основных частей этого оборудования. Теплообменник воздушного охлаждения, показанный на рис.2.13 [52], содержит каркас 1 с вентилятором 2 и приводом 3, теплообменную секцию 4 с двумя коллекторами 5, 6 и пучком труб 7 между ними для снижения вибрации.

Во время работы АВО в коллектор 5 поступает горячий продукт для охлаждения, далее по пучку труб 7 уже охлажденный продукт проходит в коллектор 6 и отводится потребителю. Охлаждение продукта в пучке труб 7 обеспечивается за счет обдува пучка потоком холодного воздуха, поступающего от вентилятора 2, приводимого во вращение приводом 3.

Длина трубок 7 в больших охладителях достигает нескольких метров. Из-за этого при работе длинные трубки могут быть подвержены вибрациям, создаваемым потоком воздуха, поступающим от вентилятора. Вибрации могут возникать также и со стороны потока горячего продукта внутри трубок в теплообменной секции [52].

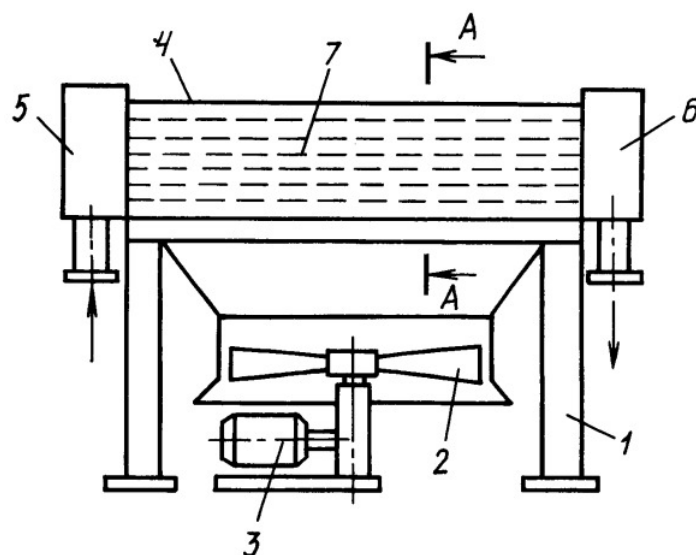


Рис. 2.13. Теплообменник воздушного охлаждения [52]:
1 – каркас; 2 – вентилятор; 3 – привод; 4 – теплообменная секция;
5, 6 – коллектор; 7 – пучок теплообменных труб

Для уменьшения вибраций отдельных трубок 7 их связывают в единый пучок с помощью перфорированных пластин и П-образных дистанционных вставок (на рис. 2.13 не показано). Эффективность гашения вибраций зависит от количества пластин, от расстояния между ними, от длины отрезков пучка труб между пластинами. Такое конструктивное изменение в АВО увеличивает безопасность работы теплообменника и снижает вероятность разгерметизации в теплообменной секции.

В аппарате воздушного охлаждения газа [53], разработанного ООО «Газпром трансгаз Югорск», усовершенствована система подачи воздуха. Аппарат состоит из горизонтально расположенных теплообменных секций 6 коллекторного типа. В камеры подвода и отвода охлаждаемого газа установлены трубные доски с отверстиями. В диффузоре 4 для увеличения эффективности расходуемого воздуха, проходящего через теплообменные секции 6 АВО газа, а также для оптимизации направления потоков охлаждающего воздуха закреплены один S-образный дефлектор 9 и два лопастных дефлектора 14 (на рис. 2.14 не показано).

Устанавливается не менее чем три регулируемые поворотные лопасти, расположенные за лопастями воздухоборника 12 друг над другом с одинаковым шагом и углом их установки. На дне каждого воздухозаборного канала 10, после поворотных лопастей, выполнено окно 13 для эжектирования пассивного потока воздуха с центральной части вентилятора 1.

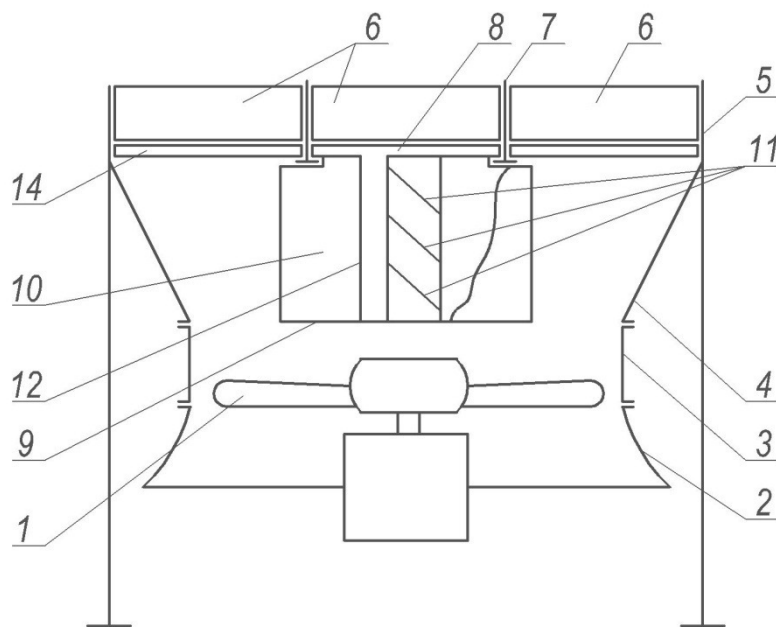


Рис. 2.14. Схема аппарата воздушного охлаждения [53]:

1 – осевой вентилятор; 2 – кольцевая обечайка; 3 – устройство забора;
4 – диффузор; 5 – рама; 6 – секция теплообмена; 7 – продольные профили;
8 – поперечные балки; 9 – S-образный дефлектор; 10 – воздухозаборный канал;
11 – поворотные лопасти; 12 – воздухоборники; 13 – окно; 14 – лопастные дефлекторы

Подача охлаждающего воздуха под оптимальными углами, позволяет улучшить аэродинамические условия обтекания охлаждающим воздухом, увеличить суммарную площадь теплообменной поверхности за счет ликвидации застойных зон, и снизить мощность, потребляемую вентилятором.

Для увеличения надежности аппарата воздушного охлаждения в условиях низких температур специалистами ЗАО Научно-производственного

внедренческого предприятия «Турбокон» в конструкции [54], показанной на рис. 2.15, усовершенствована система подачи греющего теплоносителя.

В АВО перед заполнением системы охлаждаемым продуктом при низких температурах воздуха входные жалюзи 5 и выходные жалюзи 6 закрывают.

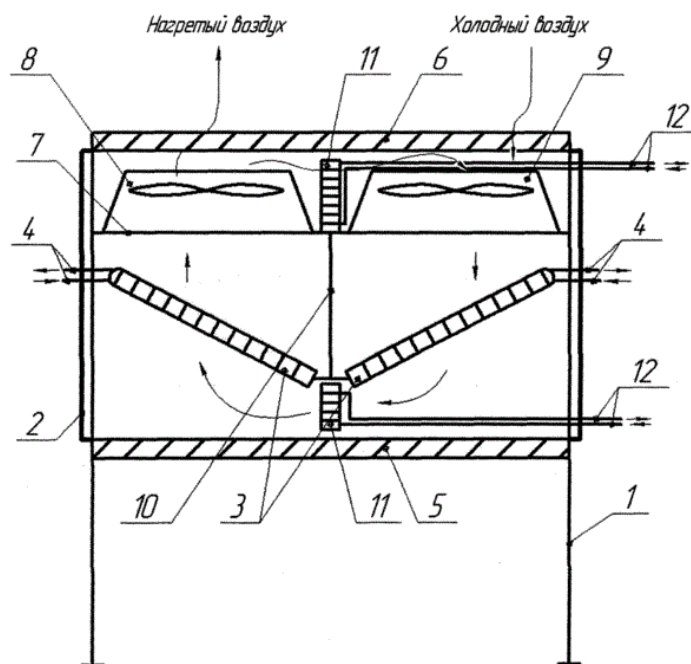


Рис. 2.15. Аппарат воздушного охлаждения с жалюзийным устройством [54]:
 1 – опорные металлоконструкции; 2 – боковые и торцовые стороны; 3 – теплообменные аппараты; 4 – линия подачи и отвода охлаждаемого продукта; 5 – входные жалюзи;
 6 – выходные жалюзи; 7 – площадка установки вентиляторов; 8 – вытяжной вентилятор; 9 – вентилятор с возможностью изменения направления вращения;
 10 – вертикальная центральная перегородка; 11 – подогреватели воздуха; 12 – линия подачи и отвода греющего теплоносителя

При этом обшивка укрытия по боковым и торцовым сторонам 2, закрепленная на опорных металлоконструкциях 1, входные жалюзи 5 и выходные жалюзи 6 образуют замкнутую воздушную камеру. Подача греющего теплоносителя (пар, горячая вода, горячие газы) осуществляется по линиям 12 через подогреватели воздуха 11. Вентиляторы 8 и 9 включаются, а вентилятор 9 подключают в реверсивном режиме. Внутри аппарата воздушного охлаждения воздух начинает циркулировать через отверстия в площадке установки вентиляторов 7, теплообменные аппараты 3 и подог-

реватели 11, обогревая теплообменные поверхности и конструкции аппарата.

После повышения температуры поверхностей теплообмена до заданного значения начинается заполнение внутренних полостей теплообменных аппаратов 3 охлаждаемым продуктом через линии подачи и отвода охлаждаемого продукта 4. После заполнения теплообменных аппаратов 3 включают циркуляцию охлаждаемого продукта, одновременно прекращают циркуляцию греющего теплоносителя через подогреватели воздуха 11.

При выходе АВО на рабочий режим температура охлаждаемого продукта на выходе из теплообменных аппаратов 3 начинает повышаться. Достижение уровня указанной температуры, установленного по условиям технологического процесса, осуществляют регулировкой выходных жалюзи 6. Часть воздуха с выхода вентилятора 8 уходит в атмосферу, оставшаяся часть поступает к вентилятору 9, где смешивается с атмосферным воздухом, поступающим через приоткрытые жалюзи 6.

Расходы воздуха, выбрасываемого в атмосферу, приточного воздуха и рециркулируемого воздуха регулируются изменением угла поворота лопаток выходных жалюзи 6. Для исключения локального переохлаждения теплообменных поверхностей потоки теплого и холодного воздуха дополнительно перемешиваются вентилятором 9. С выхода вентилятора 9 воздух через теплообменные аппараты 3 поступает на вход вентилятора 8, забирая тепло у охлаждаемого продукта.

При повышении температуры атмосферного воздуха выше температуры выпадения твердых фаз в охлаждаемом продукте входные жалюзи 5 и выходные жалюзи 6 могут быть полностью открыты, а вентилятор 9 переключается в режим вытяжки воздуха.

Группой изобретателей разработано устройство [55] для охлаждения газообразных продуктов, изменяющих при понижении температуры агрегатное состояние до твердой фазы. При использовании этого изобретения

обеспечивается равномерная подача холодного воздуха в центральную зону коллекторов вентиляторов с помощью установки фальшпола с отверстиями.

Аппарат [55], показанный на рис. 2.16, оснащен системой жалюзи 7 для выхода нагретого воздуха из теплообменной секции 1 и переточными жалюзи 8 для регулирования рециркуляции воздуха.

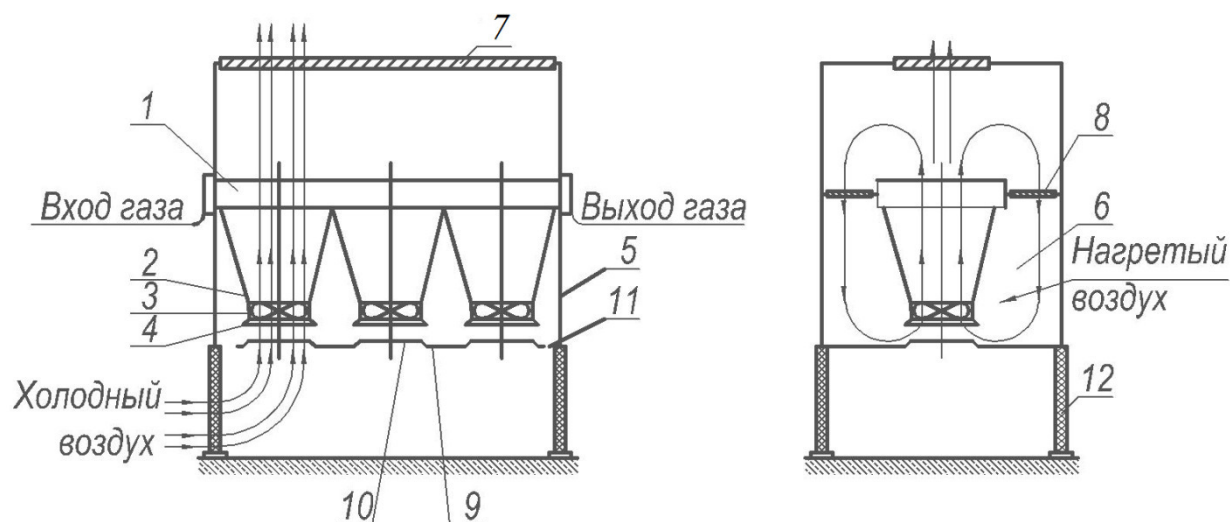


Рис. 2.16. Аппарат воздушного охлаждения с рециркуляцией воздуха [55]:
1 – теплообменная секция; 2 – вентиляторы; 3 – коллекторы; 4,10 – конфузоры;
5 – обшивка; 6 – рециркуляционный канал; 7 – жалюзи; 8 – переточные жалюзи;
9 – фальшпол; 11 – прямоугольные отверстия; 12 – стойки.

Под системой вентиляторов расположен фальшпол 9 с круглыми отверстиями и конфузорами 10, выполненными соосно с каждым вентилятором. Диаметр сечения конфузора 10 фальшпола составляет от 1,0 до 1,1 диаметра коллектора 3 вентилятора. В фальшполе между крайними вентиляторами и торцовыми стенками обшивки укрытия для входа холодного воздуха расположены дополнительные прямоугольные отверстия 11.

Площадь сечения каждого прямоугольного отверстия 11 в фальшполе с торцов составляет от 0,2 до 0,4 площади сечения коллектора 3 вентилятора. Расстояние от конфузора 4 вентилятора до фальшпола 9 составляет от 0,15 до 0,4 диаметра коллектора 3 вентилятора. Фальшпол закреплен на

стойках 12 размещенных в бетонном основании и приподнят на высоту, не менее 1,5 м над уровнем земли.

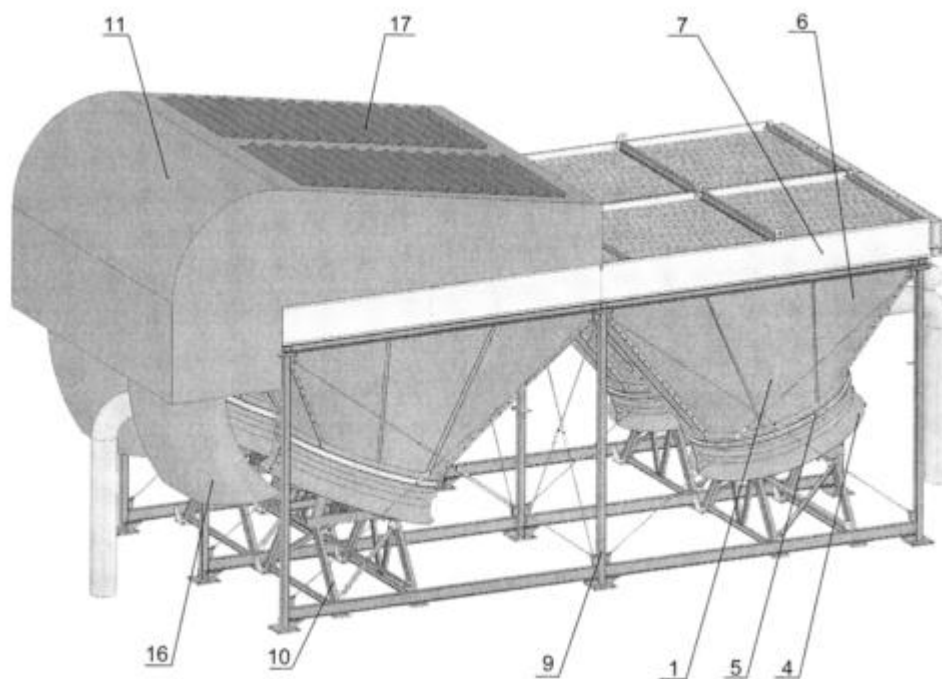
При работе аппарата воздух через отверстия фальшпола, нагнетаемый вентиляторами в межтрубное пространство перпендикулярно трубному пучку направляется снизу вверх, обдувая трубы теплообменной секции и охлаждая проходящий по ним продукт. Часть нагретого воздуха удаляется из аппарата через выходные жалюзи, а часть через переточные жалюзи 8 поступает в боковые рециркуляционные каналы 6, и через кольцевые зазоры между фальшполом 9 и конфузуром 4 направляется на вход в вентиляторы 2, где происходит частичное смешение холодного и горячего потоков воздуха.

Изменение в конструкции АВО с рециркуляцией воздуха [55] позволяет создать равномерное охлаждение всей поверхности труб теплообменной секции, обеспечить надежность работы системы воздушного охлаждения, и не нарушать экологию окружающей среды при его работе.

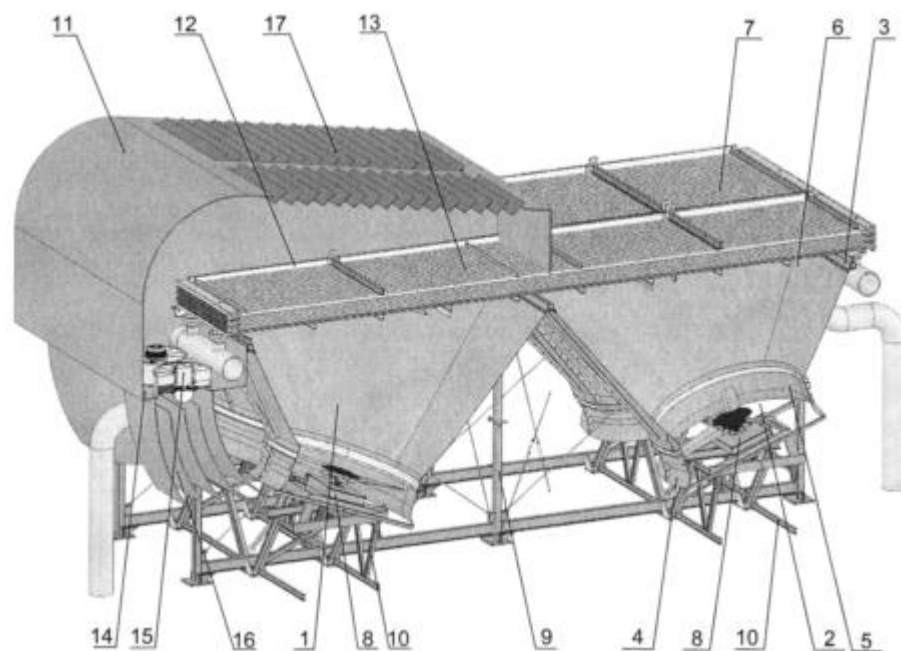
Следующее устройство воздушного охлаждения с рециркуляционными кожухами ЗАО «ГИДРОАЭРОЦЕНТР» [56] оборудовано узлом рециркуляции нагретого воздуха, позволяющим поддерживать более точные технологические параметры при изменении температур окружающего воздуха, и предотвращать переохлаждение продукта при низких температурах окружающего воздуха.

Разработанное устройство (рис. 2.17) содержит теплообменный узел 7, расположенный у выходных отверстий кожухов 1. В каждом кожухе в зоне его тороидальной 4 и цилиндрической 5 поверхностей установлены вентиляторы 8 с рабочим колесом и двигателем.

Выбор оборотов двигателей вентиляторов 8 зависит от конкретных размеров теплообменника и типа привода рабочего колеса. Поворот лопастей рабочего колеса регулируется в зависимости от требуемого расхода прокачиваемого воздуха.



a



б

Рис. 2.17. Устройство воздушного охлаждения с кожухами для рециркуляции [56]:

а – общий вид аппарата; б – вид аппарата сбоку;

- 1 – кожух; 2 – открытые входные отверстия; 3 – выходные отверстия; 4 – тороидальная поверхность кожуха 1; 5 – цилиндрическая поверхность кожуха 1; 6 – линейчатая поверхность кожуха 1; 7 – теплообменный узел; 8 – вентиляторы; 9 – рама для АВО; 10 – рамы для вентиляторов; 11 – переточный короб; 12 – входное отверстие; 13 – часть теплообменного узла; 14 – выходное отверстие; 15 – осевые вентиляторы; 16 – направляющие сопла; 17 – выходные жалюзи

Узел рециркуляции изготовлен в виде переточного короба 11. Входное отверстие 12 короба расположено над частью 13 теплообменного узла 7, размещенного у выходных отверстий двух кожухов 1, обеспечивающих рециркуляцию воздуха.

У выходного отверстия 14 переточного короба 11 установлены вспомогательные осевые вентиляторы 15 и направляющие сопла 16, выполненные с возможностью направления потока воздуха от вспомогательных осевых вентиляторов 15 в направлении входных отверстий двух кожухов 1. На верхней поверхности переточного короба 11 расположены выходные жалюзи 17.

Поток воздуха от направляющих сопел 16 создает тепловую завесу на входе кожухов 1, что позволяет разбавить приточный холодный воздух теплым и, тем самым, избежать переохлаждения продукта.

В устройстве [56] разработана система включения и отключения вентиляторов 8 и 15 в разное время года. При его работе в летнем режиме подключаются все вентиляторы 8 и отключаются все вспомогательные осевые вентиляторы 15 (рис. 2.18).

Поток окружающего воздуха, проходя через теплообменный узел 7 из выходных отверстий двух кожухов 1, охлаждает продукт и направляется вверх в переточный короб 11, откуда он выходит через открытые выходные жалюзи 17.

В зимнее время в устройстве [56] включены вентиляторы 8 с рабочим колесом и двигателем тех кожухов 1, которые используются для рециркуляции воздуха (рис. 2.19) и все вспомогательные осевые вентиляторы 15.

Основной объем теплого воздуха перекачивается вспомогательными осевыми вентиляторами 15 обратно на вход двух кожухов 1, подогревает входящий холодный воздух, и цикл многократно повторяется. Остальная часть теплообменного узла 7 охлаждается за счет естественной конвекции.

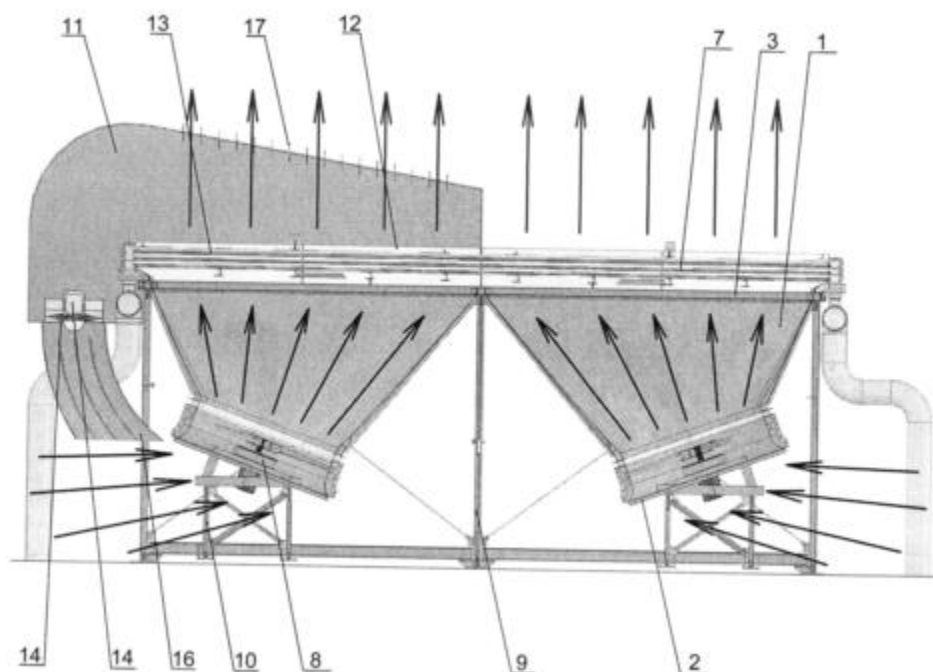


Рис. 2.18. Работа устройства воздушного охлаждения (летний режим) [56]

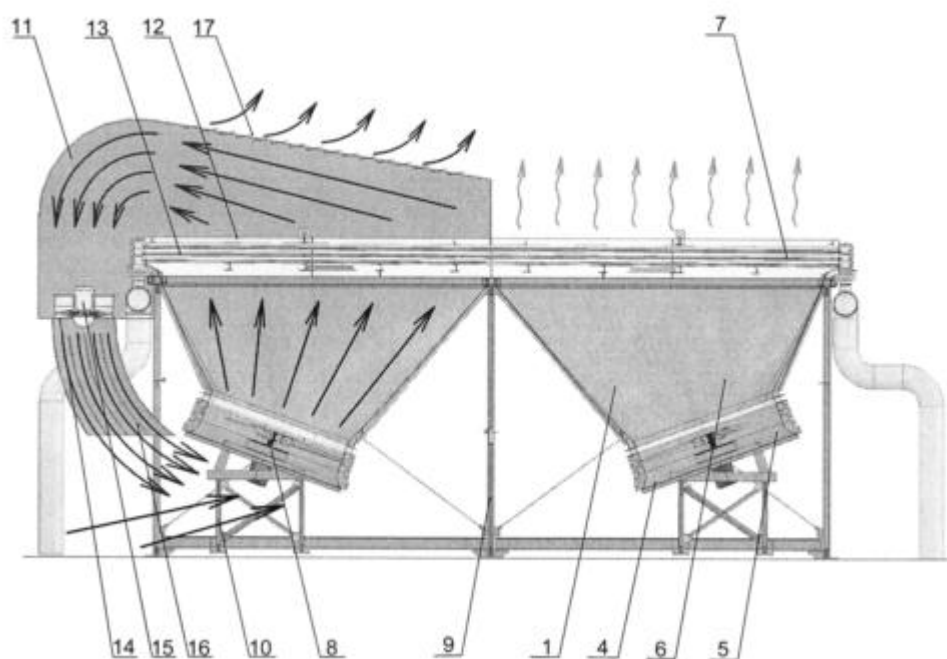
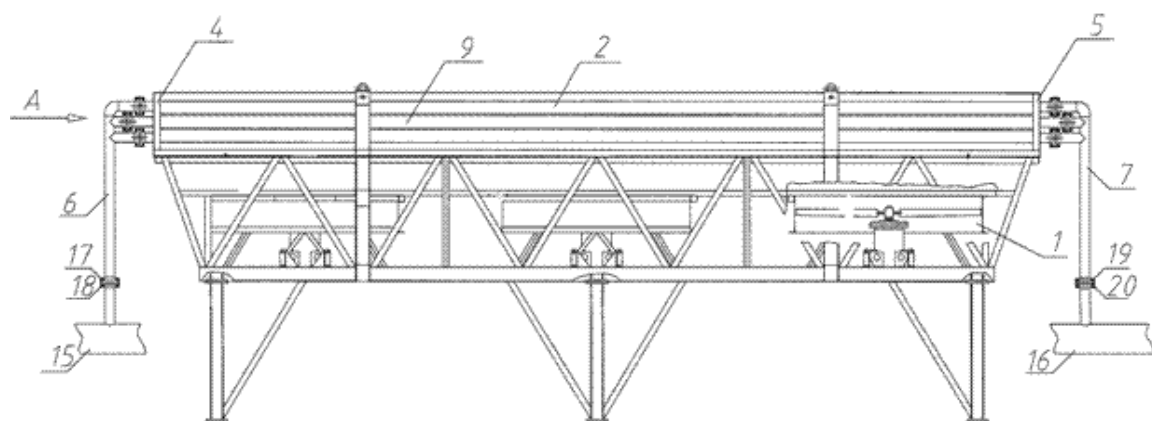
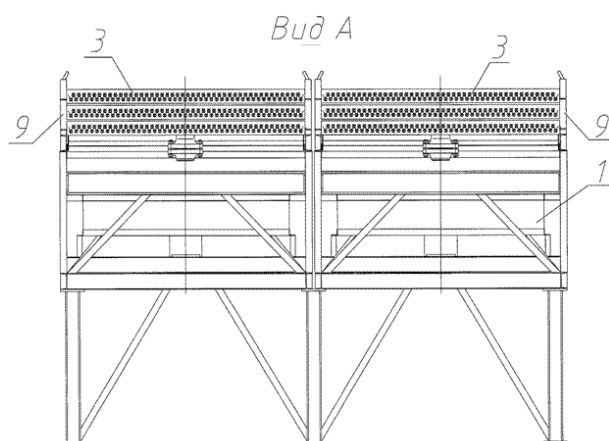


Рис. 2.19. Работа устройства воздушного охлаждения (зимний режим) [56]

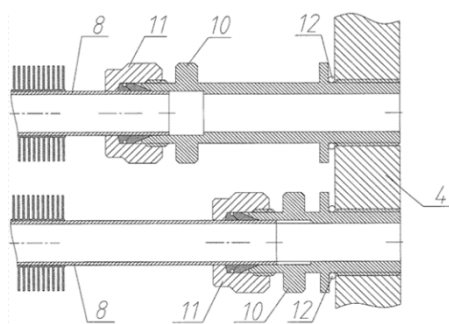
Техническим результатом разработки ЗАО «Искра-Авигаз» (рис. 2.20 а, б) [57] является повышение ресурса и надежности АВО, а также обеспе-



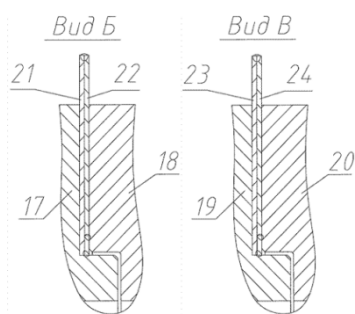
a



б



в



г

Рис. 2.20. АВО газа [57]:

a – общий вид аппарата; *б* – вид А; *в* – схема расположения патрубков;

г – стык фланцевого соединения.

1 – вентиляторы; 2 – корпус АВО; 3 – теплообменный модуль; 4, 5 – трубные крышки; 6 – патрубки входа; 7 – патрубки выхода; 8 – оребренные трубы; 9 – боковые стены; 10 – соединительный элемент; 11 – крепежный элемент; 12, 13 – уплотнение; 14 – одноходовой многорядный пучок; 15 – подводящий трубопровод; 16 – отводящий трубопровод; 17, 18, 19, 20 – фланцы; 21, 22, 23, 24 – прокладки

чение его технологичности, ремонтпригодности, полной герметичности фланцевых соединений и упрощение ремонта теплообменника.

По разработанной методике при выходе из строя одной из оребренных трубок 8 при расположении ее в верхнем ряду теплообменного модуля 3 АВО газа, ремонт заключается только в разборке разъемного соединения оребренной трубки 8 и трубных крышек 4 и 5.

В случае, когда подлежит замене оребренная трубка 8, расположенная или в нижнем ряду верхнего теплообменного модуля 3, или в нижнем теплообменном модуле, необходимо отделить трубные крышки 4 и 5 ремонтируемой теплообменной секции от патрубков 6 и 7 по фланцевому соединению 17 и 18 (рис. 2.20 в). Для этого необходимо разобрать крепежное соединение фланцев, например болтовое 25 (на рис. 2.20 г не показано).

После этого необходимо срезать тонкий сварной шов, соединяющий друг с другом попарно прокладки 21 и 22 и прокладки 23 и 24, и, разобрав фланцевое соединение, выбрать теплообменный модуль и далее провести замену оребренной трубки 8.

После замены 8 ее присоединяют с использованием разъемного соединения к трубным крышкам 4 и 5 и соединяют пригодную для дальнейшей работы теплообменную секцию с патрубками 6 и 7 к подводящим 15 и отводящим 16 трубопроводам природного газа.

При работе АВО существует проблема снижения теплосъема – из-за неравномерного распределения воздуха между секциями по мере движения его в пространстве между поверхностью земли и входом в теплообменные секции. По этой причине необходимо поднимать секции на большую высоту и увеличивать размеры металлоконструкций.

В аппарате воздушного охлаждения [58] эти недостатки устраняются. Теплообменные секции с верхним расположением вентилятора уста-

навливаются на разной высоте таким образом, чтобы внутренние секции были размещены ниже наружных секций.

Охлаждающий воздух поступает в пространство между поверхностью земли и верхними отметками секций 1, расположенных на периферии аппарата воздушного охлаждения (рис. 2.21) и установленных на металлоконструкциях 3, и частично отсасывается вентиляторами этих аппаратов.

Оставшийся охлаждающий воздух отсасывается вентиляторами секции 2, расположенными внутри аппарата воздушного охлаждения на металлоконструкции 4.

При этом из-за меньших размеров сечения II, чем сечения I, и меньшего расхода воздуха в сечении II, чем в сечении I, скорость его будет примерно постоянна, а перераспределение между секциями 1 и секциями 2 и теплосъем будут распределены равномерно.

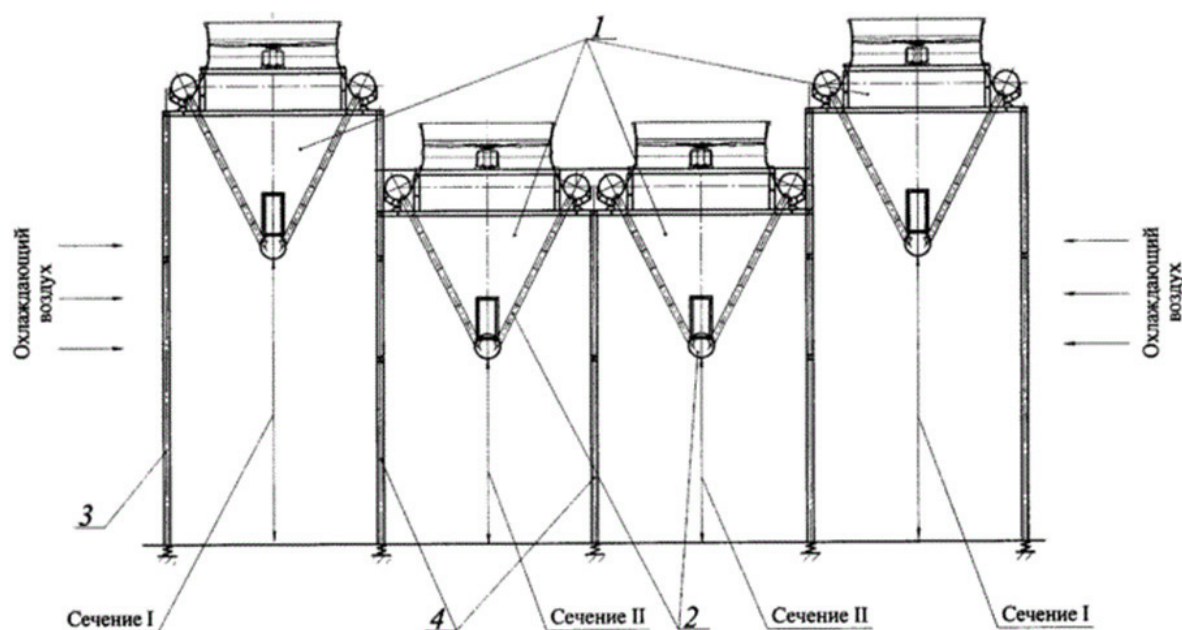
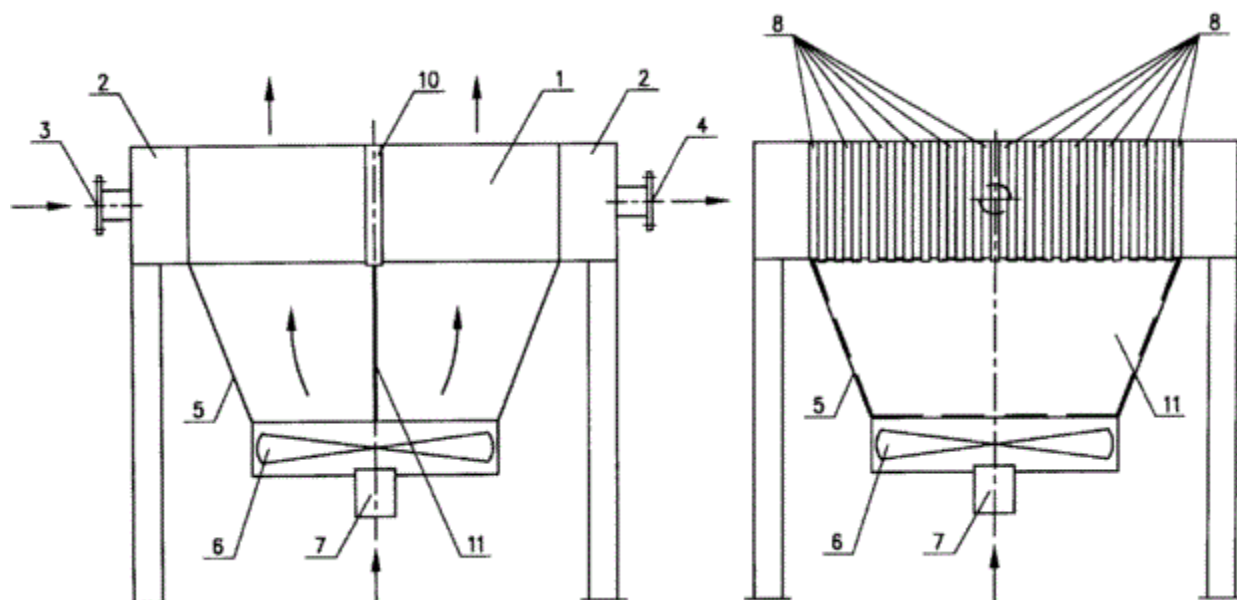
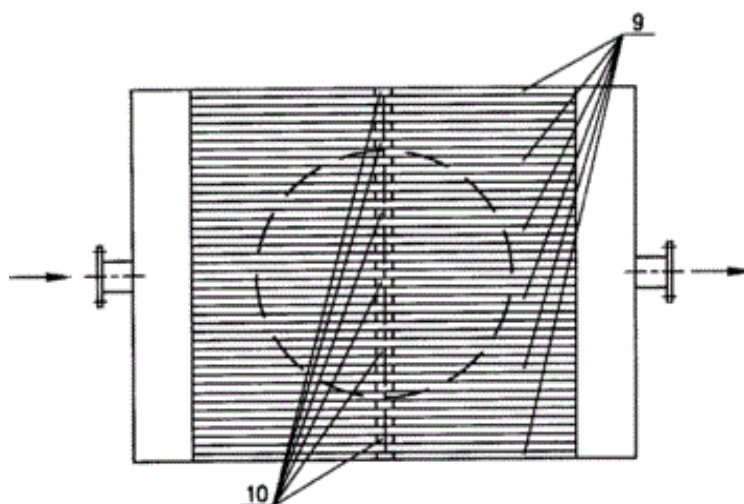


Рис. 2.21. Аппарат воздушного охлаждения [58]

В разработанном авторами патенте [59] описан аппарат воздушного охлаждения (рис. 2.22), включающий секции теплообмена 1 с распределительными камерами 2, штуцерами 3 и 4, вентилятор с электродвигателем 7, диффузор 5.



a



б

Рис. 2.22. АВО с секциями из гофрированных пластин [59]:

a – общий вид теплообменника; *б* – направление охлаждаемого потока.

- 1 – секция теплообмена из попарно соединенных гофрированных пластин;
- 2 – распределительные камеры; 3, 4 – штуцер; 5 – диффузор; 6 – вентилятор;
- 7 – электродвигатель; 8 – канал для охлаждаемого потока жидкости или газа;
- 9 – канал для прохода охлаждающего потока воздуха; 10 – поперечные планки;
- 11 – пластина

Секции теплообмена выполнены из попарно соединенных гофрированных пластин 11. Эти пластины образуют пакет герметичных каналов для прохода охлаждающего потока воздуха 9 и охлаждаемого потока продукта 8. По длине пакета этих каналов для прохода охлаждающего потока возду-

ха жестко закреплены поперечные планки 10, соединенные пластиной 11 с диффузором 5, поэтому поток воздуха, нагнетаемый вентилятором 6, делится на две равные части, обеспечивая более равномерное распределение потока воздуха и более интенсивный теплообмен.

Конструктивные усовершенствования позволяют снизить эксплуатационные затраты и стоимость аппарата за счет уменьшения его металлоемкости, уменьшить габаритные размеры и соответственно сократить площадь под установку аппарата.

Кроме этого, в разработанной конструкции аппарата воздушного охлаждения [59] обеспечивается более высокая удельная поверхность теплообмена за счет применения пакета гофрированных пластин в теплообменной секции 1.

Как уже отмечалось ранее в разделе 1, больше внимание при разработке АВО уделяется конструктивным разработкам оребренных труб теплообменных секций, описанных в работах [23–29].

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Энергетическая эффективность аппаратов воздушного охлаждения определяется работой всех составных частей установки – теплообменных секций, осевых вентиляторов, их взаимного расположения и т.д. Для уменьшения энергозатрат и ресурсосбережения конструкции АВО постоянно совершенствуются. На рис. 3.1 показаны основные направления повышения эффективности аппаратов воздушного охлаждения.

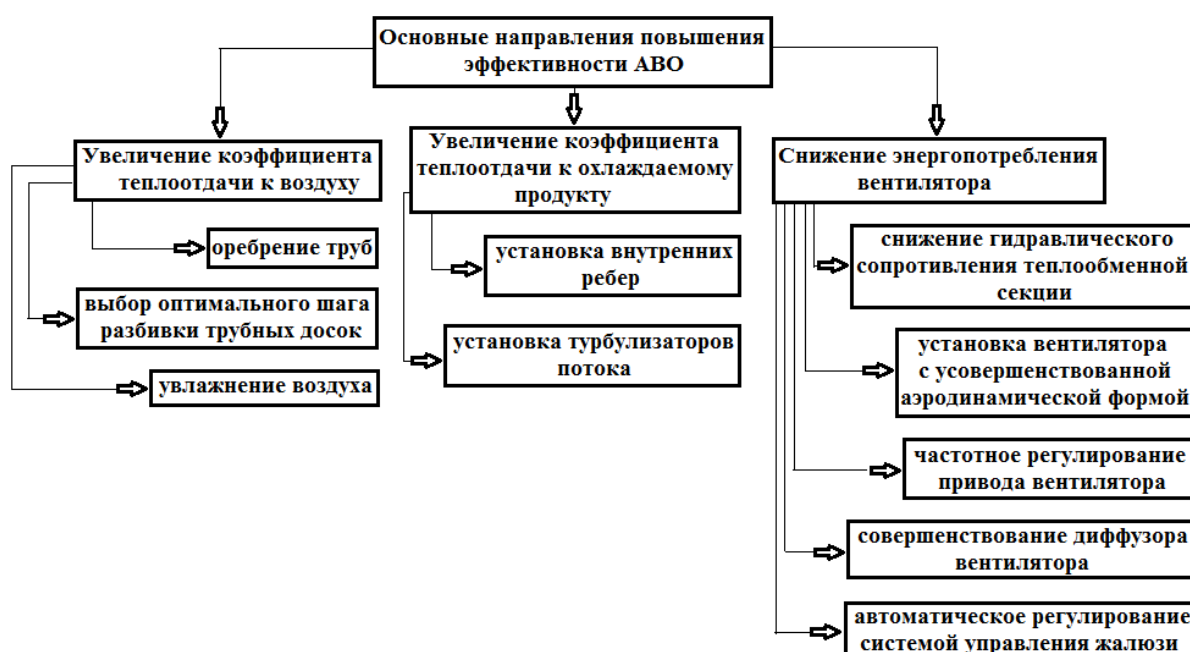


Рис. 3.1. Пути повышения эффективности АВО.

В АВО применяется в основном наружное оребрение труб. Конструктивные особенности разработанных за последние годы оребренных труб [23–29] позволяют повышать до 25% интенсивность теплоотдачи по воздушной стороне, и снижать до 22% материалоемкость поверхности оребрения, при этом расширяется температурный диапазон применимости таких труб до 350 °С.

Проведенные исследования по тепловой эффективности труб с завальцованными ребрами [60], расположенными в шахматном шестирядном

пучке с равносторонней компоновкой показали, что [29] «...коэффициент тепловой эффективности непрерывно увеличивается с ростом коэффициента оребрения трубы, а по расходу алюминия на оребрение менее металлоемким является пучок труб с KLM-ребрами (ребро с отогнутой площадкой)».

При исследовании различных компоновок трубных пучков в теплообменных секциях установлено [61], что шахматно-диффузорная компоновка имеет повышенную эффективность во всех диапазонах числа рядов труб в пучке.

На интенсивность теплосъема с оребренной поверхности теплообмена АВО существенное влияние оказывает подача воздуха с увлажнением [62]. При воздушно-водоиспарительном охлаждении теплосъем в 1,6-3,5 раза выше, чем при воздушном охлаждении.

Для снижения аэродинамического сопротивления, увеличения производительности вентилятора и коэффициента теплопередачи необходимо постоянно проводить очистку наружных поверхностей теплообменных труб, загрязнение которых происходит при эксплуатации АВО в результате обдувания потоком воздуха от вентилятора с частицами пыли. Ручной способ очистки является очень трудоемким и малоэффективным процессом, при проведении которого возможны повреждения оребрения труб. В последнее время разработаны [63] очистительные аппараты, устанавливаемые непосредственно под трубами. Их использование позволяет проводить чистку автоматически под давлением пара, подаваемого через форсунки. Разработанные аппараты могут также выполнять функции увлажнения воздуха.

Для удаления загрязнений, образующихся на наружной поверхности оребренных труб, на стадии изготовления аппаратов вследствие использования смазки при накатке, применяется механизированная очистка труб

[64], включающая следующие операции: очистку, промывку моющим раствором и осушку.

Внутренняя поверхность труб загрязняется отложениями от охлаждаемых сред с высокими температурами. Для снижения этих отложений внутри труб для создания турбулентности рабочей среды устанавливают различные вставки: закрученную ленту, непрерывный шнековый завихритель, используют трубы с винтообразными плавно очерченными выступами и т. д. При этом одновременно с увеличением коэффициента теплоотдачи на 30–40% повышается и гидравлическое сопротивление в 1,5–2,5 раза.

Для устранения накапливания неконденсируемых примесей, снижающих эффективность АВО, системы воздушного охлаждения оборудуют специальными дренажными линиями отвода инертных компонентов.

По опытным данным почти в 60% случаев на производстве устанавливают электродвигатели на АВО с завышенной мощностью, что приводит к перерасходу электроэнергии, следовательно, к снижению энергоэффективности. С целью регулирования охлаждающего эффекта при работе АВО проводится [65] подбор количества одновременно работающих вентиляторов, а также их расположению относительно пучка труб, что обеспечивает более равномерный поток воздуха, позволяющий интенсифицировать теплообмен. Экспериментально установлена зависимость относительного расположения трубного пучка и вентилятора, который должен быть установлен ниже.

При эксплуатации АВО для снижения электроэнергии необходимо использовать напорные вентиляторные блоки с аэродинамически совершенными рабочими колесами, плавными обводами и небольшими углами раскрытия диффузоров, максимально возможной горловиной диффузоров и значительным удалением плоскости вращения рабочего колеса от трубного пучка, а также снижать массу электродвигателей.

Использование композитных материалов облегчает вес рабочих колес вентиляторов, что также существенно уменьшает затраты на электроэнергию на 20–25% и продлевает срок эксплуатации подшипников электродвигателя благодаря легкости колеса и сниженному уровню вибрации.

Обычно имеется некоторый резерв увеличения расхода воздуха через АВО, обеспечиваемый изменением угла поворота лопастей [66], но если этого недостаточно, используют дополнительные вентиляторы местного или общего надува [67].

Для повышения надежности и эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения в нефтегазовой и химической промышленности внедряются современные системы автоматизированного управления (САУ), обеспечивающие автоматическое поддержание рабочих режимов (температуру, производительность и др.); плавный пуск электродвигателей вентиляторов, а также при производственной необходимости включение и отключение вентиляторов; регулирование увлажнения охлаждающего воздуха и т. д.

Выбор схем регулирования обеспечивает эффективную работу АВО в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Внедрение устройств частотного регулирования, при работе аппаратов воздушного охлаждения исходя из практики, позволяет сэкономить около 33% электроэнергии преимущественно в холодное время года.

Частотное регулирование позволяет автоматизировать производственные процессы, экономично расходовать электроэнергию, повышать качество выпускаемой продукции, а также увеличивать надежность работы всей системы в целом.

ГЛАВА 4. РЕМОНТ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

При ремонтных мероприятиях проводятся строительные, монтажные, пусконаладочные работы, а также техническое диагностирование оборудования. Ремонтные работы осуществляются на договорной основе подрядными организациями. До начала ремонта составляется дефектная ведомость по аппаратам и отдельным узлам; чертежи, схемы и технические условия на ремонт основных объектов. На проведение определенного объема работ с указанием ремонтируемого оборудования, коммуникаций, арматуры на конкретном участке оформляется наряд-допуск.

Надзор, обслуживание и эксплуатацию аппаратов необходимо проводить в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», утвержденных приказом Ростехнадзора № 539 от 12 декабря 2017 г.

Для обеспечения доступа к площадкам обслуживания оборудования под давлением, предназначенных для проведения периодических работ (плановое техническое обслуживание, ремонт) в местах расположения люков, запорной, регулирующей арматуры и иных устройств, оборудованных автоматическим дистанционным приводом, первичных датчиков, передающих данные на вторичные устройства (приборы) систем автоматизации и (или) контрольно-измерительных приборов (установленных дистанционно), не требующих постоянного присутствия персонала. Проектом установки оборудования под давлением может быть предусмотрено применение переносных, передвижных площадок и лестниц, а также стационарных лестниц с углом наклона к горизонтали более 50° при условии обеспечения возможности осмотра оборудования в таких местах с поверхности пола (земли) или других площадок. Вертикальные лестницы должны быть ме-

таллическими шириной не менее 600 мм с расстоянием между ступенями не более 350 мм. Начиная с высоты 2 м, они должны оснащаться предохранительными дугами радиусом 350–400 мм, располагаемыми на расстоянии не более 800 мм одна от другой и скрепленными между собой полосами, с расстоянием от самой удаленной точки дуги до ступеней в пределах 700–800 мм.

Перед проведением ремонтных работ, согласно «Положению о порядке безопасного проведения ремонтных работ на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих опасных производственных объектах (РД 09-250-98)» [68], все АВО и трубопроводы должны быть освобождены от рабочей смеси, обезврежены (например, проведена нейтрализация, пропарка, продувка азотом и т.д.) и отключены от системы с помощью специальных заглушек. Ремонтные работы проходят при отключенном оборудовании.

В АВО ремонту подлежат в большинстве случаев теплообменные секции, редуктор (при наличии), вентилятор, жалюзи и металлоконструкции.

Основными причинами выхода из строя *трубных секций* являются коррозионно-эрозионный износ труб, штуцеров, крышек и нарушение плотности соединений труб с трубными решетками. Проведение ремонта заключается либо в полной замене пучка труб, либо нескольких оребренных труб с течью. Течь обнаруживается с помощью прессовочной камеры. При проведении прессовки, появление воды из трубы свидетельствует о дефекте трубы, а из зазора между трубой и гнездом – о дефекте развальцовочного соединения [69]. При ремонте также производится замена крепежных элементов, прокладок, восстановление крышек, трубных решеток и жалюзийных устройств.

После сборки теплообменная секция, как правило, испытывается на герметичность и прочность.

В табл. 4.1 приведены возможные неисправности и методы их устранения.

Причины неисправностей и методы их устранения

Причина неисправно-	Возможные неисправности	Методы устранения
1 Течь продукта во фланцевых и вальцовочных соединениях	1 Ослабление крепления фланцевого соединения. 2 Повреждение прокладок во фланцевых соединениях. 3 Нарушение герметичности вальцовочных соединений. 4 Нарушение целостности труб.	1 Подтянуть крепежные детали фланцевых соединений. 2 Заменить прокладки во фланцевых соединениях. 3 Подвальцевать трубы в трубной решетке. 4 Провести заглушку труб в соответствии с ГОСТом Р 51364-99 [12].
2 Повышенная вибрация вентилятора	1 Плохо отбалансирован вентилятор. 2 Ослабло крепление лопастей. 3 Разные значения угла установки лопастей вентилятора. 4 Ослабление крепежных болтов и другого крепления на приводе.	1 Устранить дисбаланс в соответствии с ГОСТом Р 51364-99 [12]. 2 Подтянуть гайки крепления. 3 Установить все лопасти на необходимый одинаковый угол. 4 Подтянуть все болты.
3 Потребляемая мощность выше номинальной мощности электродвигателя	1 Отложения на наружной поверхности оребренных труб. 2 Увеличение угла установки лопасти от установленного. 3 Заедание, выработка рабочей поверхности подшипника.	1 Поверхность оребренных труб очистить продувкой паром или сжатым воздухом. 2 Изменить угол установки лопастей вентилятора в меньшую сторону. 3 Заменить подшипники.
4 Пропуск рабочей среды из трубного пространства	1 Нарушение плотности крепления теплообменных труб в трубных решетках.	1 Остановить аппарат. 2 Сбросить давление. 3 Подвальцевать трубы. 4 При необходимости заглушить трубы.

Монтажно-демонтажные мероприятия по снятию и установке теплообменных секций АВО, электродвигателей, редукторов, вентиляторов, диффузоров и др. оборудования являются достаточно трудоемкими работами. Некоторые демонтажные работы показаны на рис. 4.1.

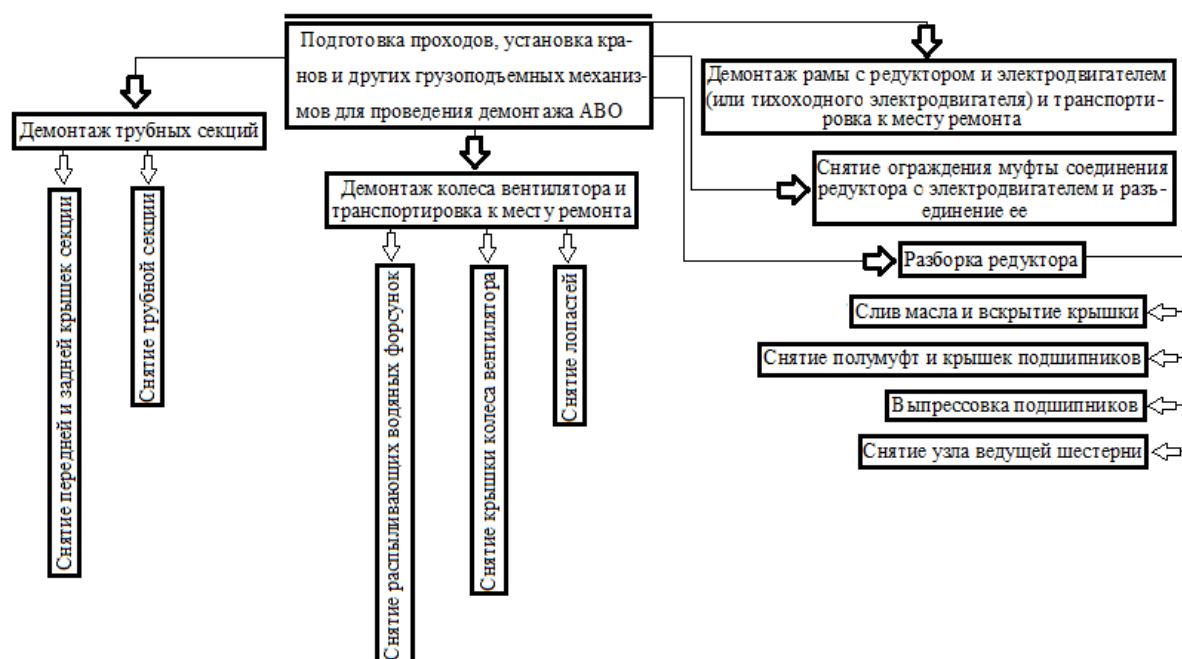


Рис. 4.1. Демонтажные работы составных частей АВО.

В перечень видов технического обслуживания стадии охлаждения (конденсации) АВО входит: технический осмотр, текущий ремонт и капитальный ремонт.

Технический осмотр включает:

- проверку уровня масла в редукторе (при наличии редуктора);
- проверку смазки на подшипниках редуктора (при наличии редуктора);
- продувку паром оребренных труб секций, удаление загрязнений на теплообменной поверхности (проводится в летнее время);
- проверку состояния защитной сетки вентилятора;
- удаление масла с фундаментов аппарата;
- проверку зазоров между коллектором и вентилятором;
- осмотр лопастей вентилятора в целях обнаружения возможных трещин в металле или сварных швах;
- проверку работы вентилятора и редуктора на наличие посторонних стуков или ударов;
- проверку состояния и натяжения приводных ремней, соосность шкивов (при наличии ременной передачи);

- проверку состояния жалюзи и его привода (при наличии жалюзи);
- проверку электропроводки и заземления АВО;
- проверку потребляемой мощности электродвигателя;
- при необходимости вывернуть форсунки из узла увлажнения воздуха и прочистить их (при наличии увлажнителя воздуха).

В **текущий ремонт** входит состав работ, перечисленный в техническом осмотре, а также:

- проверка креплений всех резьбовых соединений АВО;
- осмотр лопастей вентилятора в целях обнаружения возможных дефектов, для лопастей изготовленных из металла при необходимости провести контроль неразрушающим методом (цветная дефектоскопия);
- проверка и регулировка затяжки подшипников ведущей шестерни (при наличии редуктора);
- проверка состояния зубчатого зацепления редуктора (при наличии редуктора);
- замер зазора в зацеплении конической пары редуктора по оттиску и проверка правильности зацепления (при наличии редуктора);
- замена масла в редукторе (при наличии редуктора);
- проверка центрирования двигателя и редуктора (при наличии редуктора);
- обкатка в течение 2-х часов.

Капитальный ремонт включает состав работ текущего ремонта, кроме этого, могут проводиться следующие операции:

- снятие колеса вентилятора;
- разъединение полумуфты и снятие редуктора (при наличии редуктора);
- разборка редуктора (при наличии редуктора);
- проверка зубчатой пары редуктора и при необходимости ее замена (при наличии редуктора);

- проверка состояния подшипников и сальниковых манжет редуктора, а также упругих втулок муфты (при наличии редуктора);
- проверка состояния узла увлажнения, возможна замена отдельных форсунок (при наличии увлажнителя воздуха);
- установка редуктора, проведение центровки валов редуктора и электродвигателя (при наличии редуктора);
- очистка труб секций АВО, ремонт или замена трубных секций;
- проведение испытаний теплообменных секций пробным давлением, указанным в паспорте.
- проверка сварных соединений металлоконструкций, диффузора и коллектора;
- проверка состояния анкерных болтов и фундаментов;
- проверка состояния окрашенных поверхностей;
- проверка работы приводов жалюзи (при наличии жалюзи);
- обкатка АВО в течение 8 часов, при установке угла лопастей вентилятора 10° и увеличивая его через каждые 2 часа равными частями до максимума.

При пуске и остановке АВО в зимнее время необходимо руководствоваться «Регламентом проведения в зимнее время пуска, остановки и испытаний на герметичность аппаратов воздушного охлаждения», составленным в соответствии с ГОСТом Р 52630-2006 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия».

Перед пуском АВО необходимо проверить надежность заземления аппарата и электродвигателя, надежность крепления лопастей вентилятора, стяжек коллектора, крепление поворотного сектора коллектора вентилятора, уровень масла в редукторе, ограждения вентилятора, муфты редукторного привода (при наличии его в аппарате) или клиноременной передачи (при наличии ее в аппарате). В зимнее время лопасти вентилятора очищаются от обледенения.

Перед пуском АВО должна быть проведена динамическая балансировка вентилятора в сборе с электродвигателем.

После ремонта колеса или замены его сборочных единиц потребителем должна быть произведена статическая балансировка колес вентиляторов по ГОСТу 31350-2007 «Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки» с последующей динамической балансировкой колеса в сборе с электродвигателем.

Должны быть соблюдены все правила безопасности, установленные для отдельных видов работ, а также общие правила безопасности и противопожарные требования, действующие на предприятии, эксплуатирующем аппарат.

При монтаже отдельных сборок и деталей аппарата должны быть соблюдены все правила проведения такелажных работ. Строповку АВО следует проводить по документации предприятия-изготовителя.

АВО предназначены для работы с дистанционным управлением. Постоянные рабочие места в зоне повышенного шума (свыше 80 дБА) не допускаются. Зона обслуживания аппарата должна быть обозначена знаками безопасности по ГОСТу 12.4.026-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний». Суммарную длительность пребывания обслуживающего персонала и средства индивидуальной защиты работающих в зоне повышенного (свыше 80 дБА) шума определяет предприятие, применяющее теплообменники (ВО), в соответствии с требованиями ГОСТа 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности».

При регулировке угла поворота лопастей вентилятора вручную, проведении монтажных, ремонтных, а также других работ, при выполнении ко-

торых вентилятор АВО должен быть остановлен, привод вентилятора должен быть отключен от сети, и включение электродвигателя должно быть исключено.

При монтаже, эксплуатации и ремонте не допускается применять электрические инструменты и переносные лампы напряжением более 36 В. Все электрические провода должны быть проложены в стальных трубах или металлорукавах.

При остановке аппарата в зимнее время должны быть приняты меры для предотвращения замерзания жидких продуктов в трубном пространстве теплообменных секций и змеевика подогревателя воздуха.

Для эффективной работы АВО необходимо проводить очистку наружной поверхности теплообменных секций и внутренней поверхности труб (при необходимости).

В зависимости от вида и состава образующихся отложений внутри труб и на наружной поверхности секций конкретного типа и модели АВО разрабатывается комплексная система очистки. Перед проведением работ по очистке от загрязнений АВО отключают от системы электропитания, проводится остановка работы вентиляторов, и подготавливаются необходимые приспособления и оборудование, а также специальные моющие растворы.

Внутреннюю чистку труб выполняют механическим способом, физико-химическими методами – промывкой водой или растворителями; продувкой сжатым воздухом или химическими реагентами, методом комплектной системы пневматической очистки (КСПО) с помощью пыжа, изготовленного из шнурового сплошного вспененного полиэтилена [70].

Наружные поверхности оребренных труб очищают струей сжатого воздуха, пара, воды или воды в смеси с мелким песком. Так, например, разработанная АО «Турботект Санкт-Петербург» система наружной промывки АВО газа [71] состоит из:

- устройства наружной промывки (УНП) для подготовки и подачи моющего раствора и воды;
- передвижного (рис. 4.2) или стационарного коллектора с форсунками для непосредственной подачи рабочей жидкости на поверхность теплообменных трубок;
- системы сбора использованной жидкости.



а



б

Рис. 4.2. Наружная очистка теплообменных секций с помощью передвижного коллектора: *а* – 1-я стадия: нанесение моющего раствора; *б* – 2-я стадия: промывка водой [71].

После проведения мероприятий по очистке и ремонту повышается теплопроводная эффективность АВО, технические характеристики аппарата при этом должны соответствовать уровню нового оборудования.

ГЛАВА 5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В настоящее время разработаны современные программы для расчета АВО: программа HTFS выполняет тепловой, гидравлический и аэродинамический расчеты (Acol и Aerotran), HEXTRAN – программа строгого моделирования процесса теплообмена, программные продукты компании Aspen Tech обеспечивают комплексный расчет теплообменников.

Методики расчета аппаратов воздушного охлаждения представлены в работах [72–79]. При расчете АВО необходимо учитывать агрегатное состояние технологического потока, проходящего по оребренным трубам через теплообменные секции, рабочие условия проведения процесса, корректно выбирать температуру воздуха на входе в аппарат и выходе из него в соответствии с требованиями [12].

Выбор конструкции АВО зависит от области их применения и осуществляется в зависимости от рассчитанной поверхности теплообмена и габаритных размеров по каталогам предприятий-производителей оборудования [2–11].

5.1 Методика расчета АВО газа

Целью расчета АВО газа является определение температуры охлаждения газа $T_{OХЛ}$ и определение мощности, потребляемой вентиляторами, при известных технических характеристиках теплообменного аппарата [2–11] и заданных на входе в аппарат: температурах газового потока T_{BX} и воздуха T_B и давлении газа P_{BX} и воздуха $P_{БАР}$.

Необходимый тепловой поток, передаваемый в АВО, определяется по формуле (5.1)

$$Q_T = q_T \cdot S_T \cdot n_C, \quad (5.1)$$

где q_T – плотность теплового потока, Вт/м²;

S_T – площадь поверхности охлаждения одной секции теплообменного аппарата, вычисляемая в результате геометрического расчета АВО, м²;

n_C – число секций одного АВО.

Плотность теплового потока рассчитывается по формуле (5.2)

$$q_T = K_{ABO} \cdot \theta_{CP}, \quad (5.2)$$

где K_{ABO} – коэффициент теплопередачи с учетом тепловых сопротивлений внутреннего и наружного загрязнений труб r_{3BH} и r_{3H} , отнесенный к полной поверхности оребренных труб, Вт/м²·К находится по формуле (5.3)

$$K_{ABO} = \frac{1}{\left(\frac{\beta}{\alpha_{BH}} + \frac{1}{\alpha_{ПП}} + \beta \cdot r_{3BH} + r_{3H} \right)}, \quad (5.3)$$

где α_{BH} – коэффициент теплоотдачи со стороны газа, Вт/м²·К;

$\alpha_{ПП}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, Вт/м²·К;

β – отношение полной поверхности трубы с ребрами S к ее внутренней поверхности S_B ;

$$\theta_{CP} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \cdot \varepsilon, \quad (5.4)$$

где θ_1 и θ_2 – расчетные разности температур теплоносителей (газа и воздуха соответственно), равные

$$\theta_1 = T_{BX} - T_{BB},$$

$$\theta_2 = T_{OХЛ} - T_B,$$

где T_{BB} – температура воздуха на выходе из АВО, К;

ε – поправочный коэффициент, учитывающий схему движения теплоносителей и зависящий от их температур на входе и выходе АВО.

Составляется тепловой баланс теплообменного аппарата

$$Q_T = \rho_{\Gamma} \cdot Q \cdot c_{p_{\Gamma}} (T_{BX} - T_{OXЛ}) = n_B \cdot G_B \cdot c_{p_B} \cdot (T_{BB} - T_B), \quad (5.5)$$

где Q – объемный расход газа через один АВО при стандартных условиях, м³/с;

ρ_{Γ} – плотность газа при стандартных условиях, кг/м³;

G_B – производительность по воздуху, кг/с;

$c_{p_{\Gamma}}$ и c_{p_B} – удельная теплоемкость газа и воздуха соответственно, Дж/кг·К.

Температура газа $T_{OXЛ}$ и воздуха T_{BB} на выходе из АВО являются искомыми параметрами, поэтому задача по их определению решается методом последовательных приближений. Вначале задается в первом приближении вероятное значение только одной температуры, например $T_{OXЛ}$, а вторая искомая температура T_{BB} находится из уравнения теплового баланса.

5.1.1. Исходные данные для расчета

В табл. 5.1 представлены необходимые исходные данные для расчёта.

Таблица 5.1

Исходные данные для расчёта АВО

Технологические параметры	Обозначение	Размерность
1	2	3
1. Объемный расход газа через один АВО при стандартных условиях	Q	м ³ /с
2. Плотность газа при стандартных условиях	ρ_{Γ}	кг/м ³
3. Избыточное давление газа на входе в АВО	P_{BX}	МПа
4. Температура газа на входе в АВО	T_{BX}	К
5. Удельная теплоёмкость газа	C_p	Дж/кг·К
6. Индекс сжимаемости газа	Z	
7. Динамическая вязкость газа	μ_{Γ}	Па/с
8. Теплопроводность газа	λ_{Γ}	Вт/м·К
9. Относительная плотность газа по воздуху	Δ	–
10. Температура атмосферного воздуха	T_B	К

11. Барометрическое давление воздуха	$P_{БАР}$	МПа
--------------------------------------	-----------	-----

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3
12. Удельная теплоёмкость воздуха	C_{PB}	Дж/кг·К
13. Динамическая вязкость воздуха	μ_B	Па·с
14. Теплопроводность воздуха	λ_B	Вт/м·К
15. Число вентиляторов одного АВО	$n_{ВЕНТ}$	
16. Производительность по воздуху одного вентилятора	G_B	кг/с
17. КПД вентилятора	η_B	паспортные данные
18. Номинальная мощность электродвигателя вентилятора	N_H	кВт
19. Число секций одного АВО	n_C	
20. Число труб в каждой секции	n_{TPC}	
21. Число труб в одном ряду секции	n_{TP}	
22. Число рядов труб в секции	R	
23. Полная длина трубы, обдуваемая воздухом	l	м
24. Расстояние вдоль трубы между крайними рёбрами по их основанию	l_P	м
25. Шаг между осями 2-х соседних труб в горизонтальной плоскости	l_I	м
26. Диаметр труб по основанию ребер	d_H	м
27. Диаметр труб по высоте ребер	D_H	м
28. Внутренний диаметр труб	d_{BH}	м
29. Высота ребер	h	м
30. Шаг между ребрами	l_{MP}	м
31. Площадь поперечного сечения ребра	S_P	м ²
32. Толщина ребра у основания на высоте h	$\delta_{ОСН}$	м
33. Теплопроводность материала ребра	λ_P	Вт/м·К
34. Тепловые сопротивления загрязнений труб: - внутри; - снаружи	$r_{ЗВН}$ $r_{ЗН}$	м ² ·К/Вт м ² ·К/Вт

5.1.2. Последовательность расчета АВО

При расчёте АВО определяются следующие параметры:

1. Площадь полного горизонтального сечения по осям труб одного ряда труб секции АВО по уравнению (5.6)

$$S_{\Gamma} = l \cdot [l_1 \cdot (n_{TP} - 1) + D_H]. \quad (5.6)$$

2. Площадь узкого сечения одного ряда труб секции АВО по уравнению (5.7)

$$S_Y = S_{\Gamma} - l \cdot d_H \cdot n_{TP} - 2 \cdot S_P \cdot n_{TP} \cdot n_P, \quad (5.7)$$

где n_P – число ребер,

$$n_P = \frac{l_P}{l_{MP}} + 1.$$

3. Площадь боковой поверхности ребер по уравнению (5.8)

$$S_{BP} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - d_H^2) \cdot n_P. \quad (5.8)$$

4. Площадь поверхности торцов ребер по уравнению (5.9)

$$S_{TP} = \pi \cdot D_H \cdot \delta_h \cdot n_P. \quad (5.9)$$

5. Полная площадь поверхности ребер по уравнению (5.10)

$$S_{PP} = S_{BP} + S_{TP}. \quad (5.10)$$

6. Площадь промежутков между ребер по уравнению (5.11)

$$S_{ПРОМ.} = (l_{MP.} - \delta_{ОСН.}) \cdot \frac{l_P}{l_{MP.}} \cdot \pi \cdot d_{H.}. \quad (5.11)$$

7. Площадь оребренной поверхности трубы по уравнению (5.12)

$$S = S_{PP} + S_{ПРОМ.}. \quad (5.12)$$

8. Площадь наружной поверхности трубы у основания ребер

$$S_H = \pi \cdot d_H \cdot l. \quad (5.13)$$

9. Площадь внутренней поверхности трубы по уравнению (5.14)

$$S_B = \pi \cdot d_{BH} \cdot l. \quad (5.14)$$

10. Поверхность охлаждения одной секции теплообменника

$$S_T = [S + \pi \cdot d_H \cdot (l - l_P)] \cdot n_{TPC}. \quad (5.15)$$

11. В первом приближении задается температура охлаждения газа в теплообменник ВО на 10–15 К выше температуры воздуха на входе

$$T_{OХЛ} = T_B + (10 \div 15). \quad (5.16)$$

12. Средняя температура газа в теплообменник ВО

$$T_{CP_{\Gamma}} = \frac{T_{BX} + T_{OХЛ}}{2}. \quad (5.17)$$

13. Скорость газа в трубах по уравнению (5.18)

$$W_{\Gamma} = Q_{\Gamma} / \left(\frac{\pi}{4} d_{BH}^2 \cdot n_C \cdot n_{TPC} \right), \quad (5.18)$$

где $Q_{\Gamma} = Q \cdot \frac{z T_{BX} R_{BO3} \rho_{BO3}}{P_{BX}}.$

14. Определяется средняя плотность газа по уравнению (5.19)

$$\rho_{CP_{\Gamma}} = \frac{\Delta \cdot P_{BX}}{(Z \cdot T_{CP_{\Gamma}} \cdot R_{BO3})}. \quad (5.19)$$

15. Число Рейнольдса для газа

$$Re_{\Gamma} = \frac{\rho_{CP_{\Gamma}} \cdot d_{BH} \cdot W_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}. \quad (5.20)$$

16. Критерий Прандтля для газа

$$Pr_{\Gamma} = \frac{c_{P_{\Gamma}} \cdot \mu_{\Gamma}}{\lambda_{\Gamma}}. \quad (5.21)$$

17. Коэффициент теплоотдачи со стороны газового потока

$$\alpha_{BH} = 0,023 \cdot Re_{\Gamma}^{0,8} \cdot Pr_{\Gamma}^{0,4} \cdot \frac{\lambda_{\Gamma}}{d_{BH}}. \quad (5.22)$$

18. Количество тепла, , передаваемого в теплообменник ВО

$$Q_T = \rho_{\Gamma} \cdot Q \cdot c_{P_{\Gamma}} (T_{BX} - T_{OХЛ}). \quad (5.23)$$

19. Средняя температура воздуха на выходе из АВО

$$T_{BB} = T_B + \frac{Q_T}{G_B \cdot c_{P_B} \cdot n_B}. \quad (5.24)$$

20. Средняя температура воздуха в секциях теплообменника ВО

$$T_{CP_B} = 0,5(T_B + T_{BB}). \quad (5.25)$$

21. Выбирается статическое давление вентилятора $P_{CT} = 50 \div 150$ Па.

22. Средняя плотность воздуха в секциях АВО при нижнем расположении вентиляторов и при верхнем расположении вентилятора

$$\rho_{CP_B} = \frac{(P_{БАР} + 0,5P_{CT})}{R_{ВОЗ} \cdot T_{CP_B}}, \quad (5.26)$$

23. Средняя скорость воздуха в узком сечении АВО

$$W_B = \frac{G_B \cdot n_B}{\rho_{CP_B} \cdot S_Y \cdot n_C}. \quad (5.27)$$

24. Коэффициент оребрения

$$K_{OP} = \frac{S}{S_H}. \quad (5.28)$$

25. Условный определяющий размер

$$l_Y = l_P \cdot (D_H^2 - d_H^2) \cdot \frac{\left[1 + \frac{\sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - d_H^2)}}{d_H} \right]}{2l \cdot R \cdot K_{OP} \cdot l_{MP}}. \quad (5.29)$$

26. Число Рейнольдса по условному определяющему размеру

$$Re = \frac{\rho_{CP_B} \cdot W_B \cdot l_Y}{\mu_B}. \quad (5.30)$$

27. Эквивалентный диаметр сжатого поперечного сечения пучка труб

$$d_{\varnothing} = \frac{2 \cdot [l_{MP} \cdot (l_1 - d_H) - h \cdot (\delta_{OCH} + \delta_h)]}{2h + l_{MP}}. \quad (5.31)$$

28. Коэффициент формы при шахматном размещении труб

$$C_S = 5,4 \left(\frac{l_Y}{d_{\varnothing}} \right)^{0,3}. \quad (5.32)$$

29. Коэффициент гидравлического сопротивления пучка труб с шахматным расположением труб

$$\xi = R \cdot c_S \cdot c_R \cdot Re^{-0,25} + \frac{2(T_{BB} - T_B)}{T_{CP_B}}, \quad (5.33)$$

где C_R – поправка на число труб для малорядных пучков ($R \leq 5$). При $R \geq 6$, $C_R = 1$.

30. Статистический напор вентилятора

$$P_{CT} = 0,5\xi \cdot \rho_{CP_B} \cdot W_B^2. \quad (5.34)$$

Полученное значение статического давления вентилятора надо сравнить со значением P_{CT} , принятым в пункте 21. При значительной разнице между этими значениями, надо увеличить предыдущее значение и повторить вычисления, начиная с пункта 22, до достижения заданной точности 5%.

31. Необходимо рассчитать критерий Прандтля для воздуха

$$Pr_B = \frac{c_{pв} \cdot \mu_B}{\lambda_B}. \quad (5.35)$$

32. Число Рейнольдса для воздуха

$$Re_B = \frac{\rho_{CP_B} \cdot W_B \cdot d_H}{\mu_B}. \quad (5.36)$$

33. Поправочный коэффициент для числа продольных рядов шахматных пучков труб с круглыми ребрами

$$K_R = 0,8937 \cdot R^{0,0457}. \quad (5.37)$$

34. Критерий Нуссельта

$$Nu_B = 0,23 \cdot K_R \cdot K_{OP}^{0,2} \cdot Re_B^{0,65} \cdot \left(\frac{d_H}{l_{MP}} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{l_{MP}} \right)^{-0,14}. \quad (5.38)$$

35. Конвективный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха

$$\alpha_K = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d_H}. \quad (5.39)$$

36. Безразмерная высота ребер

$$B_1 = \left(h + \frac{\delta_h + \delta_{OCH}}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{4\alpha_K}{\lambda_P(\delta_h + \delta_{OCH})}}, \quad (5.40)$$

$$B_2 = h \sqrt{\frac{4\alpha_K}{\lambda_P(\delta_h + \delta_{OCH})}}. \quad (5.41)$$

37. Безразмерный коэффициент

$$c = \frac{D_H}{d_H} . \quad (5.42)$$

38. Коэффициент эффективности круглых поперечных ребер прямоугольного сечения $E = f(B_1, C)$

$$E = 1,0965 - 0,2888 \cdot B_1 + 0,7131 \cdot 10^{-2} \cdot c - 0,1216 \cdot B_1 \cdot c + 0,01277 \cdot B_1^2 - \\ - 0,1521 \cdot 10^{-2} \cdot c^2 + 0,03417 \cdot c \cdot B_1^2 + 0,01173 \cdot B_1 \cdot c^2 - 0,3291 \cdot 10^{-2} \cdot (c \cdot B_1)^2 .$$

39. Поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения коэффициента теплоотдачи по поверхности ребра

$$\psi = 0,97 - 0,056 \cdot B_2 . \quad (5.43)$$

40. Приведенный коэффициент теплоотдачи составляет

$$\alpha_{PP} = \alpha_K \left[1 + \frac{S_{PP}(E \cdot \tau \cdot \psi - 1)}{S} \right] , \quad (5.44)$$

где τ – поправка на трапецевидное сечение ребер, равная 1 для прямоугольных ребер.

41. Отношение полной наружной поверхности трубы с ребрами к её внутренней поверхности рассчитывается по уравнению (5.45)

$$\beta = \frac{S}{S_B} . \quad (5.45)$$

42. Коэффициент теплопередачи с учётом загрязнений, отнесенный к полной поверхности оребренных труб рассчитывается как

$$K_{ABO} = \frac{1}{\frac{\beta}{\alpha_{BH}} + \frac{1}{\alpha_{PP}} + \beta \cdot r_{3_{BH}} + r_{3_H}} . \quad (5.3)$$

43. Поправочный коэффициент при однократном перекрестном ходе ε

$$\varepsilon = 0,9959 - 0,3359M \cdot N - 0,0259N \cdot M^2 + 0,6235M \cdot N^2 + 3,0054(M \cdot N)^2 - 0,4337N^2 \cdot M^3 - \\ - 9,6514M^2 \cdot N^3 + 0,5624(M \cdot N)^3 + 7,0741M^2 \cdot N^4 - 0,868M \cdot N^5 - 2,7969M \cdot N^6 .$$

где значения M и N рассчитываются

$$M = \frac{T_{BX} - T_{OXL}}{T_{BB} - T_B}, \quad N = \frac{T_{BB} - T_B}{T_{BX} - T_B}. \quad (5.46 \text{ а, б})$$

44. Средний температурный напор

$$\theta_{CP} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \cdot \varepsilon, \quad (5.4)$$

где $\theta_1 = T_{BX} - T_{BB}$, $\theta_2 = T_{OXL} - T_B$.

45. Плотность теплового потока

$$q_T = K_{ABO} \cdot \theta_{CP}. \quad (5.2)$$

46. Уточняется количество тепла, передаваемого в АВО

$$Q_T^1 = q_T S_T n_C. \quad (5.47)$$

47. Расчётная температура охлаждения газового потока

$$T_{OXL}^1 = T_{BX} - \frac{Q_T^1}{Q \cdot \rho_G \cdot c_{pG}}. \quad (5.48)$$

Это значение нужно сравнить с температурой T_{OXL} . При значительной разнице между ними принимается новое значение температуры охлаждения газа, равное, например, $T_{OXL} + 0,1(T_{OXL}^1 - T_{OXL})$, и расчёты повторяют, начиная с пункта 12. Процесс итерации заканчивают при достижении заданной точности, например $T_{OXL}^1 - T_{OXL} = 0,3$.

48. Расчётная поверхность теплообмена секции составляет

$$S_{PAC} = \frac{Q_T}{q_T \cdot n_C}. \quad (5.49)$$

По окончании расчётов это значение не должно значительно отличаться от S_T .

49. Плотность воздуха на выходе из теплообменника ВО определяется

$$\rho_{BB} = \frac{P_{БАР}}{T_{BB} \cdot R_{ВОЗ}}. \quad (5.50)$$

50. Динамический напор вентилятора:

- при нижнем расположении вентиляторов

$$P_{\text{дин}} = \frac{\left(\frac{G_B \cdot n_B}{S_y \cdot n_C} \right)^2}{2 \rho_{BB}}, \quad (5.51)$$

- при верхнем расположении вентиляторов

$$P_{\text{дин}} = \frac{\left(\frac{G_B}{\frac{\pi}{4} (D_K^2 - d_{BT}^2)} \right)^2}{\rho_{BB}}. \quad (5.52)$$

51. Мощность, потребляемая вентилятором, определяется как

$$N_B = \frac{G_B (P_{CT} + P_{\text{дин}})}{\rho_B \cdot \eta_B}, \quad (5.53)$$

где $\rho_B = \frac{P_{\text{БАР}}}{T_B \cdot R_{\text{ВОЗ}}}.$

В табл. 5.2 представлены ориентировочные значения коэффициентов теплопередачи в АВО на технологических установках.

Таблица 5.2

Ориентировочные значения коэффициентов теплопередачи для АВО [80]

Назначение и тип аппарата	кВт/(м ² ·К)	ккал/(м ² ·ч·°С)
Аппараты воздушного охлаждения (в расчете на оребренную поверхность):		
– при конденсации паров	23-35	20-30
– при охлаждении жидкости	15-25	12-20
– при охлаждении газа	10-15	8-12

Для заказа аппарата воздушного охлаждения определенной конструкции (АВГ, АВЗ и др.) заводу-производителю данного оборудования направляется опросный лист, пример которого представлен в табл. 1 (Прилож. 3) [81]. В табл. 2 (Прилож. 3) приведены сравнительные характеристики АВО для охлаждения газа [82].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Куринов, А. А. Снижение себестоимости очистки воды на водоподготовительных установках / А. А. Куринов, Р. В. Тарасов, Н. В. Шибитова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - № 4 (часть 2). - С. 304-305.
- 2 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.cnohim.com/catalog/apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya>.
- 3 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.oaobhm.ru/products/apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya>.
- 4 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vniineftemash.ru>.
- 5 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.himmash.net/ru>.
- 6 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://bmz.tatneft.ru>.
- 7 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://akmz.net/production/avo>.
- 8 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uralkmz.ru/kotelnое-oborudovanie>.
- 9 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://pkspecmash.ru/o-predpriyatii>.
- 10 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.kostroma-zavod.com>.
- 11 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://po-tzhm.ru/produkcija/apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya.html>.
- 12 ГОСТ Р 51364-99. Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия. - Введ. 01.01.2001. - М.: Госстандарт России, 1999. - 66 с. - (Государственный стандарт Российской Федерации).
- 13 Промышленное оборудование. Производственно-строительная компания «РИ-ВАЛ». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://adv-mad.ru/catalog/promyshlennое-oborudovanie>.
- 14 ГОСТ Р 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. - Введ. 06.09.2013. - М.: Стандартинформ, 2014. - 49 с. - (Национальный стандарт Российской Федерации).
- 15 ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента. - Введ. 01.07.1984. - Волгоград: ОАО ВНИИПТхимнефтеаппаратура, 1984. - 44 с. - (Отраслевой стандарт).
- 16 СТО 00220368-014-2009. Крепление труб в трубных решетках кожухотрубчатых теплообменных аппаратов и АВО. Общие технические требования. - Введ. 24.12.2008. - Волгоград: ОАО ВНИИПТхимнефтеаппаратура, 2009. - 53 с. - (Стандарт организации).
- 17 Виды и способы производства оребренных труб для теплообменников [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://trubsovet.ru/material/proiz-vodstvoorebrennyx-trub.html>.
- 18 Аппараты воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://specnhm.ru/products/apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya>.

19 ООО ИТЦ «НЕФТЕМАШ-ИНЖИНИРИНГ» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://itc-neftemash.ru/catalog/apparati--vozdushnogo-ohlazhdeni-ya.html>.

20 ГОСТ ISO 13706-2011. Аппараты с воздушным охлаждением. Общие технические требования. - Введ. 01.01.2013. - М.: Стандартиформ, 2013. - 101 с. - (Межгосударственный стандарт).

21 Оребренные трубы: применение, разновидности, производство [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://teplohimvrn.ru/orebrennaya-truba>.

22 ГОСТ 9.306-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. - Введ. 01.01.1987. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. - 17 с.

23 Пат. 2574146 РФ, МПК В 21 С 37/15. Способ и устройство для изготовления теплообменной трубы с КЛМ-ребрами / В. Б. Кунтыш, В. П. Мулин, Е. С. Санкович [и др.] ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 06.12.2012; опубл. 20.06.2014.

24 Пат. 9447 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F1/24, F 28 F9/00. Теплообменная труба / В. Б. Кунтыш, В. В. Дударев, А. Б. Сухотской, В. П. Мулин ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 03.01.2013; опубл. 30.08.2013.

25 Пат. 2838 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F 1/00. Теплообменная труба / В. Б. Кунтыш, Е. С. Санкович, В. П. Мулин [и др.] ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 08.02.2005; опубл. 13.01.2006.

26 Пат. 5047 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F 1/00. Теплообменная труба. / В. Б. Кунтыш, Е. С. Санкович, В. П. Мулин [и др.] ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 13.03.2008; опубл. 28.02.2009.

27 Пат. 8250 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F 1/00, F 25 D 7/00. Теплообменная труба / В. Б. Кунтыш, Е. С. Санкович, В. П. Мулин [и др.]; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 02.11.2011; опубл. 30.06.2012.

28 Пат. 4814 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F 1/00, F 25 D 7/00. Теплообменная ребристая труба / В. Б. Кунтыш, В. И. Володин, Е. С. Санкович [и др.] ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 17.04.2008; опубл. 30.10.2008.

29 Пат. 5457 Республика Беларусь (РБ), МПК F 28 F 1/00, F25D7/00. Теплообменная биметаллическая ребристая труба / В. Б. Кунтыш, Е. С. Санкович, В. П. Мулин [и др.] ; заявитель и патентообладатель: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»; заявл. 22.01.2009; опубл. 30.08.2009.

30 Акулов, К. А. Исследование игольчатооребранных теплообменных труб / К. А. Акулов // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института «Нефть и газ Западной Сибири» (г. Тюмень, 2013) : Отв. ред. О.А. Новоселов. - Тюмень: Изд-во: Тюменский индустриальный университет, 2013. - С. 97-101.

31 Кунтыш, В. Б. К задаче расчета вибрационной надежности пучков из биметаллических ребристых труб аппаратов воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш, А. Б. Сухотский // Вестник МАХ. - 2013. № 2. - С. 46-50.

32 ГОСТ 11442-90. Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия. - Введ. 01.01.1992. - М.: Издательство стандартов, 1990. - 19 с. (Дата актуализации: 01.01.2019).

- 33 ГОСТ 10616-2015. Вентиляторы радиальные и осевые. Размеры и параметры. - Введ. 25.05.2016. - М.: ФГУП Стандартиформ. 2016. - 27 с.
- 34 Электродвигатели серии ВАСО [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://electro.mashinform.ru/dvigateli-asinhronnyevzryvozaschishchennyeserii/jelektro-dvigateli-serii-vaso-obj3758.html>.
- 35 Электродвигатели ВАСО7 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.electrotermosvar.ru/attachments/article/97/product-vaso7.pdf>.
- 36 Двигатели асинхронные ВА, ВАБ, ВАК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.elec.ru/files/2011/03/28/DT502205021_RA.pdf.
- 37 Двигатели асинхронные типа АИМ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.elektromash-liv.ru/images/product/motor/aim/re_aim.pdf.
- 38 Технические характеристики двигателей типа АИМ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.res-elektro.ru/catalog/elektrodvigateli/vzryvozaschishchennye/aim/tab1>.
- 39 Экспертиза промышленной безопасности технических устройств [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://vrecvrn.ru/uslugi/ekspertiza-promyshlennoj-bezopasnosti-tekhnicheskikh-ustroystv-i-oborudovaniya.html>.
- 40 Производство вентиляторов для градирен и аппаратов воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ивк-сервис.пф/ru/catalog>.
- 41 Колеса вентиляторов с лопастями [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ивк-сервис.пф/ru/ooo-ivk-servis-izgotavlivaet/ventilyatory-rabochie-kolesa-i-lopasti-dlya-apparatov-vozdushnogo-okhlazhdeniya>.
- 42 ГОСТ Р 55026-2012. Проектирование вентиляторов для работы в потенциально взрывоопасных средах. - Введ. 01.07.2013. - М.: Стандартиформ. 2013. - 36 с. - (Национальный стандарт Российской Федерации).
- 43 Шибитова, Н. В. Совершенствование аппаратного оформления блока конденсации паров бензиновой фракции колонны К-2 / Н. В. Шибитова, М. С. Раздолгина, А. Н. Красников // Современные наукоёмкие технологии. - 2018. - № 12, ч. 2. - С. 382-386.
- 44 Раздолгина, М. С. Реконструкция системы охлаждения и конденсации бензиновой фракции колонны К-2 установки ЭЛОУ-АВТ / М. С. Раздолгина, Н. В. Шибитова, П. А. Жигунов // XIV межрегиональная научно-практическая конференция «Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии» (г. Волжский, 18 октября 2018 г.) : сб. докл. конф. / под ред. С. И. Благинина ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. - Волгоград ; Волжский, 2018. - С. 136-137.
- 45 ТУ 3612-127-00220302-2007. Аппараты воздушного охлаждения на условное давление до 16 МПа. - Введ. 01.07.2007. - Волгоград: ОАО ВНИИНЕФТЕМАШ. 2007. - 34 с.
- 46 ПБ 03-584-03. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных. Серия 03. Выпуск 2 / Колл. авт. - М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». 2009, - 104 с.
- 47 Торговый Дом Саратовского резервуарного завода [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://tdsarrz.ru/produktsiya/apparaty_vozdushnogo_okhlazhdeniya_avo/apparaty_vozdushnogo_okhlazhdeniya_malopotochnye_avm-g_i_avm-v.html.
- 48 ООО Промтехкомплект [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ptkvrn.ru/catalog/AVO/apparaty_vozdushnogo_okhlazhdeniya_zigzagobraznogo_tipa_avz_okp_36_1262.
- 49 ООО Борисоглебское машиностроение [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bormash.ru/catalog/maingroup/apparati-vozdushnogo-okhlazhdeniya-blochnomodul-nie.html>.

50 Компания СТИГМАШ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://stigmash.ru/catalog/otopitelnoe-oborudovanie/apparat-vozdushnogo-ohlazhdeniya-avo>.

51 ООО БорНефтеГазМаш [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://bngm.ru/catalog/apparaty-vozdushnogo-okhlazhdeniya.html>.

52 Пат. 2275570 Российская Федерация, МПК F 28 D 1/04. Теплообменник воздушного охлаждения / Е. А. Гриценко, Ю. П. Козьмин [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова.; заявл. 29.06.01; опубл. 27.04.06.

53 Пат. 2617668 Российская Федерация, МПК F28D1/00. Аппарат воздушного охлаждения газа / А. П. Черный, Е. С. Шишкин [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «Газпром трнсгаз Югорск»; заявл. 20.02.2016; опубл. 25.04.2017.

54 Пат. 167003 Российская Федерация, МПК F28B1/06. Аппарат воздушного охлаждения / О. О. Мильман, В. .Б. Петров; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбokon»; заявл. 24.02.2016; опубл. 20.12.2016.

55 Пат. 137602 Российская Федерация, МПК F25D17/06. Аппарат воздушного охлаждения с рециркуляцией воздуха. / С. П. Драник, В. Я. Иванов, Б. С. Палей, С. С. Толстов; заявитель и патентообладатель: С. П. Драник, В. Я. Иванов, Б. С. Палей, С. С. Толстов; заявл. 17.07.2013; опубл. 20.02.2014.

56 Пат. 154273 Российская Федерация, МПК F28D7/00. Устройство воздушного охлаждения / В. А. Маланичев, И. А. Никуленко, Н. Н. Семенюк, А. Т. Карлов, А. Н. Алов, В. А. Поярков; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество «ГИДРОАЭРОЦЕНТР»; заявл. 09.02.2015; опубл. 20.08.2015

57 Пат. 2415365 Российская Федерация, МПК F28D7/00. Аппарат воздушного охлаждения газа / В. Г. Пыхтеев, Н. Д. Федоренко, О. К. Оболенский, Л. В. Ткачуков, К. А. Сказыткин; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество "Объединенные газопромышленные технологии «Искра-Авигаз» (ЗАО «Искра-Авигаз»); заявл. 03.12.2009; опубл. 27.03.2011.

58 Пат. 170788 Российская Федерация, МПК F28D21/00. Аппарат воздушного охлаждения / О. О. Мильман, Л. А. Кузина, В. Б.Перов; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбokon»; заявл. 14.10.2016; опубл. 11.05.2017.

59 Пат. 2549059 Российская Федерация, МПК F24F. Аппарат воздушного охлаждения / Ю. Н. Лебедев; заявитель и патентообладатель: Ю. Н. Лебедев; заявл. 16.01.2014; опубл. 20.04.2015.

60 Кунтыш В.Б., Мулин В.П., Миннигалиев А.Ш. Исследование теплоотдачи, аэродинамического сопротивления и объемно-массовых характеристик шахматных труб со спиральными завальцованными ребрами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2005. №12. С. 12-15.

61 Абдеев Э.Р., Мицкевич П.В., Швецов М.В., Абдеев Р.Г., Кузнецов В.А. Исследование энергоэффективности различных компоновок трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения // Нефтегазовое дело. 2012. № 6. С. 404-418.

62 Халисмаев И. Х., Агзамов Ш. К., Наубеев Т. Х., Агзамов Ж. Ш., Сапашов И. Я., Абдикамалов Д. Х. Эффективность использования аппаратов воздушного охлаждения // International Scientific and Practical Conference. 2016. № 3(7). С. 47-52.

63 Акулов К.А., Голик В.В., Пономарёва Т.Г. Очистка аппаратов воздушного охлаждения газа // Фундаментальные исследования. 2015. № 12. С. 453-456.

64 Шарипов М.И., Абдеев Р.Г. Повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения нефтегазовой отрасли совершенствованием методов проектирования и изготовления // Вестник ОГУ. 2008. № 11. С. 132-135.

65 Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Халиуллин С.М. Исследование размещения вентиляторов в аппаратах воздушного охлаждения // Вестник технологического университета. 2017. Т.20, №10. С. 29-30.

66 Жигунов, П. А. Оптимизация режимов работы аппарата воздушного охлаждения / П. А. Жигунов // XXIII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 11-14 декабря 2018 г.) : тез. докл. / редкол.: А. В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; Комитет образования, науки и молодёжной политики Волгоградской обл., Совет ректоров вузов Волгоградской обл., Волгоградский гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2019. – С. 16-17.

67 Попов, И. А. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена : интенсификация теплообмена : монография / И. А. Попов, Х. М. Махьянов, В. М. Гуреев ; под ред. Ю. Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 560 с.

68 Положение о порядке безопасного проведения ремонтных работ на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих опасных производственных объектах (РД 09-250-98). Серия 09. Выпуск 29 / Колл.авт. - М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. - 28 с.

69 Особенности ремонта аппаратов воздушного охлаждения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://helpiks.org/3-3650.html>.

70 Вершинин, И. И. Новый метод очистки трубок теплообменников / Новости теплоснабжения №02, 2004 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.nts.ru>.

71 Системы наружной промывки АВО газа [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://turbotectspb.com/produktsiya/naruzhnaya-promyvki-avo-gaza>.

72 Крюков, Н. П. Аппараты воздушного охлаждения / Н.П.Крюков. - М.: Химия, 1983. - 168 с.

73 Кузнецов, А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. - Л.: Химия, 1974. - 344 с.

74 Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения / Под ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бесонного. - СПб.: Недра, 1996. - 510 с.

75 Сарданашвили, А. Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А. Г. Сарданашвили, А. И. Львова. - М.: Химия, 1980. - 256 с.

76 Марголин, Г. А. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения / Г. А. Марголин, В. Е. Вайсман. - М.: ВНИИНефтемаш, 1982. - 97 с.

77 Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химикотехнологического и природоохранного оборудования: справочник. В 3 т. Т.2 / А. С. Тимонин. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. - 1028 с.

78 Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии : учебник для вузов. / А. И. Скобло [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. - 677 с.

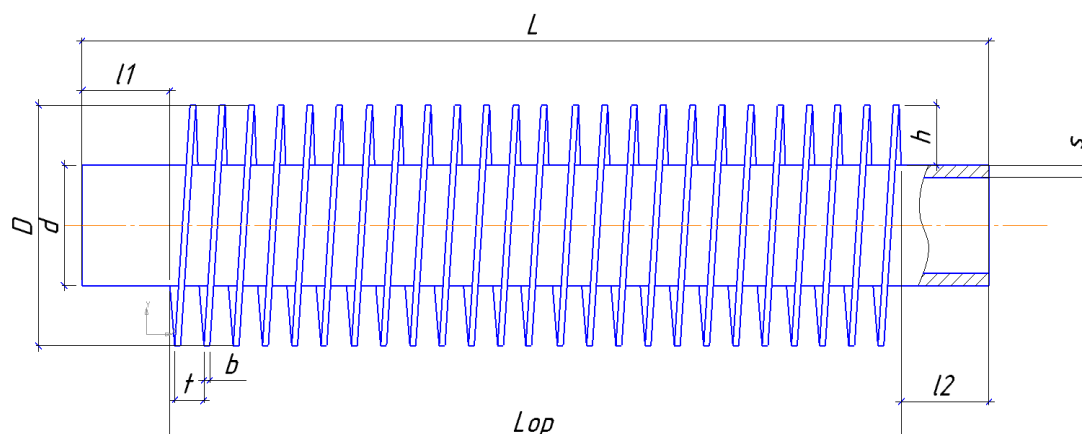
79 Сидягин, А. А. Расчёт и проектирование аппаратов воздушного охлаждения: учеб. пособие для студентов вузов / А. А. Сидягин, В. М. Косырев. - Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им.Р. Е. Алексеева, 2009. - 150 с.

80 Оборудование нефтеперерабатывающих заводов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://additive.spb.ru/heat_exchanges.html.

81 ООО «Костромское машиностроение» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.kostmash.ru.

82 ООО НПП «БАСЭТ» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://baset.ru/oborudovanie/izgotovlenie_oborudovaniya_dlya_neftepererabatyivayuschih_proizvodstv/apparaty_vozdushnogo_ohlajdeniya.

Опросный лист для оребрения трубы



Основные геометрические параметры оребрения труб		
Обозначение параметра	Наименование параметра	Значение
D	Диаметр оребрения, мм	
d внутренний диаметр	Диаметр несущей трубы, мм	
s	Толщина стенки несущей трубы, мм	
b	Толщина ребра (ленты), мм	
h	Ширина ребра (ленты), мм	
t	Шаг оребрения, мм	
L _{op}	Длина оребренной части трубы, мм	
l ₁	Концы трубы без ребер, мм	
l ₂		
L	Длина несущей трубы, мм	
Тип оребрения труб и материал исполнения		
Тип оребрения	Оребрение стальной лентой методом навивки с приваркой ТВЧ _____	Оребрение биметаллическое (алюминий, медь) методом накатки на стане ХПРТ_медь _____
Материал трубы несущей трубы, (ГОСТ, ТУ)		
Материал оребрения, (ГОСТ, ТУ)		

Количество	
------------	--

Приложение 2

Таблица 1

Техническая характеристика аппаратов АВГ, 2АВГ [5]

1. Количество теплообменных секций, шт.	3
2. Коэффициент оребрения	7,8
3. Поверхность теплообмена, м ²	890-3590
4. Условное давление, МПа (кгс/см ²)	0,6 (6); 1,6(16); 2,5 (25); 4,0 (40); 6,3 (63)
5. Температура рабочей среды, К (°С)	233 до 573 (минус 40 до плюс 300)
6. Число рядов труб в секции	4; 6; 8
7. Число ходов по трубному пространству	От 1 до 8
8. Длина труб, м	4,0; 8,0
9. Материальное исполнение секций	Б1, Б2
10. Диаметр вентилятора, м	2,8
11. Потребляемая мощность, кВт	22; 30
12. Серия электродвигателя	ВАСО 2-22-14 ВАСО 2-30-14
13. Количество приводов:	ВАСО5
– для 4 м	1
– для 8 м	2
14. Масса аппарата, не более, кг	32000

Таблица 2

Техническая характеристика аппаратов АВМ [5]

1. Коэффициент оребрения	9; 20
2. Условное давление, МПа (кгс/см ²)	0,6 (6); 1,6(16); 2,5 (25); 4,0 (40); 6,3 (63)
3. Количество теплообменных секций, шт.	1
4. Число рядов труб в секции	4; 6; 8
5. Число ходов по трубному пространству	1; 2; 3; 4; 6; 8
6. Длина труб, м	1,5; 3,0
7. Поверхность теплообмена, м ²	105-775
8. Диаметр вентилятора, м	0,8
9. Электродвигатель:	
– тип	АИМ100S4
– потребляемая мощность, кВт	3
– количество электродвигателей	1; 2
10. Материальное исполнение	углеродистая сталь, нержавеющая сталь
11. Габариты, мм:	
– для 4 м	4530x4700x4300
– для 8 м	4530x8700x4300

Таблица 3

Техническая характеристика аппаратов АВЗ и АВЗ-Д [5]

1. Коэффициент оребрения	9; 14,6; 20
2. Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	0,6 (6); 1,6(16); 2,5 (25); 4,0 (40); 6,3 (63)
3. Количество теплообменных секций, шт	6
4. Число рядов труб в секции	4; 6; 8
5. Число ходов по трубному пространству	1; 2; 2а; 4; 4а; 8
6. Длина труб, м	6,0
7. Поверхность теплообмена, м ²	2650 - 9250
8. Диаметр вентилятора, м	5,0
9. Электродвигатель:	
– тип	ВАСО4
– потребляемая мощность, кВт	37; 55; 75
– количество электродвигателей	1
10. Масса аппарата не более, кг	35300

Таблица 4

Техническая характеристика аппаратов БМР с внешней рециркуляцией [21]

Количество рядов	Коэффициент оребрения	Количество труб в аппарате, шт.	Поверхность теплообмена по оребрению, м ²			
			длина труб 4 м	длина труб 6 м	длина труб 8 м	длина труб 12 м
4	9	138	430	650	865	1300
	14,6	130	650	990	1320	1986
	20		830	1230	1675	2518
6	9	208	645	975	1300	1960
	14,6	195	980	1485	1980	2979
	20		1240	1885	2515	3777
8	9	276	855	1295	1730	2601
	14,6	260	1300	1980	2640	3972
	20		1650	2515	3355	5037

Таблица 5

Техническая характеристика аппарата АВОГ-1 [3]

1. Коэффициент оребрения	7,8
2. Условное давление, МПа (кгс/см ²)	0,09 (0,9)
3. Количество теплообменных секций, шт	6
4. Число рядов труб в секции	8
5. Число ходов по трубному пространству	1
6. Длина труб, м	6,0
7. Поверхность теплообмена, м ²	8020
8. Диаметр колеса вентилятора, м	5,0
9. Тип электродвигателя	ВАСО
10. Потребляемая мощность, кВт	75 (ВЗТ)

11. Количество электродвигателей	1
----------------------------------	---

Приложение 3

Таблица 1

Опросный лист для заказа АВО [81]

Исходные данные для расчета аппаратов воздушного охлаждения			
1.	Технологическая позиция		
2.	Наименование охлаждаемого (конденсируемого) продукта		
3.	Регион установки аппарата		
4.	Процесс (конденсация*, охлаждение)		
5.	Количество рабочей среды (жидкой) на входе	кг/ч	
6.	Количество пара (газа) на входе	кг/ч	
7.	Количество жидкости на выходе	кг/ч	
8.	Количество пара (газа) на выходе	кг/ч	
9.	Давление продукта рабочее	кгс/см ²	
10.	Температура (расчетная) окружающего воздуха	°С	
11.	Температура продукта на входе	°С	
12.	Температура продукта на выходе	°С	
13.	Температура начала конденсации	°С	
14.	Температура окончания конденсации	°С	
15.	Термическое сопротивление загрязнений со стороны продукта	(м ² ·ч·°С)/ккал	
16.	Термическое сопротивление загрязнений со стороны воздуха	(м ² ·ч·°С)/ккал	
17.	Допускаемое гидравлическое сопротивление	кгс/см ²	
18.	Требуемый запас поверхности	%	
19.	Тепловая нагрузка	ккал/ч	
20.	Свойства продукта при средней температуре потока и рабочем давлении:		
20.1	Плотность жидкости	кг/м ³	
20.2	Плотность пара (газа)	кг/м ³	
20.3	Теплопроводность жидкости	ккал/(м ² ·ч·°С)	
20.4	Теплопроводность пара (газа)	ккал/(м ² ·ч·°С)	
20.5	Теплоемкость жидкости	ккал/(кг·°С)	
20.6	Теплоемкость пара (газа)	ккал/(кг·°С)	
20.7	Кинематическая вязкость жидкости	м ² /сек	
20.8	Кинематическая вязкость пара (газа)	м ² /сек	
20.9	Скрытая теплота парообразования (при конденсации)	ккал/кг	
20.10	Состав продукта	%	
20.10.1	Первый компонент		
20.10.2	Второй компонент		

20.10.3	Третий компонент		
20.10.4	Четвертый компонент		
...	...		
20.10.n	n-компонент		
21.	Характеристика вентилятора (при реконструкции)		
21.1	Количество вентиляторов	шт.	
21.2	Мощность привода одного вентилятора	кВт	
21.3	Диаметр вентилятора	М	
21.4	Полный напор вентилятора	кгс/м ²	
21.5	Производительность одного вентилятора		
22.	Характеристика аппарата		
22.1	Наличие уклона труб (есть/нет)		
22.2	Наличие рециркуляции охлаждающего воздуха (есть/нет)		
22.3	Наличие подогревателя охлаждающего воздуха (есть/нет)		
22.4	Наличие внутренней трубы (есть/нет)		
22.5	Наличие жалюзи (есть/нет)		
22.6	Привод жалюзи (ручной, электро-, пневмо-)		
22.7	Наличие оцинкованной металлоконструкции (есть/нет)		
22.8	Наличие САУ АВО (есть/нет)		
22.9	Наличие тележки для монтажа-демонтажа электродвигателя (есть/нет)		
22.10	Наличие площадок обслуживания (есть/нет)		
22.11	Примерные габариты аппарата (блока аппаратов) в плане, ширина x длина x высота (если требуется)	м	
22.12	Минимальная расчетная температура воздуха для выбора материала	°С	
22.13	Сейсмичность	балл	
	* При конденсации требуется расход паровой и жидкой фазы продукта на входе и выходе из АВО, свойства паровой фазы при температуре входа в АВО и температуре конца конденсации и свойства жидкой фазы при температуре начала конденсации и температуре выхода из АВО		
	Ф.И.О. ответственного лица, заполнившего опросный лист:		
	Дата заполнения:		
	Печать:		

Таблица 2

Технические характеристики АВО для охлаждения газа [82]

Тип аппарата	АВГ-85МГ	2АВГ-75(100)	3АВГ-75(100)
Рабочее давление	7,5; 8,5:10,0	7,5(10)	7,5 (10)
Расход среды, кг/час	275000	225000	271075
Температура среды (газа), °С	Вход Выход (не выше)	60 плюс 40	70 плюс 45
Расчетная температура воздуха, °С	плюс 27	плюс 30	плюс 30
Поверхность теплообмена аппарата, м ²	9861	9930	12620
Гидравлическое сопротивление аппарата, кг/см ²	0,2	0,3	0,3
Количество секций, шт	2	2	3
Рядность, шт	6	6	8
Основная труба	25x1,5	25x2	25x2
Алюминиевое оребрение	да	да	да
Длина трубы, мм	12000	12000	12000
Количество труб, шт	498	528	596
Количество вентиляторов на 1 АВО, шт	6	2	2
Диаметр колеса, м	2,7	5,0	5,0
Число оборотов, 1/мин	470	250	250
Эл. мощность на 1 АВО, кВт	установленная потребляемая	37 x 2 = 74 34,7x2 = 69,4	37x2=74 34x2 = 68
Вес 1 АВО, кг	6,5x6 = 39 5,25x6 = 31,5 36000	41000	43000

Учебное издание

Наталия Валентиновна **Шибитова**
Николай Степанович **Шибитов**
Александр Борисович **Голованчиков**

АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Учебное пособие

Выпускающий редактор *В. В. Свитачева*

Темплан 2019 г. (учебники и учебные пособия). Поз. № 66.
Подписано в печать 17.12.2019 г. Формат 60×84 1/16. Бумага газетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 4,67.
Тираж 100 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.