

1. G.V. Ruslanov Heating and ventilation of residential and public buildings: Designing : spravochnik / G.V. Ruslanov, M.Y. Rozkin, E.L. Yampolsky. – K. : Budivelnyk, 1983. – 272 s.
2. Euroterm [electronic resource] - Mode of access to the resource: URL : <http://euro-term.com.ua/stats/vent>.
3. Encyclopedia TechTrend- technical definitions [electronic resource] - Mode of access to the resource: URL : <http://techtrend.com.ua>.
4. M.F. Bozhenko Energy efficiency in heating: navch. posib. / M.F. Bozhenko, V.P. Salo. – Kyiv : NTUU “KPI”, 2008. – 268 s.
5. L.D. Boguslavskiy Energy saving in heating, ventilation and air conditioning: sprav. Posob. / L.D. Boguslavsky, V.I. Livchyak, V.P. Titov i dr. – M.: Stroyizdat, 1990. – 624 s.
6. ISO-H B V.1.1-27: 2010. Protection against dangerous geological processes operating harmful effects of fire. Construction climatology. – effective from 2001-11-01. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 2011. – 123 s.

УДК 621.43.056:632.15

Д.С. Серета; М.Ф. Боженко канд. техн. наук, доцент
НТУУ «КПИ»

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Приведена методика сравнения по приведенным затратам пяти наиболее известных поставщиков на рынок Украины приточно-вытяжных камер местных систем механической вентиляции и местных автономных систем кондиционирования воздуха (сплит-систем). Получены графики зависимости приведенных затрат от воздухопроизводительности (для приточных камер) и холодопроизводительности (для сплит-систем кондиционирования воздуха).

Ключевые слова: вентиляция, приточная камера, кондиционирование, сплит-система, приведенные затраты.

Надійшла 25.11.2014
Received 25.11.2014

УДК 66.045.5

В.А. Рогачев, канд. техн. наук, доцент; А.В. Семеняко
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Р.А. Лазоренко; Р.Н. Серета; В.П. Парафейник, д-р техн. наук
ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе»

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА

Представлены результаты тепловых испытаний секции аппарата воздушного охлаждения, теплообменная поверхность которого состоит из шахматного пакета биметаллических ребристых труб. Изложена методика исследований, дано описание экспериментального стенда, приведены погрешности измерений. Подтверждены работоспособность испытательного стенда и достоверность экспериментальных данных, полученных на нем. Предложено использовать стенд для исследований аппаратов воздушного охлаждения с другими типами и профилями ребристых труб.

Ключевые слова: тепловые испытания, аппарат воздушного охлаждения, биметаллическая оребренная труба, теплообменная поверхность

Введение

В химических, нефтехимических и газовых производствах, как правило, применяют систему оборотного водоснабжения, для эксплуатации которой требуется мощное насосно-градирное оборудование (градирни с естественной и принудительной вентиляцией, отстойники, фильтры, разветвленная сеть трубопроводов). При существующей тенденции расширения производственных

мощностей действующих предприятий возникают серьезные трудности в обеспечении их охлаждающей водой. В связи с этим приобретают важное народнохозяйственное значение вопросы исследования новых способов и схем охлаждения, обеспечивающих эффективный отвод в окружающую среду теплоты технологических процессов. Одним из таких способов является воздушное охлаждение. Несмотря на то, что воздух по сравнению с водой является плохим теплоносителем, конструкции аппаратов воздушного охлаждения (АВО) позволяют эффективно применять их вместо дорогостоящих теплообменников с водяным охлаждением [1-3].

В результате применения воздушного охлаждения вновь проектируемые производства газовой промышленности можно размещать независимо от источников водоснабжения. Место строительства может быть максимально приближено к запасам сырья или районам потребления готовой продукции. Замена водяного охлаждения воздушным в действующих производствах дает возможность не только сократить потребление воды оборотного или прямого водоснабжения, но и снизить эксплуатационные затраты, связанные с ремонтом теплообменного оборудования и его обслуживанием.

Эксплуатационные показатели работы систем воздушного охлаждения с применением АВО во многом определяются температурой атмосферного воздуха и значительно улучшаются при ее снижении относительно расчетного значения. Следует подчеркнуть, что при отрицательных наружных температурах, до 30 % теплового потока может рассеиваться в результате естественной конвекции. Основной статьей расходов при эксплуатации АВО является стоимость потребляемой электроэнергии, особенно его вентилятором. Однако, используя эффективные поверхности АВО, интенсифицирующие теплообмен с окружающей средой за счет применения высокой степени их оребрения, а также используя эффективные методы регулирования АВО путем изменения угла поворота (атаки) лопастей, частоты вращения вентилятора и положения входных жалюзи, можно существенно снизить энергетические затраты в целом.

Наращивание мощностей в газовой промышленности в дальнейшем потребует не только совершенствования конструкций АВО, но и повышения объема и качества их изготовления, а также повышения требований к исследовательским и проектным работам, уровню организации эксплуатации и обслуживания. При реализации задач повышения эффективности (экономичности) и надежности АВО важное значение имеют их теплотехнические испытания, которые проводятся с целью проверки расчетных (гарантийных) показателей АВО.

Статья посвящена тепловым испытаниям секций АВО на заводском лабораторном стенде, выполненными сотрудниками НТУУ «КПИ» совместно с сотрудниками предприятия НПО им. М. В. Фрунзе (г. Сумы), в ней приведены методика экспериментальных исследований и опытные данные, выполнен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных характеристик АВО, разработаны рекомендации по дальнейшему усовершенствованию конструкции АВО.

Объект исследования

Объектом исследований являются трубчатые теплообменные поверхности (секции) аппарата воздушного охлаждения (АВО), отличающиеся шаговыми характеристиками пучков труб $S_1 \times S_2$. Общий вид АВО и его основные технические характеристики представлены на рис. 1.

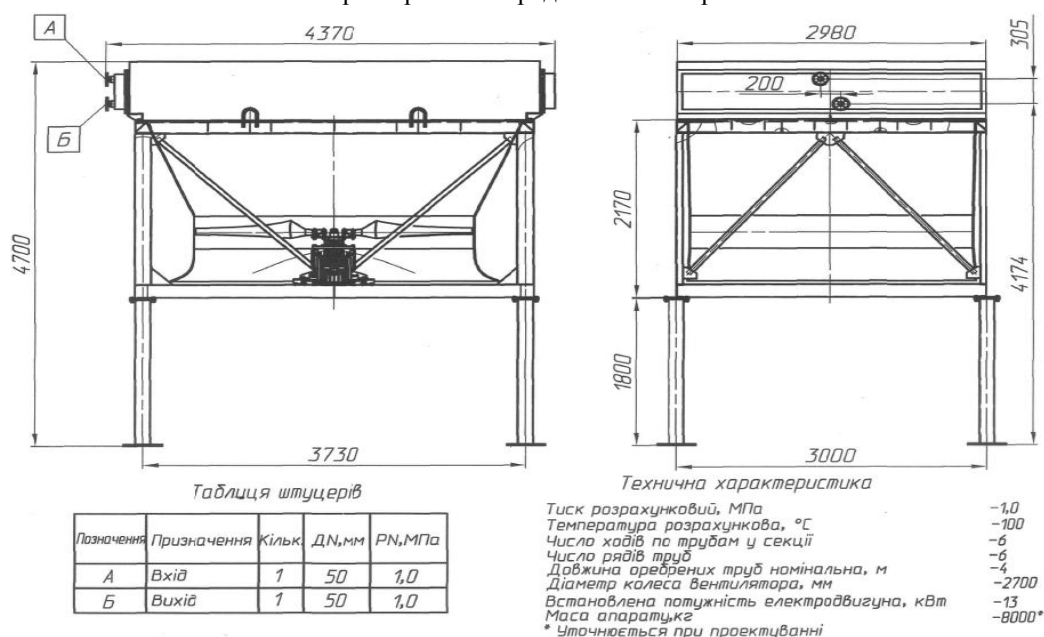


Рис. 1. Исследуемая секция АВО

Теплообменная поверхность АВО состоит из шестирядного шестиходового шахматного пучка биметаллических ребристых труб (БРТ), изготовленных методом поперечно винтовой накатки [2, 3] с коэффициентом оребрения $\psi=20$ и высотой алюминиевых ребер 14,5 мм. В таблице 1 даны основные геометрические характеристики испытуемых теплообменных секций АВО.

Таблица 1

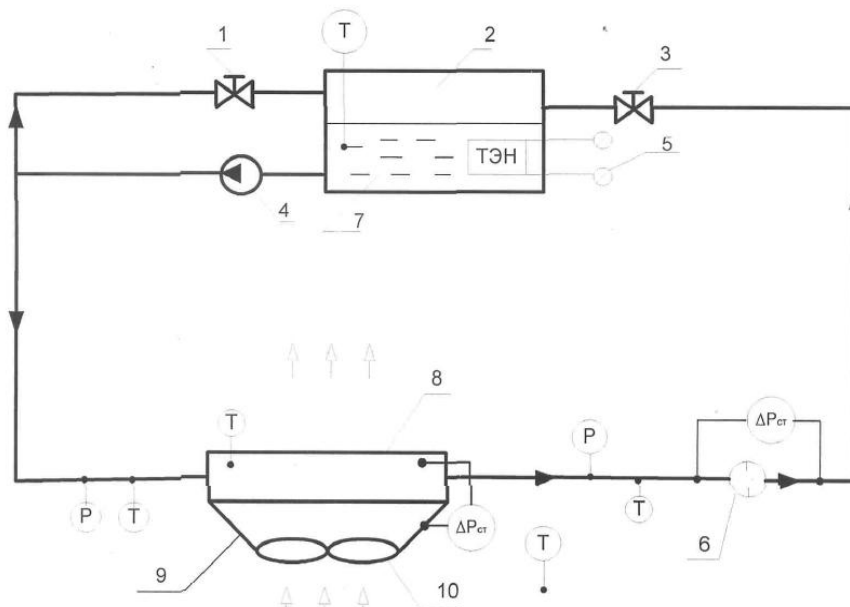
Характеристики исследуемых теплообменных поверхностей

Характеристика	Ед. измер.	Величина		
Габаритные размеры секции (длина × ширина)	мм	4000×3000		
Тип трубы		Биметаллическая		
Материал несущей трубы		Сталь 20		
Материал оребрения		Алюминий АД1		
Коэффициент оребрения в соответствии ГОСТ 26-02-537-79		20		
Параметры несущей трубы (диаметр × толщина)	мм	25×2		
Компоновка труб в секции		шахматная		
Шаг труб $S_1 \times S_2$ (поперечный × продольный)	мм	69×57,2	68×54	64×56
Количество труб в пучке	шт	249	252	261
Число рядов труб		6		
Число ходов по трубам		6		

Испытательный стенд и средства измерения.

Стенд для проведения экспериментальных исследований аппарата воздушного охлаждения состоит собственно из АВО, несущего каркаса, системы снабжения продуктом (в испытаниях использовалось трансформаторное масло), комплекса измерительных средств и приборов (рис.2).

АВО (рис. 2) включает в себя шахматную трубчато-оребрённую теплообменную поверхность (секцию) 8, направляющий пластиковый диффузор 9 и осевой вентилятор 10 с диаметром рабочего колеса 2700 мм. Принудительная циркуляция охлаждающего воздуха в АВО осуществляется с помощью осевого вентилятора ОВ-27, который приводится в движение электродвигателем мощностью $N_{об}=13$ кВт, направление обдува по отношению к поверхности происходит снизу вверх (нагнетательная схема). С целью плавной регулировки расходов воздуха через теплообменную поверхность в диапазоне 0 - 180000 м³/час предусмотрена установка на электродвигателе частотного преобразователя ALTIVAR.



- 1 – редукционный клапан; 2 – приемно-раздаточный бак; 3 – регулирующая задвижка;
 4 – насос; 5 – электронагревательный элемент; 6 – измерительная диафрагма; 7 – масло;
 8 – теплообменная поверхность; 9 – диффузор; 10 – осевой вентилятор

Рис. 2. Принципиальная схема стенда для испытания секции АВО

Система обеспечения АВО трансформаторным маслом представляет собой замкнутый контур, состоящий из теплоизолированного бака-емкости 2, заполненного маслом 7, с расположенными в нем электронагревательными элементами 5. Циркуляция теплоносителя обеспечивается с помощью электронасосного агрегата 4 производительностью 100 м³/час и давлением нагнетания 0,6 МПа. Для регулирования потока горячего теплоносителя, в циркуляционном контуре предусмотрена установка редуционного клапана 1 и регулирующей задвижки 3. Расход теплоносителя контролируется измерительной диафрагмой 6.

Испытательный стенд, оснащенный измерительными средствами и приборами, которые прошли метрологическую аттестацию, перечислены в таблице 2, здесь же указаны диапазоны и погрешности прямых измерений [4, 5].

Таблица 2

Измерительные приборы и устройства

Параметр	Величина	Погрешность измерения	Устройство или прибор
Температура масла перед и после АВО, °С	до 100	± 0,1 %	Термометр ТЛ4, цена деления 0,1 °С (0-150 °С)
Температура воздуха перед АВО, °С	18 – 30	± 0,1 %	Термопара NiCr-Ni, Technoterm 9503, кл. т. 0,5
Давление масла перед АВО, МПа	до 0,15	± 1,0 %	Манометр МП4-У, кл. т. 0,4, (0 - 0,4 МПа)
Перепад давления масла на измерительной диафрагме, кПа	до 40		Устройство расходомерное К.1496-05.00.00 (150мм/75мм), кл. т. 0,5
Скорость и температура воздуха после АВО	3 – 5 м/с до 60 °С	± 2,0 % ± 0,2 °С	Анемометр testo 416, пределы измерений: от 0,40 до 25 м/с. Термопара NiCr-Ni, Technoterm 9503, кл. т. 0,5
Размеры выходного окна АВО, мм	3000 – 4000	± 1,0 %	Рулетка, линейка с ценой деления 1 мм
Атмосферное давление воздуха, кПа	99 – 105	0,2 %	Барометр-анероид М67 с ценой деления 0,1 кПа
Аэродинамическое сопротивление, Па	до 200	0,2 %	Микроанометр ММН-2400(5)-1,0 ТУ 25-01-816-79

Методика проведения испытаний

Методика проведения теплотехнических испытаний отвечает требованиям ОСТ 26-03-2019-81, ГОСТ 15.001-73, ГОСТ 26548-85 (СТ СЭВ 4484-84). Все измерения выполняются при постоянном расходе теплоносителей на режиме близком к проектному. Отрезок времени (продолжительность одного опыта), в течение которого проводят все измерения и занесение параметров в протокол составляет около 60 минут. Отсчет по измерительным приборам проводят не ранее, чем через 15 минут после выхода АВО на установившийся режим работы. Режим считается установившимся, если отклонения от среднеарифметических значений измеряемых параметров не превышают погрешности измерительных приборов:

1. Для температур масла на входе и выходе АВО: ± 0,5 °С.
2. Для температур воздуха на входе и выходе АВО: ± 1,0 °С.
3. Расход масла через АВО: ± 2 %.
4. Расход воздуха через АВО: ± 5 %.
5. Перепад давлений по масляному тракту на входе и выходе АВО: ± 1 %.

Для измерения скоростей и температур охлаждающего воздуха в выходном сечении АВО, применяют комбинированный анемометр типа testo 416. Выходное «окно» АВО размером 3000×4000 мм разбивается на девять мерных сечений в виде прямоугольников со сторонами 1000×1330 мм. Измерительные точки расположены в центре прямоугольников на пересечении диагоналей, а их общее количество равно девяти [1]. Координаты точек измерений локальных скоростей и температур показаны на рис. 3.

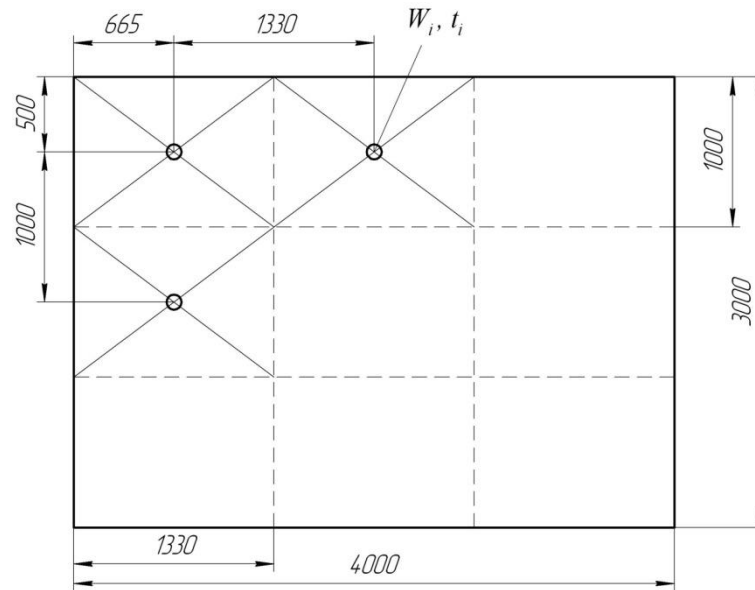


Рис. 3. Схема размещения точек измерений скоростей и температур в выходном сечении теплообменной секции АВО

Анемометр укрепляют на телескопической или разборной штанге и вводят в соответствующую точку измерения воздушного потока при работающем АВО. Максимальное отклонение координат точек измерений при внесении зонда в воздушный поток от указанных на рис. 3 не должно превышать $\pm 10\%$. Количество измерений в каждой точке должно быть не менее трех, а время фиксации показаний не менее 10 с. Средние значения скорости и температуры в выходном сечении АВО определяются путем осреднения по сечению их локальных значений (рис. 3).

Для определения аэродинамического сопротивления теплообменной секции ΔP в выходном сечении АВО устанавливается и закрепляется по периметру ограждение, выполненное из листовой стали высотой 350 мм. По его длинной (4000 мм) и короткой (3000 мм) сторонам на высоте 175 мм в центре устанавливаются по одному штуцеру для отбора статических давлений с внутренним диаметром 0,8 – 1,5 мм. Схема размещения отборов давлений приведена на рис. 4.

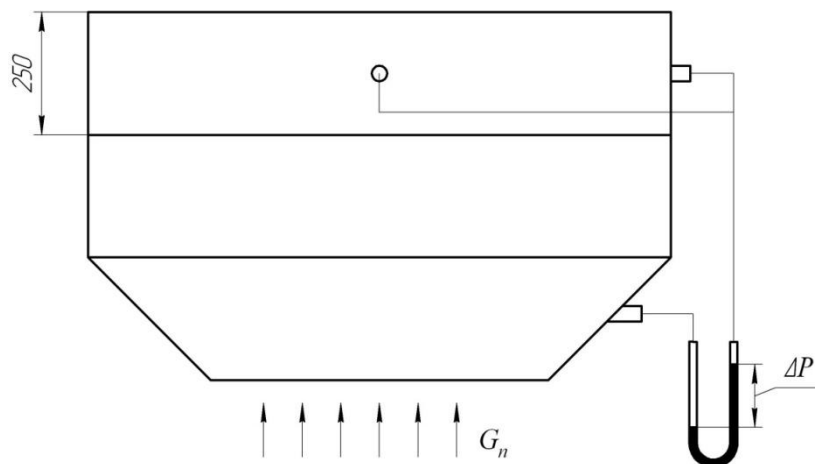


Рис. 4. Схема размещения отборов статических давлений до и после теплообменной секции АВО

Отборы давлений объединяются в одну линию и подключаются к одному из штуцеров микроманометра ММН-2400(5)-1,0. Перед входным сечением теплообменной секции устанавливается один штуцер с приемным отверстием статического давления, который подсоединяется к другому штуцеру микроманометра. Микроманометр фиксирует разницу (перепад) статических давлений до и после теплообменной секции ΔP .

Для получения теплотехнических характеристик теплообменной секции АВО проводятся следующие прямые измерения:

1. Температура масла на входе и выходе АВО t_1 и t_2 ;

2. Температура воздуха на входе АВО ϑ_1 ;
3. Расход масла через АВО D ;
4. Давления масла на входе и выходе АВО P'_m и P''_m ;
5. Средняя скорость воздуха на выходе из АВО w''_e ;
6. Средняя температура воздуха на выходе из АВО ϑ_2 ;
7. Атмосферное давление воздуха P_e ;
8. Аэродинамическое сопротивление воздушного тракта АВО ΔP .

Параметры косвенных измерений определяются по справочным таблицам или по формулам, приведенным в [6-8].

В процессе экспериментальных исследований АВО определяются: тепловая мощность Q в пределах изменения расхода масла $D = 14 - 15$ кг/с при температуре масла на входе $t_1 = 50 - 60$ °С, объемного расхода воздуха $V_e = (160 - 175) \cdot 10^3$ м³/час через АВО, гидравлическое и аэродинамическое сопротивления АВО.

Результаты теплоаэродинамических испытаний

В таблице 3 приведены средние значения экспериментальных данных по маслу (охлаждаемый теплоноситель) и по воздуху (нагреваемый теплоноситель), полученных по результатам исследований в различные календарные дни. Также приведены значения основных показателей секции АВО с $S_1 \times S_2 = 69 \times 57,2$ мм (249 труб), полученные в результате обработки экспериментальных данных по рекомендациям [6-8].

Выводы

По результатам испытаний теплообменной секции АВО на заводском лабораторном стенде можно сделать следующие выводы:

1. Тепловой баланс между теплопроизводительностями АВО, рассчитанными по стороне масла и воздуха сохраняется в течение всего времени испытаний. Величина дисбаланса (расхождение) между этими теплопроизводительностями находится в пределах погрешностей допустимых для теплотехнических экспериментов не более $\pm 7\%$.

2. Испытательный стенд, измерительные схемы, приборы и устройства работают нормально. Погрешности измеряемых величин находятся в диапазоне паспортных данных на приборы или средства измерений. Методические погрешности соответствуют требованиям, предъявляемым к подобным теплораспределительным испытаниям.

3. Испытательный стенд работоспособен, данные полученные на нем достоверны и не противоречат происходящим в нем теплофизическим процессам. В дальнейшем стенд можно использовать для испытаний других типоразмеров АВО с другими профилями оребренных труб.

Таблица 3

Результаты теплоаэродинамических испытаний секции АВО

Показатели	Значения		
	22.04.2014	23.04.2014	24.04.2014
1	2	3	4
Масло Т-1500			
Температура масла на входе в секцию t_1 , °С	58,0	57,2	56,7
Температура масла на выходе из секции t_2 , °С	45,25	44,75	44,51
Температура масла перед измерительной диафрагмой t_o , °С	45,0	44,5	44,2
Массовый расход масла через секцию D , кг/с	14,57	14,57	14,57
Объемный расход масла через секцию V_m , м ³ /с	60,62	60,61	60,6
Теплоемкость масла при средней его температуре в секции c_m , кДж/(кг·К) [6]	1,8556	1,8518	1,850
Плотность масла при его температуре перед измерительной диафрагмой ρ_o , кг/м ³ [6]	865,15	865,46	865,64
Тепловая нагрузка АВО (по маслу) Q_m , кВт	344,68	335,93	328,56
Гидравлическое сопротивление $\Delta P_m \cdot 10^{-5}$, Па	1,19	1,20	1,20

Воздух			
Средняя температура воздуха на входе в секцию $\vartheta_1, ^\circ\text{C}$	22,90	20,75	20,88
Средняя температура воздуха на выходе из секции $\vartheta_2, ^\circ\text{C}$	29,3	27,08	27,27
Средняя скорость воздуха на выходе из секции $W''_e, \text{ м/с}$	4,07	4,11	3,92
Барометрическое давление $P_e, \text{ мм рт. ст.}$	749	749	753
Массовый расход воздуха через секцию $G, \text{ кг/с}$	54,7	55,69	53,37
Объемный расход воздуха через секцию $V_e \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{час}$	169,4	171,2	163,35
Теплоемкость воздуха при средней его температуре в секции $c_e, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	1,005	1,005	1,005
Плотность воздуха при средней его температуре в секции $\rho_e, \text{ кг/м}^3$	1,162	1,17	1,18
Тепловая нагрузка АВО (по воздуху) $Q_e, \text{ кВт}$	353,6	354	343,2
Аэродинамическое сопротивление $\Delta P_e, \text{ Па}$	200	190	195
Расхождение между теплопроизводительностями по маслу и воздуху $\Delta Q, \%$	-2,45	-5,39	-4,47
Теплоотдающая поверхность $H, \text{ м}^2$	1680	1680	1680
Среднелогарифмический температурный напор $\Delta t, ^\circ\text{C}$	25,41	26,95	26,42
Коэффициент теплопередачи от масла к воздуху $K, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	8,71	8,23	8,14

Список литературы

1. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения. – М.: Химия, 1983. – 168 с.
2. Письменный Е.Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб / Е.Н. Письменный – Киев: Альтерпрес, 2004. – 244 с.
3. Письменный Е.Н. Расчет конвективных поперечно-оребранных поверхностей нагрева / Е.Н. Письменный – Киев: Альтерпрес. – 2003. – 184 с.
4. Новицкий П. В, Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с. : ил.
5. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
6. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: Учебник для вузов – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
7. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
8. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное. Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 256 с.

Rogachov V. A., Semenyako A.V.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
Lazorenko R.A., Sereda R.N., Parafeynyk V.P.
PJSC «Sumskoe NPO im. Frunze»

HEAT ENGINEERING TESTING OF AIR COOLING UNIT OF HORIZONTAL TYPE

The results of the thermal tests of the section of air cooler, the heat-exchange surface of which is made up of chess package of bimetal finned tubes are presented. The methods of research are presented, the experimental stand is described, the measurement errors are given. The efficiency of the experimental stand and the accuracy of the experimental data on it are confirmed. Proposed to use the stand for researches of air cooling units with other types and sections of finned tubes.

Keywords: heat test, air cooling unit, bimetal finned tube, heat-exchange surface

1. Kryukov N.P. Air cooling units. - М.: Chimiya, 1983. - 168.
2. Pismeniy E.N. Heat Transfer and Aerodynamics package cross-finned tubes / EN Writing - Kiev: Alterpres, 2004. - 244 p.
3. Pismeniy E.N. Calculation of convective cross-finned heating surfaces / Pismeniy E.N. - Kiev: Alterpres. - 2003. - 184 p.
4. Nowitski P.I., Zograph I.A. Estimation errors of measurement results. 2nd ed., Rev. and add. - L.: Energoatomizdat. Leningrad. Dep-of, 1991. - 304 p. : Ill.
5. Standard 8.207-76. State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct measurements with multiple observations. Methods of processing of the results of observations.
6. Isachenko V.P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Heat transfer: Textbook for universities - 4th ed., Rev. and add. - М.: Energoizdat, 1981. - 416 p.
7. Vargaftik N.B. Handbook on heat-transfer properties of gases and liquids. - М.: Nauka, 1972 - 720 p.
8. Thermal design of boiler (Standard method). 3rd edition, revised and enlarged. Publisher NGOs CKTI, St. Petersburg, 1998. - 256 p.

УДК 66.045.5

В.А. Рогачов, канд. техн. наук, доцент; **О.В. Семеняко**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Р.О. Лазоренко; Р.М. Серета; В.П. Парафейник, д-р техн. наук
ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе»

ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ АПАРАТУ ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ

Представлені результати теплових випробувань секції апарату повітряного охолодження, теплообмінна поверхня якого складається з шахового пакету біметалічних ребристих труб. Викладена методика досліджень, дано опис експериментального стенду, наведені похибки вимірювань. Підтверджені працездатність випробувального стенду та достовірність експериментальних даних, отриманих на ньому. Запропоновано використовувати стенд для досліджень апаратів повітряного охолодження з іншими типами та профілями ребристих труб.

Ключові слова: теплові випробування, апарат повітряного охолодження, біметалічна оребрена труба, теплообмінна поверхня

Надійшла 03.12.2014

Received 03.12.2014

УДК 614.8; 621.3

С.В. Казанський, канд. техн. наук, доцент; **В.В. Мальцев**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

3D-МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Розглянуто чинні вітчизняні та європейські нормативи з улаштування блискавкозахисту. Проведено порівняльний аналіз особливостей застосування програм автоматизованого проектування блискавкозахисту. Наведено послідовність 3D-моделювання систем блискавкозахисту об'єктів електричних мереж.

Мета дослідження: підвищення надійності експлуатації об'єктів електричних мереж за рахунок впровадження ефективних систем блискавкозахисту.

Методика реалізації: запровадження новітніх алгоритмів та програм автоматизованого 3D-моделювання систем блискавкозахисту об'єктів електричних мереж, зокрема знижувальних підстанцій.

Результати дослідження: проаналізовано основні положення чинних українських та європейських нормативів з улаштування блискавкозахисту; проведено порівняльний огляд сучасних систем автоматизованого проектування систем блискавкозахисту; досліджено перспективи впровадження 3D-моделювання систем блискавкозахисту об'єктів електричних мереж.

Висновки: показано, що впровадження сучасних алгоритмів та технологій 3D-моделювання