



УДК 66.045.129.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА КАПИТАЛЬНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CHANGES IN THE DESIGN CHARACTERISTICS OF AIR COOLERS ON CAPITAL AND OPERATING COSTS

Лесной Денис Вячеславович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
denislesnoy1992@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
churakovack@rambler.ru

Маннанов Тимур Ильнурович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Константинов Егор Константинович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
george.coin2@gmail.com

Муллабаев Камиль Азаматович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kamil200995@gmail.com

Аннотация. На основе расчета и подбора аппарата воздушно-го охлаждения на существующем производстве, рассмотрено влияние изменения основных геометрических параметров, определяющих конструктивное исполнение аппарата на энергопотребление электродвигателями, металлоёмкость и расчетный коэффициент теплопередачи.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, оребренные трубы, коэффициент теплопередачи, массогабаритные характеристики, энергопотребление.

Lesnoy Denis Vyacheslavovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
denislesnoy1992@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
churakovack@rambler.ru

Mannanov Timur Ilnurovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Konstantinov Egor Konstantinovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
george.coin2@gmail.com

Mullabaev Kamil Azamatovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kamil200995@gmail.com

Annotation. Based on the calculation and selection of the air cooler at existing manufacture, the influence of changes in the basic geometric parameters determining the design of the apparatus on the energy consumption of electric motors, metal consumption and the calculated heat transfer coefficient is considered.

Keywords: air cooler, energy consumption, finned tubes, heat transfer coefficient, metal consumption.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко применяются в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности с большими сроками эксплуатации [1].

Общий принцип действия АВО, основанный на использовании в качестве охлаждающей среды атмосферного воздуха, predetermined то, что основные конструктивные различия заключаются в способе пространственного расположения самой теплопередающей поверхности, а также по взаимному расположению теплопередающей поверхности и вентилятора, обеспечивающего перемещение охлаждающей среды.

Аппарат воздушного охлаждения состоит из двух основных частей: поверхности охлаждения и системы подачи воздуха, включающей привод. Кроме того, составными частями аппарата являются опорные конструкции, регулирующие и вспомогательные устройства.

По виду взаимного направления движения теплоносителей АВО классифицируются как перекрестноточные аппараты. Теплоносители движутся во взаимно перпендикулярных направлениях.



Охлаждающий воздух проходит однократно через пучок, а горячий технологический продукт движется внутри труб однократно или по многократной схеме. Путь, пройденный теплоносителем без изменения направления движения, называют ходом.

Движение воздуха относительно поверхности теплообмена аппарата принудительное. Однако при низких значениях температуры окружающего воздуха возможна эксплуатация аппаратов при естественной циркуляции.

Аппараты, отличающиеся по взаимному расположению теплообменной поверхности, бывают двух типов – нагнетательного и вытяжного. В аппаратах нагнетательного типа вентилятор расположен до теплообменной секции по ходу воздуха. В этом случае воздух перемещается через теплообменную секцию под действием напора, создаваемого вентилятором. В аппаратах вытяжного воздуха вентилятор расположен после теплообменной секции, а воздух перемещается за счет разряжения, создаваемого вентилятором [2].

Для увеличения внешней поверхности охлаждающих труб (и повышения коэффициента теплоотдачи методом накатки производят оребрение наружной поверхности труб (рис. 1). Площадь наружной поверхности увеличивается в 10–25 раз по сравнению с площадью их внутренней поверхности [3].

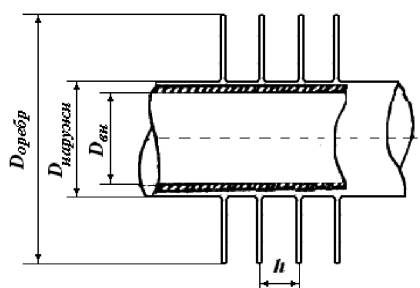


Рисунок 1 – Основные конструктивные размеры оребренных труб:
 $D_{вн}$ – внутренний диаметр труб; $D_{наружн}$ – наружный диаметр труб; $D_{оробр}$ – диаметр оребрения;
 h – шаг оребрения

В настоящее время очень актуальной является задача повышения эффективности аппаратов воздушного охлаждения. Поставленная задача решается как за счет уменьшения габаритов аппарата, так и за счет уменьшения потребления электроэнергии.

Уменьшение габаритов достигается за счет интенсификации теплообмена со стороны трубного и межтрубного пространства. В данном случае возможны следующие действия: увеличение числа ходов, уменьшение поперечного шага расположения труб, увеличение коэффициента оребрения труб.

Уменьшение потребления электроэнергии достигается за счет уменьшения потерь напора по межтрубному пространству. В данном случае возможны следующие действия: изменение типа обода вентилятора, увеличение диаметра вентилятора, увеличение поперечного шага расположения труб, уменьшение коэффициента оребрения.

В данной работе рассмотрены результаты применения принципов энергосберегающих технологий при проектировании аппаратов воздушного охлаждения.

В таблице 1 приведены основные конструктивные характеристики аппаратов воздушного охлаждения для различных вариантов исполнения и их влияние на полученные расчетные характеристики. В вариантах 1–3 рассмотрен переход от максимально габаритного и металлоемкого варианта к минимально возможному для обеспечения требуемого теплосъема.

Таблица 1 – Основные конструктивные и расчетные характеристики АВО для различных вариантов исполнения

Параметр	Значение		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	2	3	4
Тепловая нагрузка, МВт	0,271		
Длина труб, м	8	6	4
Коэффициент оребрения	20	20	20
Количество труб, шт.	356	356	356
Количество рядов труб	8	8	8
Количество ходов	3	4	6
Общий перепад давления в трубном пространстве, кПа	4,513	2,598	7,245
Количество вентиляторов, шт.	2	2	1
Диаметр одного вентилятора, м	2,8	2,8	2,8
Тип обода диффузора	Прямой	Прямой	Прямой
Расход воздуха, кг/ч	199710	224672	184730



Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Скорость воздуха в узком сечении, м/с	4,84	7,30	7,38
Потребляемая мощность электродвигателями, кВт	6	30	22
Расчетный коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² *К)	4,206	4,904	9,922
Общая поверхность теплообмена, м ²	4995	3726	2457
Масса, кг	17396	14808	10909

Расчеты были произведены в программном модуле «HTRI Хасе». Пример результатов расчета на вариант 1 представлен на рисунке 2.

Process Conditions		Outside		Tubeside	
Fluid name		Sens. Gas		1021-AM01-05	Sens. Liquid
Fluid condition					
Total flow rate	(kg/s)	40,219			10,000
Weight fraction vapor, in/Out		1,000	1,000	0,000	0,000
Temperature, in/Out	(Deg C)	33,00	39,59	58,00	50,00
Skin temperature, Min/Max	(Deg C)	34,99	43,32	35,55	44,20
Pressure, in/Outlet	(kPa)	101,213	101,130	530,008	528,036
Pressure drop, Total/Allow	(Pa) (kPa)	83,81	0,00	1,971	70,001
Midpoint velocity	(m/s)		3,46		0,24
- In/Out	(m/s)			0,12	0,24
Heat transfer safety factor	(-)		1		1
Fouling	(m ² -K/W)		0,000340		0,000340

Exchange Performance		Tube Geometry		
Outside film coef	(W/m ² -K)	36,37	Actual U (W/m ² -K)	4,201
Tubeside film coef	(W/m ² -K)	118,97	Required U (W/m ² -K)	3,081
Clean coef	(W/m ² -K)	4,356	Area (m ²)	4994,88
Hot regime		Sens. Liquid	Overdesign (%)	36,37
Cold regime		Sens. Gas		
EMTD	(Deg C)	17,6	Tube type	High-finned
Duty	(MegaWatts)	0,271	Tube OD (mm)	28,000
			Tube ID (mm)	24,000
			Length (m)	8,000
			Area ratio(out/in)	23,94
			Layout	Staggered
			Trans pitch (mm)	64,000
			Long pitch (mm)	55,424
			Number of passes (-)	3
			Number of rows (-)	8
			Tube count (-)	356
			Tube count Odd/Even (-)	45 / 44
			Tube material	Carbon steel

Unit Geometry		Fan Geometry	
Bays in parallel per unit	1	Type	Plain round
Bundles parallel per bay	1	Fins/length	fins/meter 400,0
Extended area (m ²)	4994,88	Fin root	mm 30,000
Bare area (m ²)	243,415	Height	mm 15,000
Bundle width (m)	2,886	Base thickness	mm 0,460
Nozzle		Over fin	mm 60,000
Number (-)	3	Efficiency (%)	86,0
Diameter (mm)	200,000	Area ratio (fin/bare) (-)	20,52
Velocity (m/s)	0,10	Material	Aluminum 1100-annealed
R-V-SQ (kg/m ² -s)	11,03		
Pressure drop (kPa)	6,087e-3		

Airsides Velocities		Thermal Resistance, %	
Face	(m/s)	Air	11,55
Minimum	(m/s)	Tube	84,54
Flow	(100 m ³ /min)	Fouling	3,56
Velocity pressure	(Pa)	Metal	0,35
Bundle pressure drop	(Pa)	Bond	0,00
Bundle flow friction	(-)		

Airsides Pressure Drop, % Louvers	
Bundle	87,53
Ground clearance	0,00
Fan ring	5,04
Fan guard	0,00
Fan area blockage	0,00
Hall screen	0,00
Steam coil	6,02

Bay Width	2,899 m	Single bundle weight	11128 kg
Bays in parallel	1	Total bundle weight	--
Bundle width	2,886 m	Structure weight	3644 kg
Bundles in parallel	1	Walkway ladder weight	2624 kg
Fan diameter	2,8 m	Dry weight	17396 kg
Fans per bay	2	Wet weight	19114 kg
Ground clearance	--		
Plenum height	0,8 m		
Tube length	8 m		

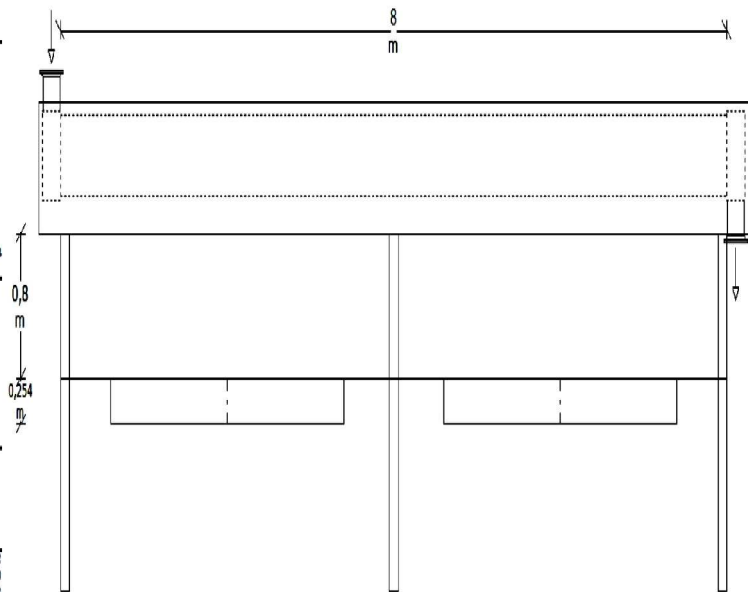


Рисунок 2 – Результаты расчета аппарата воздушного охлаждения в программном модуле «HTRI Хасе» на вариант 1

Из результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что при фиксированном теплосъеме, осуществляемом в пределах одной позиции, наиболее эффективной с точки зрения уменьшения операционных затрат на потребляемую электроэнергию электродвигателями вентиляторов оказался аппарат, представленный в варианте 1. Но с точки зрения уменьшения массогабаритных характеристик, затрат на заливку фундамента, а также уменьшения капитальных затрат, предпочтителен аппарат, представленный в варианте 3. Также этот вариант является более предпочтительным с точки зрения рационального использования поверхности теплообмена и энергосбережения, ведь, как видно из результатов расчета, представленных выше по тексту, расчетный коэффициент теплопередачи выше в 2,36 раза по сравнению с полученным значением в варианте 1, и составляет 9,922 Вт/(м²*К), что коррелируется со значениями, рекомендованными для расчета и подбора аппаратов воздушного охлаждения [4].

**Литература:**

1. Шмеркович В.М. Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 112 с.
2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г.А. Дрейцер, В.Б. Кунтыш и др. – СПб. : Недра, 1996. – 512 с.
3. Коньков В.Л. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения установки каталитического крекинга / В.Л. Коньков, О.Н. Кorableва, Л.М. Соболева // 71 всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Сборник материалов конференции. – 2018. – С. 639–642.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепечатано с изд. 1973 г. – М. : ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

References:

1. Shmerkovich V.M. Implication of air coolers in the design of oil refineries and petrochemical plants. – M. : TSNIITneftekhim, 1971. – 112 p.
2. Basics of calculation and design of air-cooled heat exchangers: Handbook / A.N. Bessonny, G.A. Dreytser, V.B. Kuntysch. – SPb. : Nedra, 1996. – 512 p.
3. Konkov V.L. Calculation and design of air coolers for catalytic cracking units. / V.L. Konkov, O.N. Korableva, L.M. Sobolev // 71 all-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and postgraduates of higher educational institutions with international participation. Conference proceedings. – 2018. – P. 639–642.
4. The main processes and apparatuses of chemical technology. Textbook for high schools / A.G. Kasatkin. – 10th ed., Stereotyped, revised. Reprinted from the publication of 1973. – M. : LLC TID «Alliance», 2004. – 753 p.