

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии  
и техногенной безопасности

**Проект интенсификации теплопередачи аппарата воздушного охлаждения**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»  
код и наименование направления, специальности

Института химии

Князева Александра Валерьевича

Научный руководитель

д.т.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

Подпись, дата

Ю.Я. Печенегов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_

Подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Задача повышения эффективности АВО является **актуальной** проблемой, так как они находят широкое применение в нефтегазовой, химической и во многих других отраслях промышленности. **Целью работы** является улучшение эксплуатационных характеристик аппарата воздушного охлаждения керосина на основе применения эффективного оребрения теплопередающих продуктовых труб.

Для этого был проведен поиск литературы, анализ и систематизация литературных данных, включающих статьи в периодических изданиях, как отечественных, так и зарубежных, учебников.

Магистерская работа состоит из 3 разделов: исследования различных вариантов конструктивного исполнения теплопередающей стенки АВО (литературный обзор), тепло-аэро-гидравлических расчетов и технико-экономических расчетов.

В **разделе 1** рассмотрены разные виды АВО и исследованы различные варианты оребрения труб в теплообменниках данного типа.

В **разделе 2** показаны тепловые, аэродинамические и гидравлические расчеты двух теплообменников воздушного охлаждения при разных скоростях вращения вентилятора. Проведен сравнительный анализ этих АВО и выбран более эффективный по теплогидравлическим характеристикам вариант.

В **разделе 3** приведено экономическое обоснование выбора теплообменника с более эффективным видом оребрения труб.

## Основное содержание работы

На текущий момент аппараты воздушного охлаждения (АВО) прочно завоевали себе нишу среди эффективных промышленных теплообменников. Данный тип теплообменников широко используется везде, где есть необходимость в использовании экологически чистых теплообменных аппаратов и в условиях нехватки или высокой стоимости получения химически чистой воды.

Использование АВО позволяет убрать из эксплуатационных затрат на теплообменное оборудование такие дорогостоящие статьи расходов, как:

- затраты на химическую подготовку и прокачку воды,
- борьбу с замерзанием в зимний период эксплуатации,
- затраты на очистку сточных вод.

Основными эксплуатационными затратами АВО являются затраты на электроэнергию, потребляемую электродвигателями вентиляторов и затраты на промывку наружных и внутренних поверхностей теплообмена.

Неравномерность подвода воздуха, особенно при повышении его температуры в летний период, даже при условии чистой ребренной поверхности, может являться причиной недостаточной глубины охлаждения керосина. Загрязнение трубного и межтрубного пространства в процессе эксплуатации ещё больше усугубляет ситуацию.

Основным недостатком АВО являются низкие по сравнению с водой теплофизические свойства теплоносителя-воздуха: коэффициенты теплоемкости и теплопроводности при 20°C у воздуха меньше чем у воды в 4 и 23 раза соответственно. Это обуславливает развитые, большие по площади поверхности теплообмена со стороны воздуха, что ведет к повышению металлоемкости аппарата и, соответственно, росту капитальных затрат на его производство.

АВО широко внедрены в процессах нефтехимии: производстве этанола, ацетальдегида, стирола, полипропилена и др. Однако большее число АВО из всех производств использует нефтеперерабатывающая промышленность для конденсации и охлаждения фракций нефти: гудрона, битума, газойля, дизельного топлива, бензина и керосина.

В нефтепереработке нефть разгоняют на отдельные фракции, различающимися температурами кипения. Такое разделение производят в специальных установках первичной перегонки нефти с помощью таких процессов как: нагревание, дистилляция, ректификация, конденсация и охлаждение.

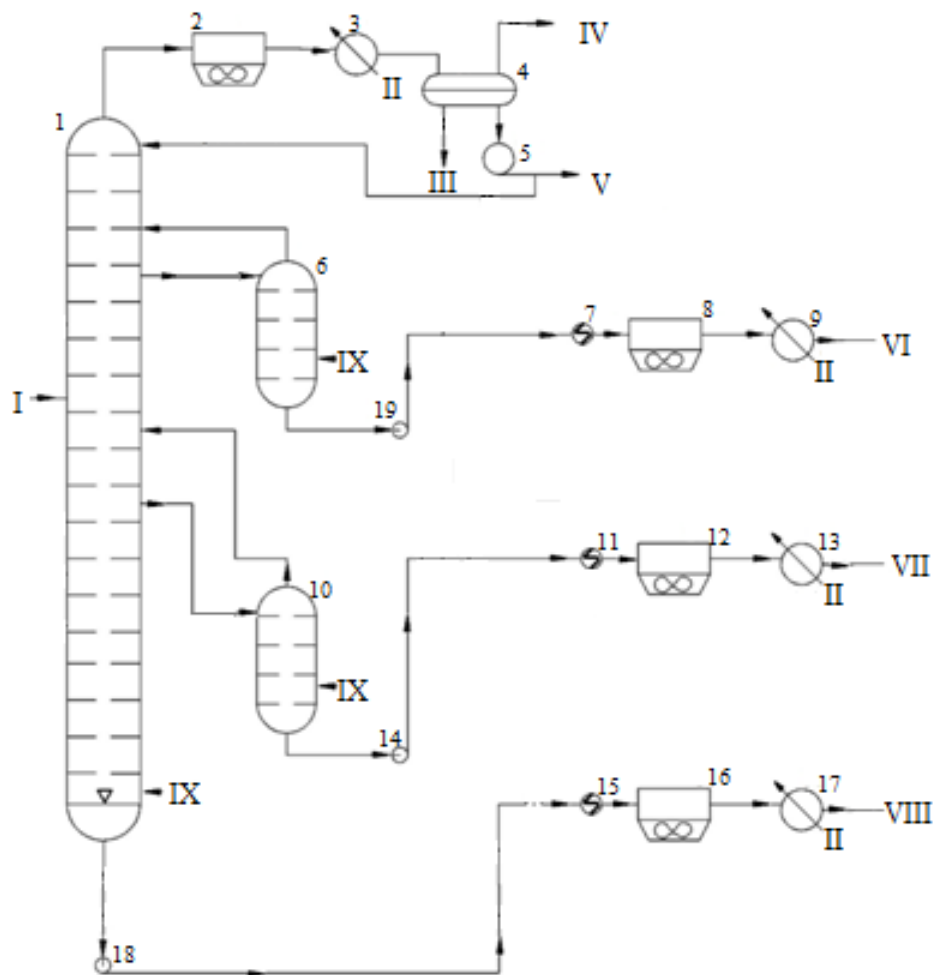
Прямая перегонка осуществляется при атмосферном или немного повышенном давлении, а остатков перегонки – под вакуумом. Атмосферные (АТ) и вакуумные (ВТ) трубчатые установки находятся отдельно друг от друга либо комбинируются в состав одной установки (АВТ). На установках атмосферной перегонки нефть традиционно разделяется на четыре основные фракции и остаток перегонки – мазут.

Получить представление об условиях работы АВО можно на примере установки атмосферной перегонки нефти, схема которой представлена на рисунке 1. Установка является двухколонной, с двукратным испарением сырья. Нефть нагревается в теплообменниках двигаясь в низ одним или несколькими потоками и поступает в первую ректификационную колонну (испарительную)(на рисунке не показана). Продуктом верхней части колонны является бензиновая фракция и углеводородный газ. Во второй колонне получают остальные фракции, а также мазут, и выводятся с установки.

После прохождения испарительной ректификационной колонны и трубчатой печи, частично отбензиненная нефть подается в основную ректификационную колонну 1 в виде парогазовой смеси.

Верхний отгон бензиновой фракции колонны 1 является тяжелым. На выходе из колонны 1 пары бензина и водяные пары конденсируются в АВО 2. Смесь, охлажденная в кожухотрубчатом теплообменнике 3, разделяется сепараторе 4 на газ, бензиновый и паровой конденсат. Часть бензина насосом 5 возвращается в качестве орошения в колонну 1 на ее верхнюю тарелку.

Рисунок 1 - Технологическая схема установки атмосферной перегонки нефти.



1 - ректификационная колонна; 2,8,12,16 - АВО; 3,9,13,17 - кожухотрубчатые водяные теплообменники; 4 - трёхфазный сепаратор; 5,14,18,19 - насосы; 6,10 - отпарные колонны; 7,11,15 - теплообменники;

Потоки I - Частично отбензиненная нефть; II - вода; III - конденсат; IV - углеводородные газы; V - тяжелый бензин; VI - керосиновая фракция; VII - дизельная фракция; VIII - мазут; IX - пар.

Фракции 180÷240 и 240÷350°С (или 180÷220 и 220÷350°С) выводятся из отпарных колонн 6 и 10 прокачиваются насосами 19 и 14 и охлаждаются в последовательно соединенных теплообменниках. Первая — керосиновая фракция

— в теплообменнике 7, АВО 8 и кожухотрубчатом водяном холодильнике 9; вторая — фракция дизельного топлива — в теплообменнике 11, АВО 12 и водяном холодильнике 13. В куб отпарных колонн вводится перегретый водяной пар.

Тяжелый остаток нефти в смеси с жидкостью, проходя нижние шесть тарелок в колонне, продувается перегретым водяным паром. Мазут с низа колонны насосом 18 нагнетается через теплообменник 15, АВО 16, кожухотрубчатый холодильник 17 и выводится с установки.

Включение в схему установки АВТ аппаратов воздушного охлаждения способствовало уменьшению первоначальных затрат на строительство объектов водоснабжения, очистных сооружений и канализации, а также эксплуатационных расходов до 30%.

Годы эксплуатации АВО дают информацию о возможности использования их при температуре воздуха от  $-30$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ , а также в регионах с сильным перепадом температуры. При этом АВО устраняет экологические проблемы, связанные со сбросом нагретых сточных вод, сточных вод загрязненных утечками нефтепродуктов, реагентами, используемыми в водоподготовительных установках и в процессе промывки теплообменного оборудования.

Широкое применение АВО в различных отраслях промышленности для охлаждения технологических продуктов и энергоносителей (сред с широким спектром теплофизических свойств), а также особенности технологических процессов обусловили появление целого ряда аппаратов воздушного охлаждения, отличающихся как по функциональному назначению, так и по конструкции.

Однако общий принцип действия АВО, основанный на использовании в качестве охлаждающей среды атмосферного воздуха, predetermined то, что основные конструктивные различия АВО заключаются в способе пространственного расположения теплопередающей поверхности и взаимном расположении теплой передающей поверхности и вентилятора, обеспечивающего перемещение охлаждающей среды.

Основные узлы аппарата воздушного охлаждения:

- теплообменные секции;
- вентилятор с приводом;
- опорная и ограждающая конструкция;
- устройств регулирования расхода воздуха.

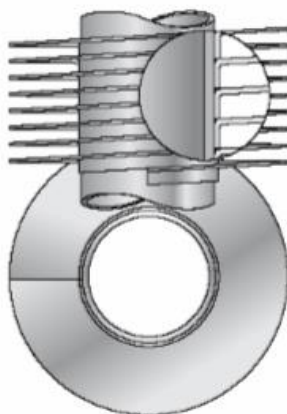
Оребренные трубы — основной конструктивный элемент аппарата воздушного охлаждения (АВО), определяющий эффективность его работы, металлоемкость и стоимость.

В производстве теплообменной аппаратуры применяются различные по элементам конструкции типы оребренных труб. Трубы могут иметь винтовые или продольные ребра, которые могут располагаться не только на наружной стороне трубы, но и на внутренней.

Главным показателем эффективности оребренных труб является коэффициент теплоотдачи. Поперечное расположение ребер относительно оси трубы обеспечивает максимально развитую поверхность теплообмена за счет уменьшения шага ребер и их толщины. Поэтому задачи интенсификации теплообмена решались в основном созданием оребренных труб повышенного коэффициента оребрения.

Типы сравниваемых аппаратов - АВГ, одновентиляторные, активная длина оребренных труб  $L = 4$  м. Труба вида *I* с KLM-ребрами представлена на рисунке 2.

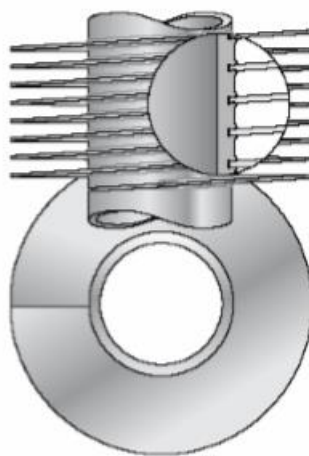
Рисунок 2 – Труба *I* с KLM-ребрами



*Технология изготовления:* основанию ребра придается форма буквы L и под давление накручивается вокруг несущей трубы. Каждое ребро прилегает к последующему и таким образом защищает несущую трубу от агрессивного воздействия окружающей среды. Такой способ изготовления труб дает возможность применять трубы с относительно тонкими стенками.

Труба вида II с круглыми стальными ребрами представлена на рисунке 3

Рисунок 3 - Труба II с круглыми стальными ребрами.



*Технология изготовления:* стальная лента накручивается спиралевидно на несущую трубу. Дополнительная горячая оцинковка обеспечивает высокий теплообмен и защиту от коррозии.

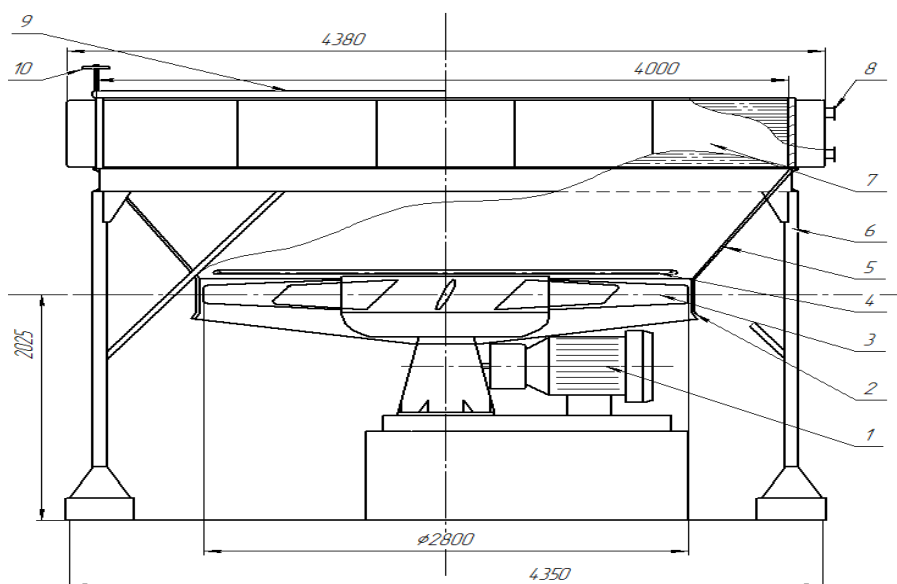
Цель сравнения заключается в определении оптимального по указанным в задании характеристикам аппарата из двух одинаковых по габаритам и нагнетателям охлаждающего воздуха, отличающихся конструкцией и геометрическими параметрами поверхности охлаждения теплообменных секций. Производится сравнение аппаратов, у которых теплообменные секции изготовлены из биметаллических труб с навитыми алюминиевыми KLM-ребрами (труба I) и стальных круглых труб с навитыми стальными оцинкованными ребрами (труба II).

Каждый из аппаратов состоит из трёх независимых горизонтальных теплообменных секций прямоугольной конфигурации с прямоугольным поперечным сечением (рис 4, 5). Аппарат имеет один осевой вентилятор с колесом ЦА-



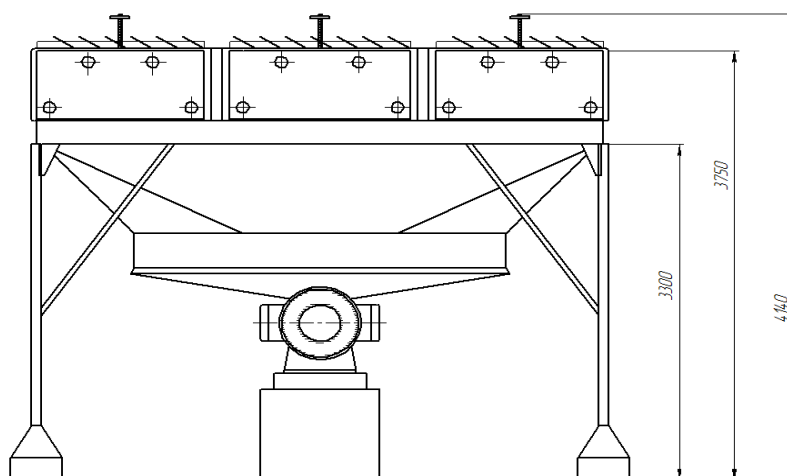
ГИ УК-2М, диаметр которого 2,8 м и частота вращения  $\omega = 213 \text{ мин}^{-1}$  ( $3,55 \text{ с}^{-1}$ ),  $425 \text{ мин}^{-1}$  ( $7,08 \text{ с}^{-1}$ ).

Рисунок 4 - Аппарат воздушного охлаждения АВГ



1 - привод вентилятора, 2 - коллектор, 3 - колесо вентилятора, 4 - узел увлажнения воздуха, 5 - диффузор, 6 - металлоконструкция, 7 - секция, 8 - штуцер подвода/отвода охлаждаемого продукта, 9 - жалюзи, 10 - устройство управления жалюзи.

Рисунок 5- Аппарат воздушного охлаждения АВГ



Результаты теплогидравлических расчетов представлены в таблице 1.

Для частоты вращения колеса вентилятора  $\omega = 425 \text{ мин}^{-1}$  были получены следующие основные показатели аппарата:

Таблица 1 - Характеристики АВО для  $\omega = 425 \text{ мин}^{-1}$

	Для аппарата с II трубами	Для аппарата с I трубами
Показатель	Значение	
$Q$ , кВт	1497,7	1783,3
$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	265917	301776
$G_1$ , кг/ч	40068	49776
$N_n$ , кВт	0,02	0,042
$\Sigma\Delta p_2$ , Па	327,9	402,8
$N_b$ , кВт	39,1	42,1
$\Delta t_2$ , °С	17,5	18,6
$\delta F$ , %	0,99	2,24

Для частоты вращения колеса вентилятора  $\omega = 213 \text{ мин}^{-1}$  по изложенной методике были получены следующие основные показатели аппарата:

Таблица 2 - Характеристики АВО для  $\omega = 213 \text{ мин}^{-1}$

	Для аппарата с II трубами	Для аппарата с I трубами
Показатель	Значение	
$Q$ , кВт	1031,4	1045,5
$V_p$ , м <sup>3</sup> /ч	127000	122000
$G_1$ , кг/ч	25491	25836
$\Sigma\Delta p_1$ , Па	721	508
$N_n$ , кВт	0,01	0,007
$N_b$ , кВт	5,02	6,16
$\Delta t_2$ , °С	24,3	25,4
$\delta F$ , %	1,23	-0,15

Результаты технико-экономических расчетов.

Суммарные затраты составляют:

для аппарата из труб с KLM-ребрами - 1081960 рублей.

для аппарата из труб со стальными круглыми ребрами - 1161658

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены теоретические основы работы АВО и исследованы различные варианты конструктивного исполнения теплопередающей стенки АВО.

2. Определены теплогидравлические характеристики АВО площадь теплообмена и тепловая мощность для двух видов оребрения. Для труб с KLM-ребрами  $F = 2365 \text{ м}^2$ ;  $Q = 1783,3 \text{ кВт}$ , а для труб со стальными круглыми ребрами  $F = 1795 \text{ м}^2$ ;  $Q = 1497,7 \text{ кВт}$ . При одинаковых затратах мощности, тепловая мощность аппарата из труб с KLM-ребрами на 4-12% превышает этот показатель аппарата, состоящего из стальных труб со стальными навитыми приварными ребрами.

3. Технико-экономические расчеты показали, что при использовании АВО с *I* – трубами снижаются затраты на электроэнергию (976100 руб/год), по сравнению с АВО с *II* – трубами (1030280 руб/год). Выгода составляет 54180 руб/год.

4. По совокупности показателей выяснено, что АВО из биметаллических труб с KLM-ребрами имеет значительное преимущество по сравнению с АВО из монометаллических стальных оребренных труб.