

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт: Энергетический

Направление подготовки: 13.04.03. Энергетическое машиностроение

Кафедра: Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модернизация теплообменных аппаратов различной производительности с целью повышения ресурсо- и энергоэффективности

УДК 621.1.016.4-048.35.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Курганов А.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тайлашева Т.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин А.С.	д.т.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач
P3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять,

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке
Р6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах
Р7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре

Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт: Энергетический
Направление подготовки: 13.04.03. Энергетическое машиностроение
Кафедра: Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ПГС и ПГУ
_____ Заворин А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Курганов А.А.

Тема работы:

Модернизация теплообменных аппаратов различной производительности с целью повышения ресурсо- и энергоэффективности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 716/с от 03.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования – теплообменные аппараты Тип теплообменника – «труба в трубе» Хладагент – вода Охлаждаемая среда – раствор ацетона с этанолом
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Введение 2. Классификация теплообменных аппаратов 3. Современные тенденции проектирования теплообменных аппаратов 4. Объект и метод исследования 5. Расчетное исследование теплообменных аппаратов 6. Анализ полученных результатов 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8. Социальная ответственность 9. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Эскиз объекта исследования (формат А2) - 1 лист; Результаты исследования (формат А1) -2 листа

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова С.Н.
«Социальная ответственность»	Романцов И.И
«Иностранный язык»	Исакова Ю. И.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Классификация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тайлашева Т.С	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Курганов А.А.		

Задание для раздела

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Курганову Александру Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Парогенераторостроения и парогенераторных установок
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является математическая модель теплообменных аппаратов различной производительности промышленного назначения.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Планирование работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленных задач, определить участки каждой работы, установить продолжительности работ в рабочих днях.</i>
2. Расчет трудоемкости работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в рабочих днях.</i>
3. Расчет затрат на научно-исследовательскую работу	<i>Рассчитать и определить: основные расходы на оборудование, заработную плату, дополнительную заработную плату, отчисления на социальные цели (единый социальный налог), расходы на служебные командировки, расчет накладных расходов, издержки на услуги сторонних организаций, амортизация основных фондов и нематериальных активов (15% от материальных затрат), расходы на проведение научно-исследовательской работы.</i>
4. Расчет цены договора научно-исследовательской работы	<i>Расчет плановых накоплений (прибыль) и определение цены договора</i>
5. Техничко-экономическая оценка научно-исследовательской работы	<i>Оценка проведенной работы</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент каф. МЕН		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Курганов Александр Александрович		

Задание для раздела
«Социальная ответственность»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Курганову Александру Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения)

Рассматриваемая рабочая зона представляет собой аудиторию № 224 четвёртого корпуса НИ ТПУ, в которой студентом проводилась работа по исследованию теплообменных аппаратов различной производительности промышленного назначения с целью повышения ресурса и энергоэффективности для магистерской диссертации. В частности, на ПК выполнялись: расчет поверхностей теплообмена, измерение данных; их обработка. В помещении существует опасность поражения электрическим током и возникновения возгорания. Помимо этого, на находящихся в таком помещении людей могут оказывать влияние вредные факторы, такие как некачественное освещение, шум, электромагнитное излучение, запылённость и ненадлежащее состояние микроклимата.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое

Основными вредными факторами при работе в рассматриваемой рабочей зоне являются факторы, связанные с качеством освещения, уровнем шума, состоянием микроклимата, запылённостью и интенсивностью излучения. Необходимо определить нормативные значения данных факторов для данного помещения. Предложить мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов и привести возможные средства защиты.

Основными опасными факторами для данного помещения являются возможность поражения электрическим током и возникновение пожара. Источниками возникновения данных факторов является работающее электрооборудование и неправильное обращение с ним. Необходимо рассмотреть средства и мероприятия по организации безопасной работы с ним, а также средства защиты (например, месторасположение и порядок использования средств пожаротушения).

электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<i>Рассматриваемая рабочая зона не оказывает существенного воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. Срок эксплуатации комплектующих данного оборудования достаточно велик. По истечении срока службы часть передается на восстановление, а часть поступает в отходы.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<i>Наиболее возможными ЧС в рассматриваемой рабочей зоне являются поражение людей электрическим током и возникновение пожара. Для их предупреждения необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием. Персонал и студенты для допуска к работе должны изучить технику безопасности и уметь правильно действовать в случае ЧС. Рассмотреть средства, определяющие действия при возникновении ЧС и ликвидации их последствий (например, план эвакуации и средства пожаротушения).</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>Определить порядок и организацию работы в рассматриваемом помещении, обеспечивающие безопасные и комфортные условия труда, с соблюдением санитарных и технологических норм</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Курганов Александр Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 107 с., 28 рис., 12 табл., 15 источников, одно приложение.

Ключевые слова: расчетное исследование, теплообменник, теплоноситель, интенсификация теплообмена, кольцевые турбулизаторы, турбулентность, поверхность теплообмена, коэффициент теплопередачи.

Объектом исследования является теплообменный аппарат, применяемый для охлаждения раствора ацетона в этаноле, участвующий в процессе нефтепереработки.

Цель работы – исследование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении теплоносителя в прямых круглых трубах с интенсификаторами теплообмена и анализ эффективности различных шагов расположения и высоты турбулизационных колец.

В процессе исследования проводилось расчетное исследование объекта исследования с применением пакета прикладных программ MATHCAD, анализ полученных результатов и оценка эффективности различных шагов расположения и высоты турбулизаторов.

В результате исследования рассмотрен такой метод интенсификации теплообмена, как применение кольцевых турбулизаторов, найдены оптимальные шаги расположения и высоты турбулизаторов, при которых можно добиться уменьшения габаритов теплообменных аппаратов.

Основные технологические характеристики объекта исследования: теплообменник типа «труба в трубе», в качестве хладагента применяется холодная вода температурой 15 °С, охлаждаемой средой является раствор ацетона в этаноле, который охлаждается до 35 °С.

Оглавление

Введение.....	12
1 Классификация и основные технические характеристики теплообменных аппаратов	
1.1 Классификация теплообменных аппаратов	14
1.2 Характеристика теплоносителей	18
2 Современные тенденции проектирования теплообменных аппаратов теплоносителей.....	21
3 Объект и метод исследования.....	23
3.1 Выбор теплообменника	23
3.2 Метод исследования	24
4 Расчетное исследование теплообменных аппаратов.....	26
4.1 Расчет водяного холодильника производительностью 0.75 кг/с.....	26
4.2 Расчет водяного холодильника производительностью 2 кг/с.....	41
4.3 Исследование изменения полученных поверхностей теплообмена и коэффициентов теплопередачи при использовании разных шагов и высоты кольцевых турбулизаторов.....	57
5 Анализ полученных результатов	62
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59
6.1 Планирование работ.....	59
6.2 Расчет трудоемкости работ	60
6.3 Расчет затрат на научно-исследовательскую работу	62
6.4 Расчет цены договора научно-исследовательской работы.....	65
6.5 Технико-экономическая оценка научно-исследовательской работы	65
7 Социальная ответственность	67
7.1 Промышленная санитария.....	67
7.2 Система вентиляции	68
7.3 Освещение.....	69

7.4 Микроклимат помещения.....	70
7.5 Источники шума.....	70
7.6 Электробезопасность при работе на ПЭВМ	71
7.7 Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ	72
7.8 Пожарная безопасность	73
7.9 Региональная безопасность.....	75
7.10 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.....	76
Заключение	78
Список литературы	79
Приложение А.....	81

Введение

На современных промышленных предприятиях химической, газовой, нефтяной, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности, а также в энергетике, авиационной и космической технике широко используются теплообменные аппараты для охлаждения, нагрева, испарения и конденсации жидкости, пара и их смесей. Существует большое разнообразие теплообменников, которые различаются по способу передачи тепла, а также по конструктивному и функциональному признаку. С развитием энергетических мощностей и наращиванием объема производства все сильнее растет масса и габариты используемых теплообменных аппаратов. Для их производства тратится большое количество цветных и легированных металлов.

Эффективность теплообменника определяется количеством тепловой энергии, которое он передает за определенное время. Снижение габаритов и массы теплообменных аппаратов сегодня является актуальной проблемой. Одним из многообещающих путей решения данной проблемы является интенсификация теплообмена. Интенсификация процесса теплообмена в теплообменном аппарате – один из максимально эффективных способов снижения энергозатрат, который представляет большой интерес и имеет большое народнохозяйственное значение.

Существует много способов интенсификации теплообмена: повышение скорости теплоносителя, повышение разницы температур между холодным и горячим теплоносителем, при конденсации пара – снижение сопротивления пленки конденсата и повышение скорости пара (при испарении жидкости) увеличение числа центров парообразования, турбулизация потока и т.д.

При выборе метода интенсификации теплообмена необходимо учитывать универсальность метода для различных теплоносителей, загрязняемость поверхности, технологичность изготовления и сборки теплообменного аппарата и особенности эксплуатации. Все эти ограничения

значительно снижают возможность выбора одного из возможных методов интенсификации.

Целью данной работы является модернизация теплообменных аппаратов различной производительности с целью повышения ресурсо- и энергоэффективности. Расчетное исследование является эффективным методом исследования сложных систем. Он позволяет делать сложные вычислительные эксперименты тогда, когда настоящие эксперименты невозможны или затруднены из-за физических или финансовых препятствий, а также в тех случаях, когда эксперимент может дать непредсказуемый результат. При помощи расчетного исследования можно изучить влияние на интенсификацию конвективного теплообмена.

1 Классификация и основные технические характеристики теплообменных аппаратов

1.1 Классификация теплообменных аппаратов

Теплообменные аппараты и установки по некоторым характерным признакам можно объединить в определенные классификационные группы. Прежде всего, по способу передачи теплоты от одной среды к другой (от одного теплоносителя к другому) теплообменники классифицируются на:

- рекуперативные;
- регенеративные;
- смесительные.

В рекуперативных теплообменниках передача теплоты осуществляется сквозь разделяющую теплоносители однослойную или многослойную стенку при установившемся или неустановившемся тепловом режиме. К аппаратам с установившимся тепловым режимом относятся непрерывно действующие теплообменники, работающие при неизменных во времени расходах и параметрах теплоносителей на входе и выходе из аппарата. Передача теплоты от одной среды к другой в рекуперативных аппаратах происходит при одновременном вынужденном движении сред без изменения фазового состояния или при фазовом переходе одного (обоих) теплоносителя.

В периодически действующих рекуперативных аппаратах в течение заданного времени может осуществляться последовательно нагрев, испарение, охлаждение определенного количества предварительно загруженной жидкости или нагрев, охлаждение сыпучих и твердых материалов. В процессе нагрева или охлаждения, естественно, происходит изменение во времени температуры нагреваемого вещества. В качестве греющей среды используются теплоносители, не изменяющие фазовое состояние (жидкости, газы), и конденсирующийся водяной пар или пар другой жидкости. Греющая (охлаждающая) среда, как правило, подается непрерывно с мало

изменяющимися параметрами на входе и существенно переменной во времени температурой на выходе из аппарата, особенно у жидких и газообразных теплоносителей. Следовательно, аппараты такого типа относятся к теплообменникам с неустановившимся тепловым режимом.

Непрерывно действующие рекуперативные теплообменники в большинстве случаев можно отнести к категории аппаратов, работающих с установившимся тепловым режимом.

По конструктивному оформлению теплообменники непрерывного действия могут быть:

- змеевиковыми;
- секционными;
- кожухотрубчатыми;
- ребристыми;
- пластинчатыми;
- пластинчато-ребристыми;
- прокатно-сварными;
- сотовыми.

В регенеративных теплообменных аппаратах при передаче теплоты от одной среды к другой также используется поверхность теплообмена. Однако эта поверхность, или точнее насадка, образующая поверхность теплообмена, является промежуточным аккумулятором теплоты. Вначале, в течение какого-то отрезка времени, насадка через свою поверхность воспринимает определенное количество теплоты от греющей среды. Затем производится переключение потоков теплоносителей и по поверхности насадки пропускается нагреваемая среда. В этот период насадка охлаждается, передавая ранее воспринятую теплоту нагреваемой среде.

Нагрев или охлаждение в регенераторах, особенно с неподвижной насадкой, относится к категории нестационарных, но синхронно повторяющихся тепловых процессов. Обычно в регенераторах нагреваются компоненты горения топлива для промышленных печей и парогенераторов.

Для теплообмена при смешении рабочих сред не требуется специальная поверхность.

Теплообмен в этом случае происходит на границе раздела фаз одного рода теплоносителей (однородных) или на границе раздела жидкой и газообразной сред и сопровождается массообменом, изменением энтальпии смеси или каждого из теплоносителей, изменением влагосодержания газообразной среды.

Каждая рассматриваемая группа теплообменников классифицируется на подгруппы по роду теплоносителей:

- парожидкостные;
- жидкостно-жидкостные;
- газожидкостные;
- газо-газовые;
- парогазовые;
- с дисперсными теплоносителями.

В соответствии с назначением газожидкостные аппараты называются скрубберами, градирнями, оросительными камерами, смесительными подогревателями воды.

– в полом и насадочном скрубберах происходят охлаждение, осушка или увлажнение и очистка от пыли и других примесей всевозможных газов и воздуха;

– в оросительных камерах – охлаждение, осушка и увлажнение воздуха для систем кондиционирования;

– в градирнях – охлаждение охлаждающей воды из конденсаторов паровых турбин;

– в смесительных паро- и водо-водяных аппаратах – нагревание воды для систем горячего водоснабжения, конденсация отработавшего пара и так далее.

Поверхность теплообмена может быть выполнена из гладких или оребренных разным способом труб, из гладких или профильных волнистых и оребренных пластин или в виде разнообразной по форме фасонной, блочной и

кирпичной насадки. По компоновке поверхности теплообмена и соединению ее с корпусом гладкотрубчатые аппараты можно разделить на следующие группы:

- погруженные с прямыми трубами и змеевиковые;
- оросительные с водяным и воздушным охлаждением;
- секционные;
- кожухотрубчатые.

Кожухотрубчатые и секционные теплообменники изготавливают в виде жесткой (то есть обе трубчатые решетки соединяются жестко с корпусом) и нежесткой конструкции: с U- и W-образными трубами, с «плавающей» камерой и с компенсаторами на корпусе или трубах.

Аппараты из пластин разделяются на рубашечные, спиральные, гладкопластинчатые разного профиля, пластинчатые ребристые и сотовые. Они могут быть разборными, полуразборными, сварными и прокатно-сварными.

Поверхность теплообмена пластинчатых аппаратов комплектуется из разнообразных по конструктивным признакам стальных листов. К числу таких теплообменников относятся реакторы с рубашкой, спиральные конденсаторы и нагреватели для жидкостей, плоскопластинчатые нагреватели низкого давления для воздуха, воздухо- и газонагреватели из различных штампованных, ребристых и других профилей листов в системах газотурбинных и холодильных установок.

Теплообменные аппараты выполняют из огнеупорных материалов, графита, стекла, пластмасс. По конструктивным признакам они могут быть весьма разнообразными в зависимости от технологических условий нагрева или охлаждения, а также физико-химических свойств и температурного уровня рабочих сред.

По пространственному расположению теплообменные аппараты делятся на вертикальные, горизонтальные, наклонные. По числу ходов рабочих сред – на одно, двух, четырехходовые. По взаимному направлению движения теплоносителей на прямоточные, противоточные, прямоточно-противоточные и с разными вариантами перекрестного тока.

1.2 Характеристика теплоносителей

Теплоносителями называются рабочие среды, которые нагреваются или охлаждаются в процессе теплообмена. Скорость передачи теплоты от одного теплоносителя к другому, сохранения процесса нагревания, кипения или охлаждения и конденсации, а также стабильность работы теплообменного устройства зависят как от конструкции используемого аппарата, так и от параметров, физических и химических свойств среды, передающей тепло. Физические и химические свойства рабочей среды являются определяющей составляющей при выборе типа и конструктива теплообменного устройства.

Доминирующие факторы, от которых зависит выбор среды, являются:

- предельная температура нагревания или охлаждения теплоносителя и допустимость ее корректировки;
- физические свойства, от которых зависит теплообмен;
- токсичность и химическая активность;
- доступность и стоимость;
- безопасность при нагревании.

В следствии этого процесс повышения температуры или охлаждения рабочей среды и конструктивных элементов аппарата необходимо обосновать выбор теплоносителя для каждого индивидуального случая, максимально соответствующему предъявляемым к нему требованиям.

К наиболее применяемым средам для переноса тепла относятся водяной насыщенный пар, вода, продукты сгорания топлива, воздух, дисперсные среды, высокотемпературные жидкости и их пары, жидкие металлы.

Теплоносители классифицируются по назначению, агрегатному состоянию, диапазону рабочих температур и давлений. По назначению бывают греющий теплоноситель, охлаждающий, промежуточный, сушильный агент. По агрегатному состоянию различают однофазные, двух- и более фазные теплоносители. Однофазные – газы, неконденсирующиеся пары, не кипящие и неиспаряющиеся жидкости, растворы, твердые сыпучие материалы. Двух и

многофазные – кипящие и испаряющиеся жидкости, конденсирующиеся пары, плавящиеся и затвердевающие вещества. По диапазону рабочих температур теплоносители бывают: высокотемпературных, среднетемпературные, низкотемпературные. К высокотемпературным относятся дымовые газы, а также вещества, температура кипения которых при атмосферном давлении выше 200 С. Это минеральные масла, расплавы солей, жидкие металлы. Среднетемпературные теплоносители – водяной пар, вода, воздух. Теплоносители должны иметь достаточно высокую температуру при атмосферном давлении, должны быть термически стойкими, иметь слабую коррозионную активность и токсичность, должны быть невоспламеняющимися и взрывобезопасными. Наиболее распространенными греющими теплоносителями являются дымовые газы, водяной пар, горячая вода.

2 Современные тенденции проектирования теплообменных аппаратов

Аппараты для теплообмена в промышленной и стационарной энергетике, зачастую, являются наиболее металлоемкой и крупногабаритной частью энергетических установок. Чаще всего это относится к теплообменникам, работающим в структуре переработки и утилизации низкопотенциального тепла и функционирующих при сравнительно не значимых перепадах температуры. В связи с этим, задача разработки продуктивных теплообменных систем, в значительной степени, — проблема интенсификации теплопередачи. Конвективные рекуперативные теплообменные аппараты типа «газ-газ», «жидкость-жидкость», «газ-жидкость» на сегодняшний день активно применяются во всех отраслях энергетике. Для изготовления такого вида теплообменников тратится значительное количество металла. Их работа предусматривает большой расход энергии, растрачиваемой, первым делом, на прокачку теплоносителей. Эти расходы увеличиваются с повышением объемов производства, сопровождаемым повышением массы и размеров теплообменников. Отсюда задача снижения веса теплообменных систем и затрат на эксплуатацию становится значительно актуальной. Эту задачу можно решить только посредством увеличения интенсивности теплообмена одного или нескольких теплоносителей при не значительном увеличении гидродинамического сопротивления, потому что энергетическая продуктивность теплообменной системы рассчитывается соотношением между «полезным» эффектом (тепловым потоком) и материальными расходами (затратами металла и энергии). Увеличение продуктивности теплообменной системы усложняется, потому что при определенной площади и скорости теплоносителя необходимо изготовить аппарат, в котором передача тепла будет происходить с максимально допустимым напряжением, а путь передачи количества движения, определяющего расходы мощности, — с минимальным. В связи с этим нужно принимать во внимание насыщенность теплообмена. При использовании на

практике аппаратов для теплообмена доводится встречаться с проблемами рационального выбора способов и геометрических параметров увеличивающих эффективность элементов с учетом их технологичности и цены. На сегодняшний день имеется огромное количество технологий, систематизирование которых дает огромное преимущество при проектировании изделий. Одним из наиболее эффективных и менее материалозатратным методом проектирования является расчетное исследование, так как данный метод не требует больших затрат на реализацию и позволяет на стадии разработки учесть все необходимые параметры.

При проектировании теплообменных аппаратов одной из важнейших задач является сравнение нескольких вариантов оформления процесса теплопередачи, отличающихся конструкцией аппарата, его расположением, режимом движения теплоносителей, температурным режимом. Главная цель расчета подобрать наилучший вариант, а при большом их числе – оптимальный.

Главной задачей расчета является выбор подлежащих сравнению теплообменников, выполнение для каждого из них гидравлического и теплового расчетов, анализ полученных результатов и рекомендация к использованию теплообменника, обладающего наибольшим числом преимуществ.

3 Объект и метод исследования

3.1 Выбор теплообменника

Теплообменник должен обеспечивать необходимую тепловую производительность, его конструкция, система регулирования теплового режима и гидравлическое сопротивление должны удовлетворять требованиям технологического процесса, в цикл которого он включен. Наиболее предпочтительным будет компактный, имеющий малую массу, дешевый, надежный в эксплуатации, малозасоряемый, доступный для осмотра, ревизии, очистки и ремонта аппарат.

Материал для поверхности теплообмена и узлов аппарата выбирают из условий необходимости длительной эксплуатации при заданных температурах, физических и химических свойствах, а также токсичности теплоносителей. Материал должен обладать достаточной теплопроводностью, высокой устойчивостью против химической и температурной коррозии, а также прочностью.

Не всегда представляется возможным выбрать конструкцию аппарата, удовлетворяющую всем требованиям. Иногда приходится отдавать предпочтение преобладающим факторам, например, устойчивости работы теплообменника при высоких температурах или в среде агрессивных сред, а в транспортных установках – его компактности, малой массе и малой засоряемости.

Выбор оптимального варианта из предварительно обоснованной группы теплообменников производится методом сравнения. Техничко-экономические сравнения возможных вариантов базируются на тепловых, гидравлических и прочностных расчетах теплообменников.

Таким образом, для исследования был выбран теплообменник типа «труба в трубе». Аппараты такого рода широко используются на нефтеперерабатывающих заводах и являются неотъемлемой частью

технологического процесса, а именно при производстве метанола или аммиака (рис. 1).

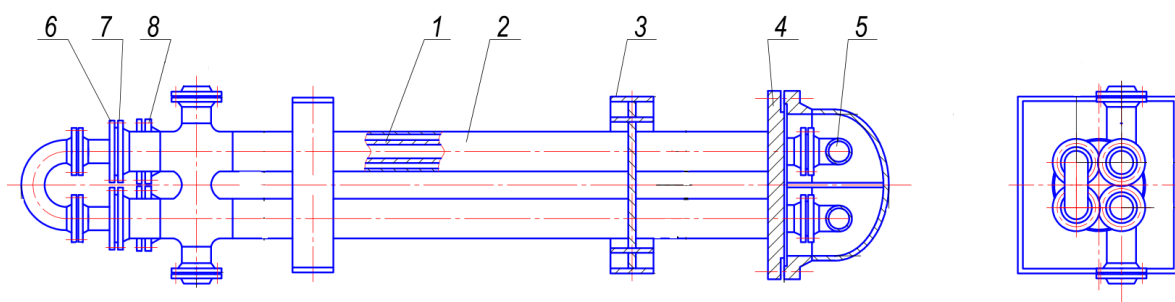


Рисунок 1 – Теплообменник труба в трубе однопоточный разборный ТТОР

1 – труба теплообменная; 2 – труба кожуховая; 3 – опора; 4 – решетка кожуховых труб; 5 – камера; 6 – решетка теплообменных труб; 7,8 – соединительные фланцы

3.2 Метод исследования

Расчетное исследование интенсификации теплообмена при использовании периодически кольцевых выступов – один из наиболее эффективных способов интенсификации. Турбулизаторы создают вихревые зоны в пограничном слое, что приводит к его уменьшению. Стоит отметить, что применение кольцевых тубулизаторов достаточно технологично, ведь при этом не увеличивается наружный диаметр труб, это позволяет использовать такие трубы в тесных пучках и не изменять технологию сборки теплообменных аппаратов, которая уже существует. При использовании кольцевых канавок и диафрагм происходит турбулизация потока в пристенном слое, что обеспечивает интенсификацию теплообмена (рис. 2).

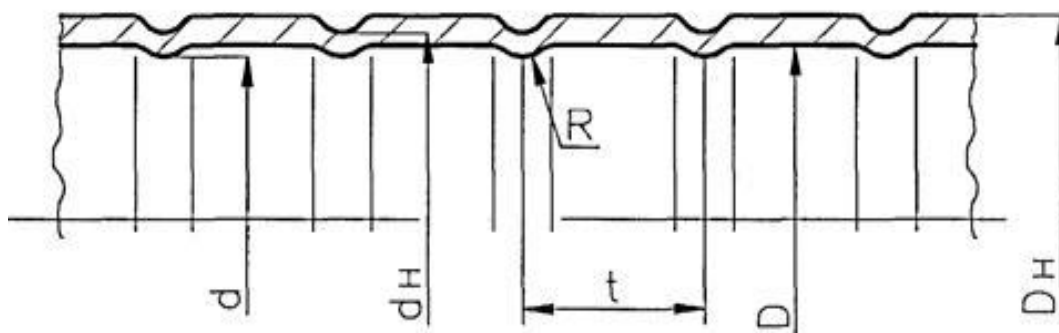


Рисунок 2 – Продольный разрез трубы с кольцевой накаткой

Для труб с кольцевыми турбулизаторами рассчитывались коэффициенты теплопередачи и поверхность теплообмена при изменении шага расположения и высоты турбулизаторов.

При использовании кольцевых турбулизаторов в основе расчета лежит отношение числа Нуссельта ребристой поверхности к гладкой при известном числе Рейнольдса для гладкой трубы.

$$\frac{Nu}{Nu_{г\lambda}} = \left(1 + \frac{\lg Re - 4.6}{35}\right) \left(3 - 2 \exp\left(\frac{-18.2 \left(1 - \frac{d}{D}\right)^{1.13}}{\left(\frac{d}{D}\right)^{0.326}}\right)\right) \quad (3.2.1)$$

(формула справедлива для $d/D=0.8 \dots 0.98$ и $t/D=0.25 \dots 0.8$)

$$\frac{Nu}{Nu_{г\lambda}} = \left(1 + \frac{\lg Re - 4.6}{30}\right) \left(\left(3.33 \frac{d}{D} - 16.33\right) \frac{d}{D} + 17.33 - 3.33 \frac{d}{D}\right) \quad (3.2.2)$$

(формула справедлива для $d/D=0.8 \dots 0.98$ и $t/D=0.8 \dots 2.5$)

$$\frac{Nu}{Nu_{г\lambda}} = \left(1 + \frac{\lg Re - 4.6}{7.45}\right) \left(\left(3.33 \frac{d}{D} - 16.33\right) \frac{d}{D} + 17.3 - 3.33 \frac{d}{D}\right) \exp\left(\frac{9 \left(1 - \frac{d}{D}\right)}{\left(\frac{d}{D}\right)^{0.586}}\right) \quad (3.2.3)$$

(формула справедлива для $d/D=0.9 \dots 0.98$ и $t/D=0.8 \dots 2.5$)

6.1 Планирование работ

Планирование работы заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленных задач, определение участков каждой работы, установление продолжительности работ в рабочих днях. В таблице 6.1.1 приведены состав и структура длительности научно-технических исследований и опытно-экспериментальных работ.

Таблица 6.1.1 – Состав и структура длительности научно-технических исследований и опытно-экспериментальных работ

Наименование этапов	Продолжительность этапов, %
А. Научно-теоретические исследования	
– подготовительный этап (обоснование методик)	10
– разработка теоретической части темы	15
– подготовка к исследованиям	5
– исследовательские работы	50
– внесение корректив в исследования	5
– выводы и предложения по теме	5
– завершающий этап	10
Итого	100
Б. Исследовательские работы	
– определение исходных данных	5
– выбор объекта и метод исследования	15
– подготовка исходных данных для моделирования	5
– расчетные исследования	60
– анализ полученных результатов	15
Итого	100

6.2 Расчет трудоемкости работ

Необходимо отчетливо распределить все этапы разработки во времени. Достаточно важной частью является определение последовательности работ, являющейся наиболее оптимальной с точки зрения минимальных затрат времени на осуществление всего комплекса работ.

Планирование работы заключается в следующем: составление перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в рабочих днях.

Для того чтобы выполнить НИР в срок, при наименьших затратах средств, составляется план, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ, назначается число участников работы по этапам, т.е. определяется фронт работы. Число участников должно быть максимально возможным по условиям выполнения того или иного этапа. С другой стороны, на каждом этапе должны участвовать только те работники, которые действительно необходимы для проведения данного этапа в соответствии со своей специализацией.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работы применяют формулу, основанную на использовании двух оценок:

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max})}{5}, \quad (6.2.1)$$

где $t_{\min}$ — время, необходимое для выполнения работы при неблагоприятных условиях;

$t_{\max}$ — время, необходимое для выполнения работы при благоприятных условиях.

В таблице 6.2.1 представлены трудоемкость работ.

Таблица 6.2.1 – Трудоемкость работ

Код работ	Этапы работ	Продолжительность работы			Исполнитель
		$t_{\max}$	$t_{\min}$	$t_{ож}$	
1	Постановка задачи	1	1	1	Руководитель
2	Изучение литературы	8	5	6	Инженер
3	Анализ исходной информации	6	4	5	Руководитель, инженер
4	Предварительный технико-экономический анализ	9	7	8	Инженер
5	Выбор объекта исследования	12	8	10	Инженер, руководитель
6	Выбор метода исследования	63	32	44	Инженер
7	Изучения влияния кольцевых турбулизаторов на интенсивность теплообмена	15	6	10	Инженер
8	Тепловой расчет теплообменников при использовании гладких труб	12	8	10	Инженер
9	Тепловой расчет теплообменников при использованием труб с кольцевыми турбулизаторами	20	12	15	Инженер
10	Анализ полученных поверхностей теплообмена	8	5	6	Инженер
11	Обработка результатов и основные выводы	15	9	11	Инженер
12	Исследование безопасности жизнедеятельности	6	4	5	Инженер
13	Оформление отчета	10	7	8	Инженер
	Итого	185	108	139	

6.3 Расчет затрат на научно-исследовательскую работу

6.3.1 Основные расходы на оборудование

Определение затрат по запланированным работам осуществляется в форме сметной плановой калькуляции, для расчета которой должны использоваться действующие прейскуранты основных цен. Данные расчеты представлены в таблице 6.3.1.1

Таблица 6.3.1.1 – Основные расходы на оборудование

Статьи затрат	Стоимость, руб.
Персональный компьютер	35000
Комплекующие ПЭВМ	8000
Принтер	4000
Стол	4000
Стул	2000
Шкаф	8000
Итого	61000

6.3.2 Заработная плата

Для расчета заработной платы приняты дневные ставки для руководителя и инженера в размере 172 руб. и 48 руб. соответственно. Расчет заработной платы производится на основании перечня работ и трудоемкости работ. Расчет зарплаты представлен в таблице 6.3.2.1

Таблица 6.3.2.1 – Расчет по статье «Основная зарплата»

Этапы работы	Трудоемкость, чел/день		Суммарная основная зарботная плата, руб.
	инженер	руководитель	
Постановка задачи	1	1	220
Изучение литературы	6		288
Анализ исходной информации	5	5	1100
Предварительный технико-экономический анализ	8		384
Выбор объекта исследования	10	10	2200
Выбор метода исследования	44		2112
Изучения влияния кольцевых турбулизаторов на интенсивность теплообмена	10		480
Тепловой расчет теплообменников при использовании гладких труб	10		480
Тепловой расчет теплообменников при использованием труб с кольцевыми турбулизаторами	15		720
Анализ полученных поверхностей теплообмена	6		288
Обработка результатов и основные выводы	11		528
Исследование безопасности жизнедеятельности	5		240
Оформление отчета	8		384
Итого:	139	16	9424

6.3.3 Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп}} = 0,1 \cdot З_{\text{ос}} = 0,1 \cdot 9424 = 942,4 \text{ руб.} \quad (6.3.3.1)$$

6.3.4 Отчисления на социальные цели (единый социальный налог)

Единый социальный налог (ЕСН) учитывает отчисления в фонд пенсионного страхования, фонд социального страхования и фонд обязательного медицинского страхования (27 %):

$$\text{ЕСН} = 0,27 \cdot З_{\text{общ}} = 0,27 \cdot (З_{\text{всп}} + З_{\text{осн}}) = 0,27 \cdot (9424 + 942,4) = 2798,9 \text{ руб.} \quad (6.3.4.1)$$

6.3.5 Расчет накладных расходов

К статье «Накладные расходы» относятся затраты на эксплуатацию и обслуживание. Размеры накладных расходов планируются в размере 60 % от фонда заработной платы.

$$\text{НУ} = 0,6 \cdot 9424 = 5654,4 \text{ руб.} \quad (6.3.5.1)$$

6.3.6 Издержки на услуги сторонних организаций

Затраты на услуги сторонних организаций включают в себя услуги транспортировки оборудования, затраты на поставку основных и вспомогательных материалов и прочие взаимосвязи. Затраты на услуги сторонних организаций принимаются и составляют 4500 руб.

6.3.7 Расходы на проведение научно-исследовательской работы

Смета данных расходов приведена в таблице 6.3.7.1. Рассчитываемая смета расходов включает затраты на приобретение необходимого оборудования, для проведения НИР и текущие расходы.

Таблица 6.3.7.1 – Смета расходов на проведение научно-исследовательской работы

Статьи расходов	Расходы, руб.
Оборудование	61000
Основная заработная плата	9424
Дополнительная заработная плата	942,4
Отчисление на социальное страхование	2798,9
Накладные расходы	5654,4
Услуги сторонних организаций	4500
Итого	84319,7

6.4 Расчет цены договора научно-исследовательской работы

6.4.1 Расчет плановых накоплений (прибыль)

$$\begin{aligned} \text{Пр} &= 0,2 \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{всп}} + \text{ЕСН} + \text{К} + \text{А} + \text{И}_{\text{орг}} + \text{НУ}) = \\ &0,2 \cdot (9424 + 942,4 + 2798,9 + 5654,4 + 4500 + 9150) = 4663,94 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (6.4.1.1)$$

6.4.2 Определение цены договора

$$\text{Ц} = \text{Пр} + \text{Р} = 4663,94 + 84319,7 = 88983,64 \text{ руб.} \quad (6.4.2.1)$$

6.5 Техничко-экономическая оценка научно-исследовательской работы

В результате расчета определены плановые накопления, составляющие 4663,94 руб. Также произведен подсчет цены договора научно-исследовательской работы, составляющий 88983,64 руб. Общая смета затрат составила 84319,7рублей.

В данном разделе были проведены технико-экономические расчеты, определены затраты, необходимые для проведения научно технического исследования. Данный раздел показывает, что расчетные исследования являются эффективным и малозатратным способом исследования теплообменных аппаратов различной производительности с целью их

модернизации; позволяют еще на этапе проектирования заглянуть внутрь процессов и учесть все недостатки без затрат на построение прототипов.