

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

Институт Энергетический
Направление подготовки «Энергетическое машиностроение»
Кафедра «Парогенераторостроение и парогенераторные установки»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Модернизация теплообменных аппаратов различной производительности на основе численного моделирования»

УДК 621.1.016.4:519.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПГС и ПГУ	Гиль Андрей Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Старший преподаватель		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск - 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
Р1	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	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р2	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	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р3	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	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3;ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P6	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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	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,	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	готовность следовать их корпоративной культуре	международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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



Институт Энергетический
 Направление подготовки (специальность) 130303 «Энергетическое машиностроение»
 Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович

Тема работы:

Модернизация теплообменных аппаратов различной производительности на основе численного моделирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	716/с от 03.02.16

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2016 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Тип теплообменника – кожухотрубный; Греющая среда – насыщенный пар; Нагреваемая среда – топливный газ (метан).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение (с обоснованием актуальности темы и цели работы) 1 Развитие теплообменных аппаратов 2 Современные тенденции и перспективные конструкции теплообменных аппаратов 4 Описание объекта исследования (с учетом вариантов модернизации теплообменников) 5 Численное моделирование процессов в теплообменнике 6 Социальная ответственность 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Заключение

Перечень материала	графического	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Социальная ответственность	Романцов И.И.	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н.	
Иностранный язык	Исакова Ю.И.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Основные разделы ВКР должны быть написаны на русском языке. Один из разделов работы (по согласованию с консультантом) переводится на иностранный язык		

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гиль А.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Характеристика объекта исследования и области его применения</i>	<i>Объектом исследования является математическая модель теплообменного аппарата, который предназначен для подогревания газа.</i>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование работ</i>	<i>Необходимо составить перечень работ, необходимых для достижения поставленных задач, определить участков каждой работы, установить продолжительности работ в рабочих днях..</i>
<i>2. Расчет трудоемкости работ</i>	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение участников работы; установление продолжительности работы в рабочих днях.</i>
<i>3. Расчет затрат на научно-исследовательскую работу</i>	<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,), расходы на проведение научно-исследовательской работы.</i>
<i>4. Расчет цены договора научно-исследовательской работы</i>	<i>Расчет плановых накоплений (прибыль) и определение цены договора</i>
<i>5. Технико-экономическая оценка научно-исследовательской работы</i>	<i>Оценка проведенной работы</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович

Институт	Энин	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	Магистр	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	<i>Теплообменный аппарат для нагрева топливного газа (метана) паром перед подачей его к горелкам печи.</i>
--	--

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 электричество, молниезащита - источники, средства защиты)	Рассмотреть вредные факторы: 1. Повышенный уровень шума на рабочем месте. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Микроклимат. Рассмотреть опасные факторы: 1. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов. 2. Взрывоопасность.
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.	– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и	Определить наиболее вероятную ЧС.

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.	Мероприятия по защите.
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.	Организация рабочего места в производственном помещении

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	Старший преподаватель		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4A	Хомутов Евгений Олегович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 107 страниц, 28 рисунков, 12 таблиц, 15 источников, трёх приложений.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплообменник, топливный газ, интенсификаторы теплообмена, принудительная конвекция, турбулентность, расчетная сетка, присоединительный вихрь, тепловой поток, геометрическая модель.

Объектом исследования является теплообменный аппарат, установленный на установке селективной очистки масел фенолом, который применяется для нагрева топливного газа перед подачей его на горелочные устройства печи.

Цель работы – исследование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении теплоносителя в прямых круглых трубах с интенсификаторами теплообмена и анализ эффективности различных турбулизаторов.

В процессе исследования проводилось математическое моделирование объекта исследования с применением пакета прикладных программ ANSYS, анализ полученных результатов и оценка эффективности различных видов турбулизаторов.

В результате исследования рассмотрены различные методы интенсификации теплообмена, получено распределение скоростей и температуры по продольному сечению труб теплообменника.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: кожухотрубный теплообменник, в качестве греющей среды применяется насыщенный пар температурой 130 °С, нагреваемой средой является метан, который нагревается до 90 °С.

Оглавление

Введение.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 1. Развития теплообменных аппаратов	14
1.1 Первые теплообменные аппараты.....	14
1.2 Современные теплообменники.....	15
Глава 2. Перспективные конструкции теплообменных аппаратов.....	25
Глава 3. Описание объекта исследования	35
Глава 4. Численное моделирование процессов в теплообменнике.....	Ошибка!
Закладка не определена.	
4.1 Физико-математическая постановка задачи.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 5. Результаты расчетов.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Труба с поперечной кольцевой накаткой с шагом 40 мм.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Труба с поперечной кольцевой накаткой с шагом 16 мм.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Труба с поперечной кольцевой накаткой с шагом 4 мм.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Канал с кольцевыми вставками	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Оценка эффективности интенсификаторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	38
6.1 Планирование работ.....	38
6.2 Расчет трудоемкости работ	39
6.3 Расчет затрат на научно-исследовательскую работу	41
6.4 Расчет цены договора научно-исследовательской работы	44
6.5 Техничко-экономическая оценка научно-исследовательской работы	44
Глава 7. Социальная ответственность.....	Ошибка! Закладка не определена.

7.1 Производственная безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.2 Повышенный уровень шума в помещении теплообменников	Ошибка! Закладка не определена.
7.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	Ошибка! Закладка не определена.
7.4 Микроклимат	Ошибка! Закладка не определена.
7.5 Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Ошибка! Закладка не определена.
7.6 Экологическая безопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Ошибка! Закладка не определена.
7.8 Общие требования пожарной безопасности к техническому оборудованию	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список публикаций.....	45
Список использованных источников	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В.....	Ошибка! Закладка не определена.

Глава 1. Развитие теплообменных аппаратов

1.1 Первые теплообменные аппараты

Первые теплообменники появились ещё в VI веке до нашей эры в древней Галлии [2]. Их появление было обусловлено потребностью в больших объемах вод с комфортной температурой для мытья. Во время походов в качестве теплообменников использовали пластинчатые доспехи или щиты, в то время как для бань их изготавливали специально. Конструктивно теплообменник состоял из резервуара, через который протекала холодная вода. В него погружали вогнутые металлические листы. Благодаря рифленому листу из меди или бронзы (иногда, из золота или серебра) теплообмен проходил без смешивания горячей и холодной воды [2].

Уже в то время люди опытным путем установили, что охлаждение воды происходит быстрее, если на металлическом листе имелся чеканный орнамент, даже в том случае, когда площадь листа была меньше [2].

Со временем теплообменники видоизменились. Чеканные украшения на них постепенно сменились эмалевыми рисунками, поскольку восточные мастера считали чеканку всего лишь украшением, а ее истинное предназначение – интенсификация теплообмена, – еще долгое время оставалось для них неизвестным. Однако применение эмалевых покрытий дало неожиданный результат: пластинчатые теплообменники стали гораздо более коррозионно-устойчивыми, что позволило их использовать даже в морской воде. Так, в шелковых мастерских, расположенных на берегу Индийского океана, с их помощью охлаждали специальные красители [2].

Долгие века (со II по XII век) теплообменник оставался однопластинчатым [2]. Однако необходимость в более компактном устройстве, пригодном для использования его в боевых походах, связанных с преодолением больших расстояний, способствовала к появлению первого многопластинчатого теплообменника. Изобретателем нового типа теплообменника, состоящего из

нескольких пластин, был кузнец Зелигман [2]. Конструкция состояла из набора металлических пластин (3–5 штук), уложенных одна на другую, межпластинчатое же пространство уплотнялось специальным шнуром, пропитанным тюленьим жиром. Полученное устройство располагалось внутри бочки, в наружные полости которой подавалась холодная вода, а во внутренние – горячая. Подобный принцип действия в общих чертах свойствен и современным пластинчатым теплообменникам.

1.2 Современные теплообменники

Кожухотрубные теплообменники широко используемое оборудование в различных отраслях промышленности, таких как процесс производства электроэнергии, переработка нефти, химикатов и бумаги. По данным опроса, проведенного на рынке в Европе, на его долю приходится около 42 % доли рынка [1]. Они появились в начале XX века в связи с нуждой тепловых станций в теплообменных аппаратах с большой поверхностью, работающих при относительно высоком давлении [3]. Конденсаторы, испарители, подогреватели воды – все это кожухотрубные теплообменники, в которых теплообмен и термохимические процессы между жидкостями и газообразными веществами могут протекать как с изменением, так и без изменения агрегатного состояния. С момента появления до настоящего времени их конструкция с учетом современных достижений науки и техники, опыта эксплуатации, появления новых материалов и т.д. претерпела ряд усовершенствований и значительно отличается от первых достаточно примитивных моделей. Развитие нефтяной промышленности в те же годы потребовало самого разнообразного теплообменного оборудования, такого, как конденсаторы и испарители для различных фракций нефти, охладители и нагреватели нефтепродуктов т.д. Кожухотрубные теплообменники, являющиеся необходимой частью оборудования для нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности, стали конструировать применительно к новым условиям эксплуатации: работа с

загрязненными жидкостями при повышенных значениях температур и давлений требовала таких конструкций теплообменных аппаратов, очистка и обслуживание которых не представляла бы особых затруднений.

Состоят кожухотрубные теплообменники, как правило, из трубных пучков, закрепленных в трубных досках (трубчатых решетках), промежуточных перегородок, корпусов (кожухов), крышек, патрубков и опор. Концы труб крепятся в трубных решетках пайкой, сваркой или развальцовкой. Один из теплоносителей движется по трубам, а второй – в межтрубном пространстве (между кожухом и трубами).

К этому же типу кожухотрубных теплообменников относятся теплообменники с витыми трубками, а также теплообменники воздушного охлаждения с оребренными трубами.

С каждым годом кожухотрубчатые теплообменники становились все более широко используемым видом агрегатов [3]. Это обуславливается в первую очередь надежностью конструкции, огромным количеством вариантов исполнения для работы в различных условиях, в частности:

- площади поверхностей от очень малых до максимально крупных (5000 м²);
- выполнение условий по термическим напряжениям без значительного повышения цены на аппарат;
- конденсация и испарение, однофазные потоки по холодной и горячей сторонам теплообменного аппарата с горизонтальным или вертикальным исполнением;
- при ремонте и очистке имеется возможность извлечения пучка труб.
- в больших пределах изменяющаяся разница давлений по обеим сторонам благодаря широкому выбору вариантов;
- диапазон давления от очень высоких значений до вакуума;
- возможность использования различных материалов в соответствии с требованиями к рабочему давлению, коррозии, стоимости, температурному режиму;

– применение развитых теплообменных поверхностей как снаружи труб, так и внутри, а также разных видов интенсификаторов и т. д. [3];

Такие аппараты очень просты в изготовлении, обладают высокой надежностью, а также возможность иметь огромную площадь теплообмена в одном агрегате.

Кожухотрубчатые теплообменники с поперечными перегородками в межтрубном пространстве и с неподвижными трубными решетками, применяемые в нефтяной, химической и других отраслях промышленности, обозначаются индексами и классифицируются [4]:

– по назначению (первая буква индекса): И – испарители; Х – холодильники; Т – теплообменники; К – конденсаторы;

– по конструкции (вторая буква индекса): У – с U-образными трубами; П – с плавающей головкой; Н – с неподвижными трубными решетками; ПК – с плавающей головкой и компенсатором на ней; К – с температурным компенсатором на кожухе;

– по расположению (третья буква индекса): В – вертикальные; Г – горизонтальные.

1.2.1 Теплообменники с неподвижными трубными решетками

Теплообменные аппараты применяют для охлаждения и нагрева, а холодильники – для охлаждения (водой или любым другим непожароопасным, взрывобезопасным и нетоксичным, хладагентом) газообразных и жидких сред. Холодильники и теплообменники могут иметь вертикальную или горизонтальную компоновку, быть одно-, двух-, четырех и шестиходовыми по трубному пространству. Кожух, трубы, и другие элементы конструкции изготавливаются из нержавеющей или углеродистой стали, а трубы холодильников делают из латуни. Крышки и распределительные камеры холодильников изготавливают из углеродистой стали. Общая схема теплообменника с неподвижными трубными решетками изображена на рис. 1.1

Трубный пучок располагается в кожухе 1, в трубных решетках 3 развальцованы теплообменные трубы 2. К кожуху жестко подсоединена трубная решетка. Распределительными камерами 4 и 5 с торцов закрывают кожух аппарата. Камеры и кожух соединены фланцами.

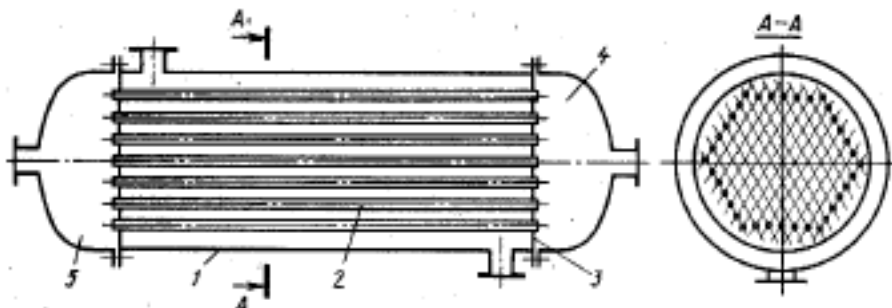


Рисунок 1.1 – Теплообменный аппарат с неподвижной трубной решеткой
1 – кожух, 2 – теплообменные трубы, 3 – трубные решетки, 4 и 5 –
разделительные камеры

Теплообменник имеет штуцера для отвода и подвода теплоносителей. В межтрубном пространстве движется один теплоноситель, внутри труб – другой.

Основной особенностью агрегатов типа Н является то, что к кожуху приварены трубные решетки, а с ними жестко соединены трубы. Из-за этого исключена возможность взаимных перемещений кожуха и труб. Поэтому агрегаты этого типа часто называют теплообменниками жесткой конструкции.

Трубы в кожухотрубчатых теплообменниках пытаются располагать так, чтобы зазор между поверхностью труб и внутренней стенкой кожуха был минимальным. При значительном зазоре большая доля теплоносителя может обойти основную поверхность теплообмена. С целью минимизации объема теплоносителя, проходящего в зазоре между кожухом и трубным пучком, в месте зазора располагают различные заполнители. Ими могут быть глухие трубы или продольные полосы, приваренные к кожуху. Заполнители могут располагаться прямо у внутренней поверхности кожуха, так как они не проходят через трубные решетки.

Если число и диаметр труб (площадь сечения трубного пространства) выбрано, то в результате теплового расчета определяют длину трубного пучка.

Для этого рассчитывают коэффициент теплопередачи и теплообменную поверхность. Часто бывает, что расчетная длина оказывается больше длины серийно выпускаемых труб. В таких случаях используют теплообменники с двумя и более ходами (по трубному пространству). Несколько ходов достигается установкой продольных перегородок в распределительной камере. На заводах производятся двух-, четырех и шестиходовые агрегаты жесткой конструкции.

На рис. 1.2 изображен двухходовой горизонтальный теплообменник типа Н, который состоит из распределительной камеры 11, двух крышек 4 и цилиндрического сварного кожуха 8. Кожух, крышки и распределительная камера соединены фланцами. Также к кожуху приварены трубные решетки. Трубы 7, которые закреплены в двух трубных решетках 3, образуют трубный пучок. Для ввода и вывода теплоносителей из трубного и межтрубного пространств в распределительной камере и кожухе выполнены штуцера. Ходы теплоносителя по трубам обеспечивает перегородка 13, установленная в распределительной камере.

Для герметичного соединения узла трубной решетки с продольной перегородкой служит уложенная в паз решетки 3 прокладка 14.

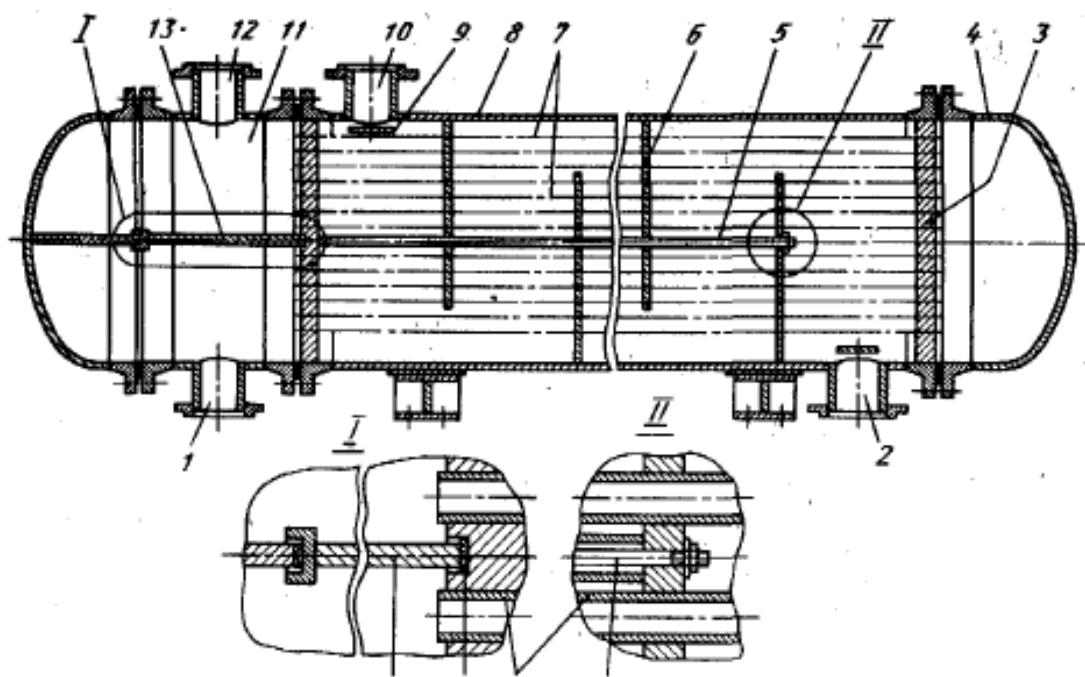


Рисунок 1.2 – Двухходовой горизонтальный теплообменник с неподвижными решетками

1, 12 – штуцера ввода и вывода из трубного пространства, 2, 10 – штуцера ввода и вывода из межтрубного пространства, 3 – решетки, 4 – крышки, 5 – стяжки, 6 – перегородки, 7 – трубы, 8 – кожух, 9 – отбойник, 11 – распределительная камера, 13 – перегородка, 14 – прокладка

Поперечные перегородки 6 зафиксированы стяжками 5. Перегородки служат для создания зигзагообразного движения теплоносителя в межтрубном пространстве по длине агрегата. Такое движение создается для того, чтобы повысить интенсивность теплоотдачи. Так как при поперечном обтекании труб теплоносителем она выше, чем при продольном. Прямоугольная или круглая пластина, защищающая трубы от местного эрозионного изнашивания, служит отбойником 9. Он установлен на входе теплообменной среды в межтрубное пространство.

Для конденсации паров применяются кожухотрубчатые конденсаторы. Также, за счет теплоты конденсации пара, они могут использоваться для подогрева газов и жидкостей.

Кожухотрубчатые конденсаторы могут быть горизонтальные или вертикальные, с температурным компенсатором на кожухе или с неподвижной трубной решеткой. В соответствии с [5], они могут быть двух-, четырех и шестиходовыми по трубному пространству. От холодильников их отличает большой диаметр штуцера для подвода пара в межтрубное пространство.

Теплообменные агрегаты, у которых горячим теплоносителем является насыщенный водяной пар, должны иметь конденсатоотводчики, служащие для отвода конденсата и предотвращения проскока пара в линию отвода конденсата.

В кожухотрубчатых испарителях в межтрубном пространстве может быть газообразный, парообразный, парогазовый, парожидкостной или жидкий теплоноситель, а в трубном пространстве кипит жидкость. Согласно [5] такие

агрегаты выполняются только одноходовыми, вертикальными и с трубками диаметром 25х2 мм. Они могут быть с температурным компенсатором на кожухе или с неподвижной трубной решеткой.

1.2.2 Теплообменные аппараты с температурным компенсатором на кожухе

При больших температурных напряжениях, появляющихся в стенках теплообменных агрегатов или трубах, применяют температурные компенсаторы. Теплообменный агрегат с линзовым компенсатором на корпусе изображен на рис. 1.3.

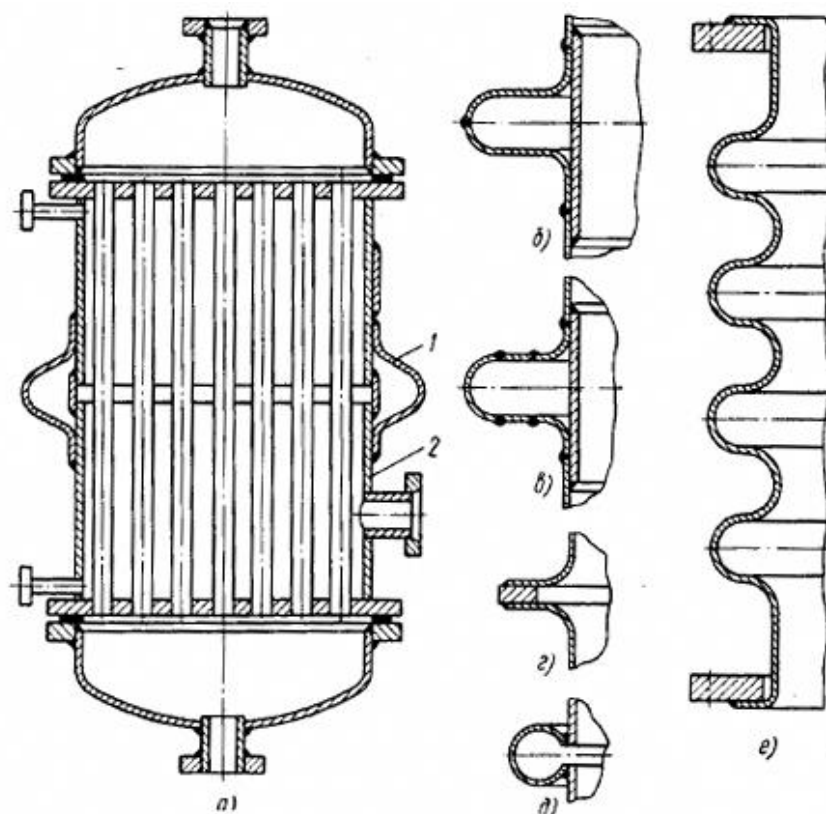


Рисунок 1.3 – Теплообменный агрегат типа К с линзовым компенсатором

В данном агрегате деформации, возникшие в результате изменения температуры, компенсируются осевым расширением или сжатием линзы компенсатора. Теплообменные аппараты с линзовыми компенсаторами

используют при небольших давлениях в межтрубном пространстве (максимум 1,6 МПа) и малых температурных деформациях (до 15 мм).

Линзовые компенсаторы, состоящие из одной и более линз, используют для цилиндрических элементов агрегатов, диаметр которых превышает 100 мм. Каждая линза компенсирует малые температурные деформации (4–5 мм). Так, например, набор линз (максимум четыре) способен компенсировать изменение длины до 15 мм.

Предельно допустимое давление в кожухе, равное 1,6 МПа, ограничивает использование кожухотрубчатых теплообменных агрегатов с линзовым компенсатором. Если допустимое давление в кожухе больше 1,6 МПа, то необходимо использовать теплообменные аппараты с U-образными трубами или с плавающей головкой.

1.2.3 Теплообменники с плавающей головкой

Кожухотрубчатый теплообменный агрегат с плавающей головкой (см. рис. 1.4), который используется для нагрева (охлаждения) газообразных или жидких сред без фазового перехода.

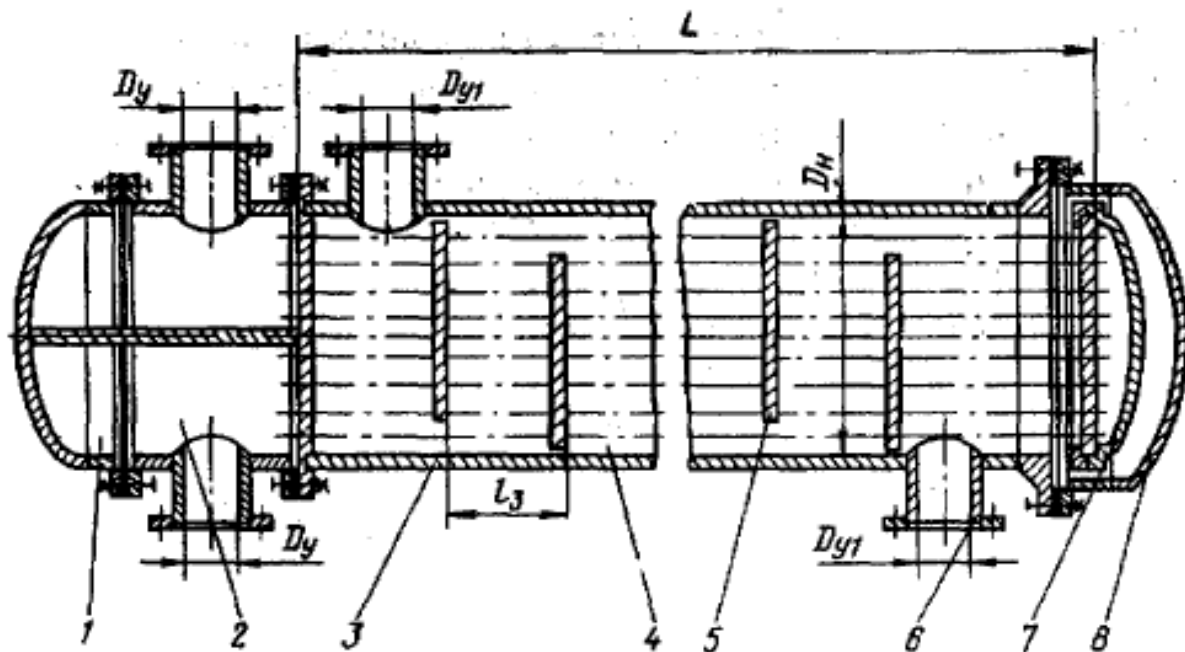


Рисунок 1.4 – Кожухотрубчатый теплообменный агрегат с плавающей головкой

1 – крышка распределительной камеры; 2 – распределительная камера; 3 – кожух; 4 – теплообменные трубы; 5 – перегородка с сегментным вырезом; 6 – штуцер; 7 – крышка плавающей головки; 8 – крышка кожуха

Плавающая головка образуется внутренней крышкой, которая отделяет межтрубное пространство от трубного, и незакрепленной на кожухе второй трубной решеткой. Эта конструкция позволяет исключить появление температурных напряжений, возникающих в трубах и в кожухе.

Такие теплообменные агрегаты, стандартизованные в соответствии с [5], изготавливаются двух или четырехходовыми, вертикальными высотой 3 м или горизонтальными длиной 3, 6 и 9 м.

1.2.4 Теплообменные агрегаты с U-образными трубами

Теплообменный агрегат с U-образными трубами изображен на рис. 1.5. Такая конструкция кожухотрубчатых теплообменных агрегатов позволяет трубам совершать свободное удлинение, что не дает возможности появления температурных напряжений.

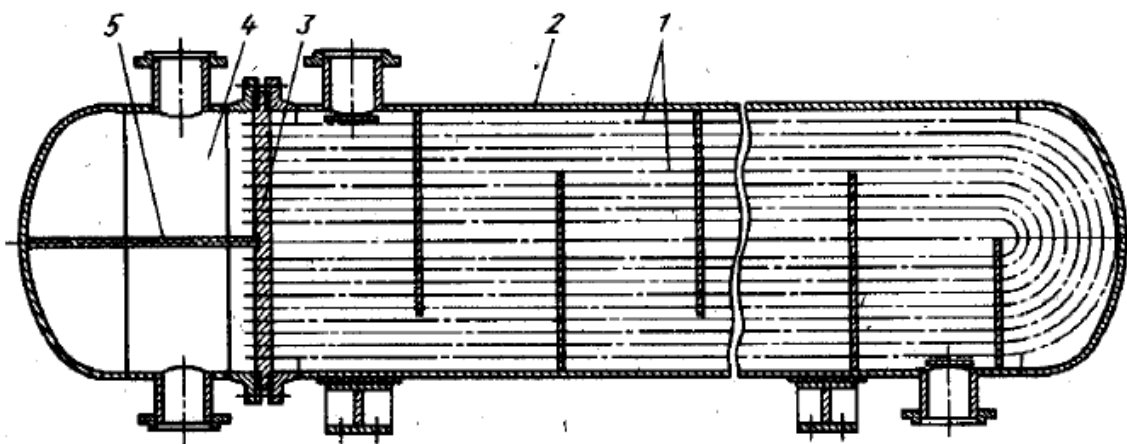


Рисунок 1.5 – Теплообменник с U-образными трубами

1 – U-образные трубы; 2 – кожуха; 3 – трубная решетка; 4 – распределительная камера; 5 – перегородка

Теплообменные агрегаты типа У изготавливаются одно или двухходовыми по межтрубному пространству и двухходовыми по трубному пространству.

U-образное исполнение труб теплообменника позволяет им свободно удлиняться, т.е. все трубы могут расширяться независимо от кожуха и соседних труб. Чтобы избежать опасных температурных напряжений в трубной решетке, которые могут возникнуть вследствие температурного скачка на линии стыка двух ее частей, необходимо чтобы разность температур стенок труб не превышала 100 °С.

К преимуществам данной конструкции агрегата можно отнести то, что она позволяет полную замену трубного пучка или периодическое его извлечение для очистки наружной поверхности труб. Главным недостатком такой конструкции является наружная поверхность труб, которая неудобна для механической очистки. Также затруднена очистка внутренней поверхности труб. Поэтому рекомендуется в теплообменник направлять среды, которые не образуют отложений, требующих механическую очистку.

Теплообменные агрегаты с U-образными трубами используют для охлаждения и нагрева газообразных или жидких сред без их фазового перехода. Они применяются при давлении до 6,4 МПа, имеют менее сложную конструкцию, чем теплообменники с плавающей головкой (нет внутренней крышки, одна трубная решетка), однако их производят только двухходовыми, из труб 20х2 мм. Основные параметры теплообменников приведены в [5].

Глава 2. Перспективные конструкции теплообменных аппаратов

Основной целью улучшения работы теплообменников является снижение сопротивления тока среды и интенсификация теплообмена.

Такого улучшения аппаратов можно достигнуть применением интенсифицированных поверхностей теплообмена. Например оребрение и профилирование труб. Конструктивные изменения должны учитывать и совершенствование аэродинамики трубных пучков; должны создаваться условия для равномерного омывания теплоносителем поверхности теплообмена аппарата. Необходимо исключить застойные зоны протечки теплоносителя в зазорах промежуточных перегородок и помимо трубного пучка.

Проблемы повышения надежности работы аппаратов решаются, как правило, путем устранения недостатков существующих конструкций, выявленных в процессе эксплуатации аппаратов. Так, например, рациональная организация подвода межтрубного теплоносителя и его распределения по трубному пучку позволяет повысить виброненадежность трубных систем.

Наиболее исследованными и прошедшими промышленную апробацию в серийных теплообменных аппаратах в настоящее время являются трубы с искусственной шероховатостью [6]. Чаще всего дискретно-шероховатыми считают каналы и трубы с разнообразными выступами на внешней и внутренней поверхности: с кольцевой (ПКТ, рис. 2.1), спиральной (ПВТ, рис. 2.2) или продольной накаткой (ППТ, рис. 2.3). Внутренняя поверхность трубок с накаткой при толщине стенки до 1,5 мм эквидистантна наружной и представляет собой дискретное чередование выступов и впадин.

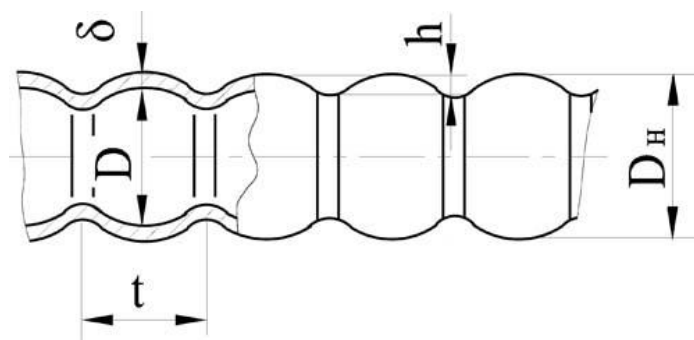


Рисунок 2.1 – Профильная кольцевая трубка

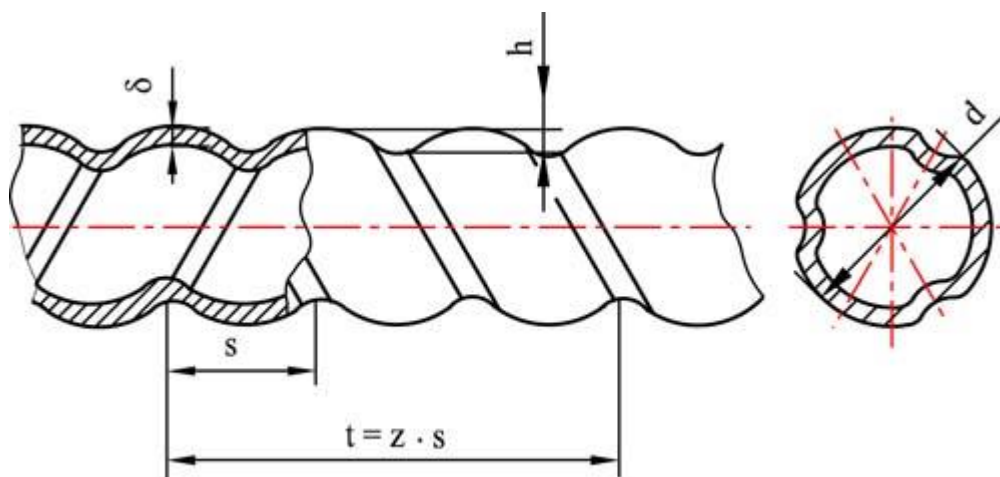


Рисунок 2.2 – Общий вид витых труб

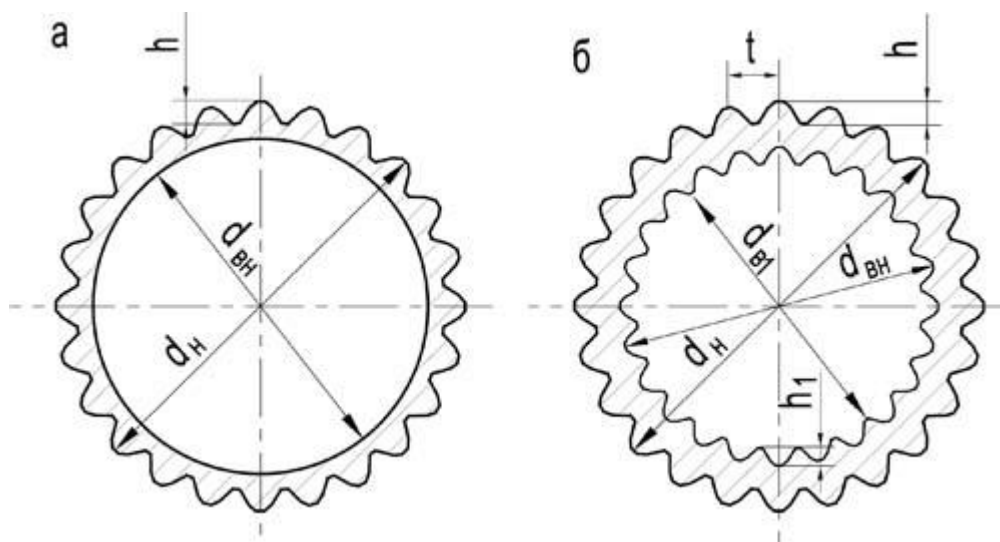


Рисунок 2.3 – Трубки с продольной накаткой

а – накатка на гладкой оправке, б – накатка на профильной оправке;

$$d_{\text{н}} = 16\text{--}25 \text{ мм}$$

Повышение эффективности теплообмена при применении поверхностей теплообмена, образованных из профилированных трубок, обладает рядом преимуществ:

- теплообмен улучшается как с внутренней, так и с наружной стороны поверхности;
- технология накатки достаточно проста;

– при использовании профилированных трубок нет необходимости изменять используемую технологии сборки агрегатов.

Эффективность теплообмена зависит от гидродинамики потока. Она определяется нарушением упорядоченного течения жидкости в вязком подслое за счет его закрутки и турбулизации [7]. Однако с появлением различных выступов на трубе повышается гидравлическое сопротивление,

Гидравлическое сопротивление профилированных трубок при этом выше, чем у гладких трубок, что требует соответствующего увеличения мощности на прокачку теплоносителя через них.

На рис 2.4 для примера показаны расчетные и осредненные опытные данные, показывающие преимущества применения ПВТ в подогревателях низкого давления ПТУ на номинальном и переменном режимах работы. Наблюдения эксплуатационного персонала станций, где эксплуатируются агрегаты с ПВТ, доказывают результаты производственных испытаний.

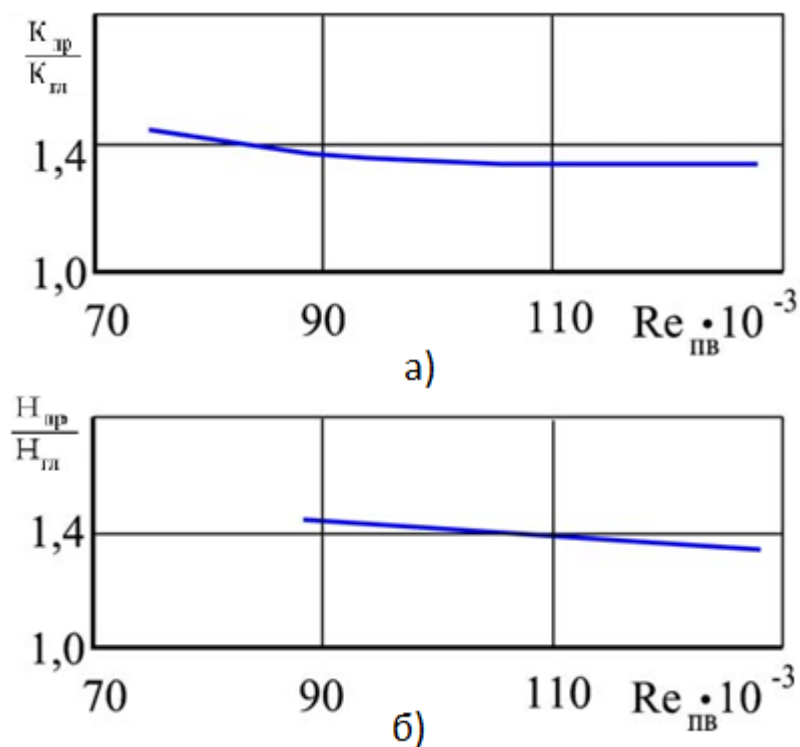


Рисунок 2.4 – Увеличение коэффициента теплопередачи (а) и гидродинамического сопротивления (б) в ПНД–3 турбины К-100-90 (ТГ№ 6 ВТГРЭС) с ПВТ по сравнению с гладкотрубным аппаратом

Использование вертикальных продольно-профилированных трубок (рис 2.4) значительно (до 3,5 раз) увеличивает коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося пара [7]. Это можно объяснить воздействием на пленку конденсата сил поверхностного натяжения. Под действием появляющейся разницы давления пленка на выступах становится тоньше, стекая в ямы, по которым и удаляется. Наиболее интенсивная конденсация пара протекает на выступах трубки, а теплообмен ограничивается «толстой» ламинарной пленкой конденсата, стекающей по впадинам [7]. При помощи дополнительного профилирования ППТ винтообразной линией, профиль которой проявляется как на наружной, так и на внутренней поверхности трубки (рис. 2.5) путем воздействия на пленку конденсата именно в этой зоне была достигнута большая интенсификация теплообмена при конденсации пара [7].

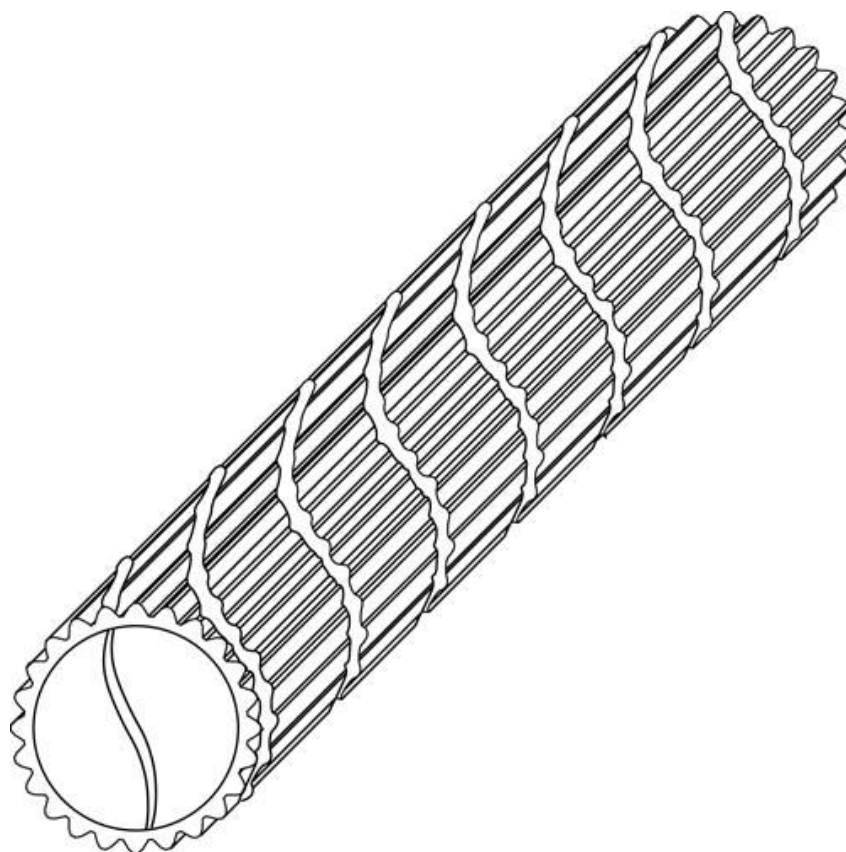


Рисунок 2.5 – Внешний вид трубок двойного профиля

Как показали проведенные опыты, увеличение коэффициента теплопередачи для трубки двойного профиля (ТПД) по сравнению с продольно-профилированной трубкой (ППТ) во всем диапазоне исследованных

параметров происходит в среднем 45 % (при сравнении с гладкой трубой – в среднем 180 %). Теплоотдача со стороны конденсирующегося пара на трубках двойного профиля в зависимости от удельной паровой нагрузки (плотности теплового потока) увеличивается на 80–150 % [7].

Полученный эффект интенсификации с паровой стороны объясняется, по-видимому, особой геометрией наружной поверхности трубки двойного профиля. При принятой технологии изготовления данных труб во время накатки винтовой канавки местами происходит смятие продольных ребер катком. Это приводит к выдавливанию металла (его вытеснение) в область продольных впадин, что вызывает существенное изменение гидродинамики пленки конденсата на поверхности ТДП [7].

Труба со встречной винтовой накаткой (ВВТ), также является перспективной поверхностью для теплообменных агрегатов (см. рис 2.6). Коэффициент теплопередачи у труб со встречной винтовой накаткой на 20–30 % больше, чем у схожих по параметрам накатки ПВТ. Такие результаты получены во время исследования конденсации неподвижного пара [7].

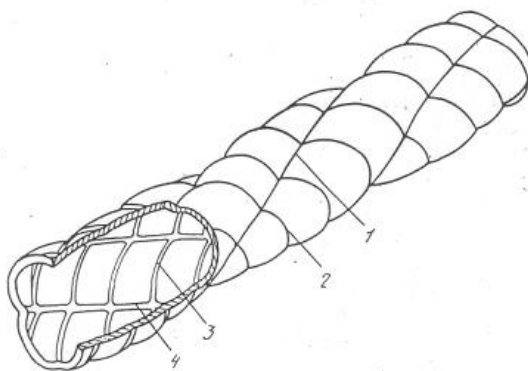


Рисунок 2.6 – Встречно-винтовая трубка

1, 2 – канавки; 3, 4 – выступы

При работе теплообменного оборудования в химическом производстве в теплоносители могут находиться различные загрязнители. Ими могут быть продукты коррозии, оксиды металла, ил и разные микроорганизмы. В процессе эксплуатации происходит ухудшение эффективности теплопроводности.

Причиной служит налет, накапливающийся на стенках труб теплообменника. В результате снижается эффективность работы оборудования и для обеспечения требуемых температурных параметров необходимо увеличивать расход теплоносителя. Также, накопившиеся отложения затрудняют движение теплоносителя, что приводит к увеличению гидравлических сопротивлений.

Единственным рабочим способом, дающим возможность исключить дополнительные расходы, капитальный ремонт или замену теплообменного аппарата, является периодическая очистка поверхности теплообмена [8].

Для повышения качества безразборной очистки и эффективности работы теплообменного оборудования возможно применение новых конструкций аппаратов типа «труба в трубе» [8]:

- со специальным механическим устройством, очищающим поверхность труб (рис. 2.6);
- с тангенциальным подводом теплоносителя с зернистым материалом в межтрубное пространство;
- с устанавливаемыми в патрубки входа и выхода жидкой рабочей среды трубчатыми элементами.

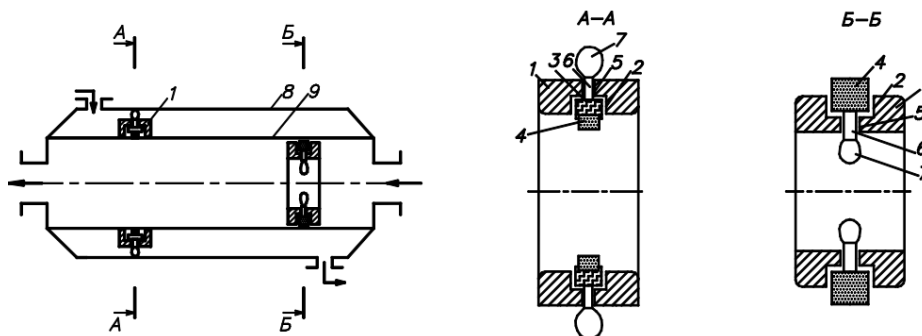


Рисунок 2.6 – Теплообменный агрегат со специальным механическим устройством, очищающим поверхность труб

- 1 – корпус; 2 – радиальные пазы; 3 – плавающие втулки; 4 – очистные элементы; 5 – отверстия; 6 – валики; 7 – рабочие лопасти; 8 – наружная труба; 9 – внутренняя труба

В этой конструкции теплообменного агрегата для повышения эффективности очистки поверхности труб применяют очистные элементы 4. Они устанавливаются на плавающих втулках 3 и закрепляются в пазы 2, которые выполнены в полой корпусе 1, установленном с зазором на трубе. Очистные элементы имеют положительную плавучесть. Это позволяет им под действием центробежной силы, возникающей во время вращения втулки, прижиматься к наружной очищаемой поверхности трубы. Вращение втулок происходит под действием потока жидкости на лопасти 7, установленные на наружной поверхности втулки с очистными элементами.

Такая конструкция теплообменника типа «труба в трубе», имеющая очистной механизм, улучшает процесс удаления загрязнений на поверхности труб благодаря активному вращению очистных элементов [8].

Это делает процесс очистки быстрым, качественным, с меньшим числом проходов, требуемых для очистки поверхностей труб, что приводит к снижению стоимости очистки и экономии энергозатрат. Недостатком данной конструкции является сложность в обслуживании полого корпуса, а также очистных элементов с устройством их прижима к очищаемой поверхности.

Чтобы избежать данной проблемы была спроектирована другая конструкция теплообменного агрегата типа «труба в трубе» с тангенциальным подводом теплоносителя с зернистым материалом в межтрубное пространство (см. рис. 2.7) [8].

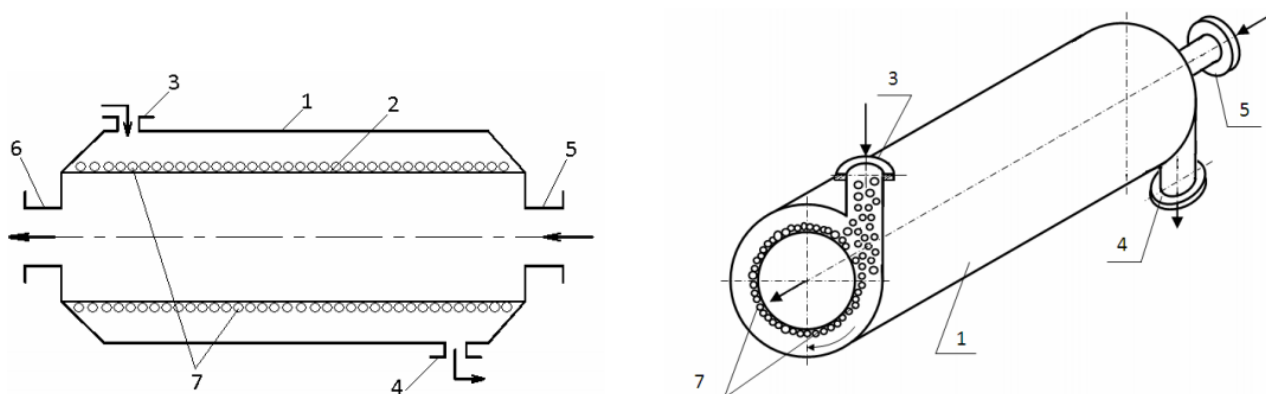


Рисунок 2.7 – Теплообменный агрегат типа «труба в трубе» с тангенциальным подводом теплоносителя в межтрубное пространство

1 – наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3, 4, 5, 6 – патрубки; 7 – зернистый материал

В данном устройстве очистка наружной поверхности труб происходит следующим образом. По патрубку 3 подают жидкую рабочую среду в межтрубное пространство труб 1 и 2. Очистными элементами является зернистый материал, содержащийся в жидкой среде, который имеет плотность меньше, чем плотность жидкости, за счет чего он обладает положительной плавучестью. Рабочая среда поступает в межтрубное пространство по патрубкам 3 и 4, которые установлены тангенциально к боковой поверхности наружной трубы 1, за счет чего она движется вдоль оси труб с вращением. При вращении возникают центробежные силы, которые прижимают зернистый материал, обладающий положительной плавучестью, к наружной поверхности внутренней трубы. Таким образом удаляются с поверхности солевой камень, накипи, частицы ржавчины, продукты деструкции и других отложения, которые уносятся потоком жидкости в патрубок 4 [8].

Интенсивность очистки регулируется изменением расхода рабочей среды в межтрубном пространстве. Данное устройство имеет достаточно простую конструкцию. Для её реализации необходимо вместо традиционной установки патрубков входа и выхода среды установить их тангенциально (как в

гидроциклонах), а очистные элементы с плотностью ниже плотности жидкости не являются дефицитом.

Такая конструкция теплообменного агрегата типа «труба в трубе» с тангенциальным подводом теплоносителя в межтрубное пространство дает возможность уменьшить время очистки наружной поверхности труб теплообменника и повысить ее качество [8]. Недостатком такой конструкции является невозможность её использования в традиционных конструкциях теплообменных агрегатов типа «труба в трубе», так как нормальное расположение патрубков входа и выхода к боковой поверхности не позволяет потоку очищающей жидкости вращаться, следовательно прижимать зернистый материал к поверхности трубы и очищать поверхность от загрязнений и отложений [8].

Однако существует способ, который позволяет обойти данный недостаток. Для этого была разработана новая конструкция теплообменного агрегата типа «труба в трубе», в котором в патрубки входа и выхода жидкой рабочей среды устанавливаются трубчатые элементы (см. рис. 2.8).

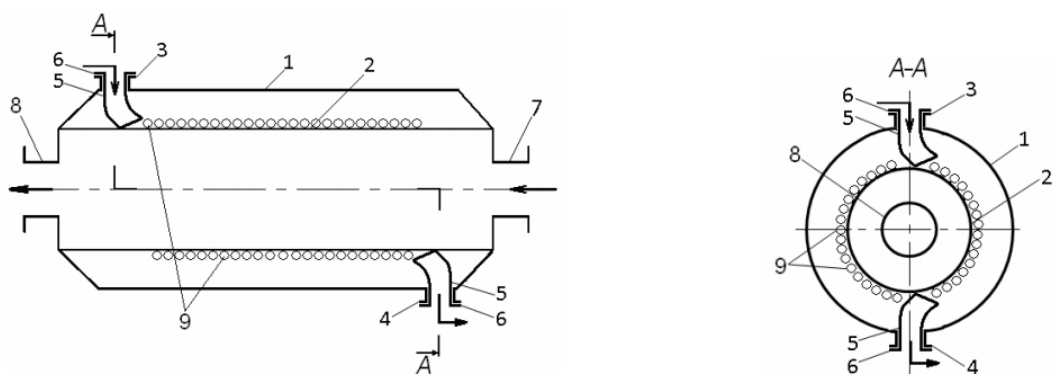


Рисунок 2.8 – Теплообменный агрегат с устанавливаемыми в патрубки входа и выхода жидкой рабочей среды трубчатыми элементами

1 – наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3, 4, 7, 8 – патрубки; 5 – трубчатый элемент; 6 – диск; 9 – зернистый материал

Особенностью такой конструкции является то, что в штуцера входа и выхода внешней трубы устанавливают дополнительные трубчатые элементы

[8]. Их диаметр меньше диаметра патрубков ввода и вывода жидкой рабочей среды, причем стенки трубчатых элементов на одном торце имеют криволинейный профиль и отогнуты в сторону наружной трубы, а на другом их торце герметично закреплён диск [8].

Монтаж таких трубчатых элементов в штуцера входа и выхода жидкой рабочей среды в межтрубное пространство даёт возможность закрутить рабочую среду в пространстве наружной трубы по всей её длине [8].

Установка этих устройств позволяет повысить эффективность процесса очистки внешней поверхности внутренней трубы в теплообменном агрегате типа «труба в трубе», в котором штуцера входа и выхода рабочей среды в наружной трубе установлены нормально к её боковой поверхности. Данное устройство обладает довольно простой конструкцией. Трубчатые элементы с герметично закреплённым диском на одном торце и отогнутых в сторону наружной трубы на другом торце можно применять при нормальном расположении штуцеров входа и выхода среды [8].

Каждая из представленных конструкций теплообменных агрегатов типа «труба в трубе» с разными устройствами для очистки поверхностей труб даёт возможность улучшить качество очистки и эффективность работы теплообменников [8].

Глава 3. Описание объекта исследования

Объектом исследования является кожухотрубный теплообменный аппарат, предназначенный для нагрева топливного газа до температуры 90°C насыщенным паром перед подачей газа на горелочные устройства печи. Подогрев топливного газа в теплообменнике исключает возможность попадания в печь газового конденсата. Топливный газ подается в трубное пространство, пар – в межтрубное. Теплообменный аппарат изображен на рис. 3.1.

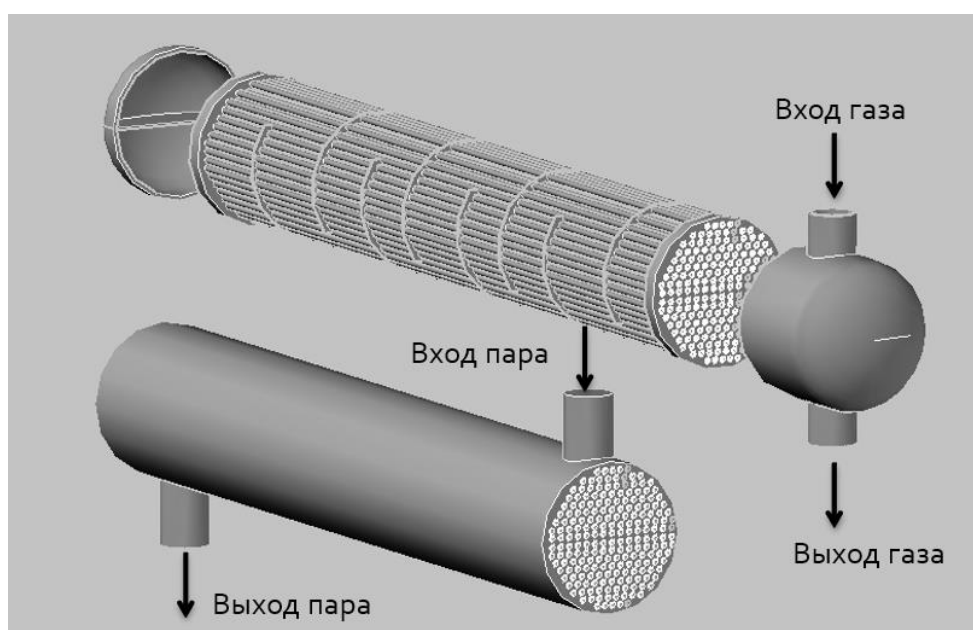


Рисунок 3.1 – Подогреватель топливного газа

3.1 Модернизация теплообменных аппаратов

Одним из самых распространенных практических методов повышение эффективности теплообменных агрегатов является интенсификация конвективного теплообмена за счет искусственной турбулизации потока. Для эффективной турбулизации потока применяются различные дискретно-шероховатые поверхности теплообмена.

Чаще всего дискретно-шероховатыми считают трубы и каналы с разными выступами на внутренней поверхности. Ими могут быть [10]:

- винтовые одно- и многозаходные выступы (рис. 3.2), получаемые с помощью накатных роликов или дисков;
- трубы со спирально-винтовой проволоочной вставкой (рис. 3.3);
- поперечные, периодически расположенные выступы (рис. 3.4), получаемые с помощью накатных роликов или дисков;
- каналы и трубы с внутренней резьбой.

Повышение эффективности теплообмена в трубах, используя разные выступы, которые образуются путем винтовой и кольцевой накаток, имеет ряд преимуществ по сравнению с иными конструкциями турбулизаторов [10]:

- а) технология накатки проста;
- б) впадины, которые образуются на внешней поверхности трубы при накатке выступов, улучшают теплообмен и на внешней поверхности;
- в) возможность полностью использовать имеющуюся технологию сборки кожухотрубчатых теплообменных агрегатов.

В дальнейшем будут рассматриваться интенсификаторы теплообмена типов 1, 2, 3, так как они обладают высокой эффективностью и технологичностью конструкции.

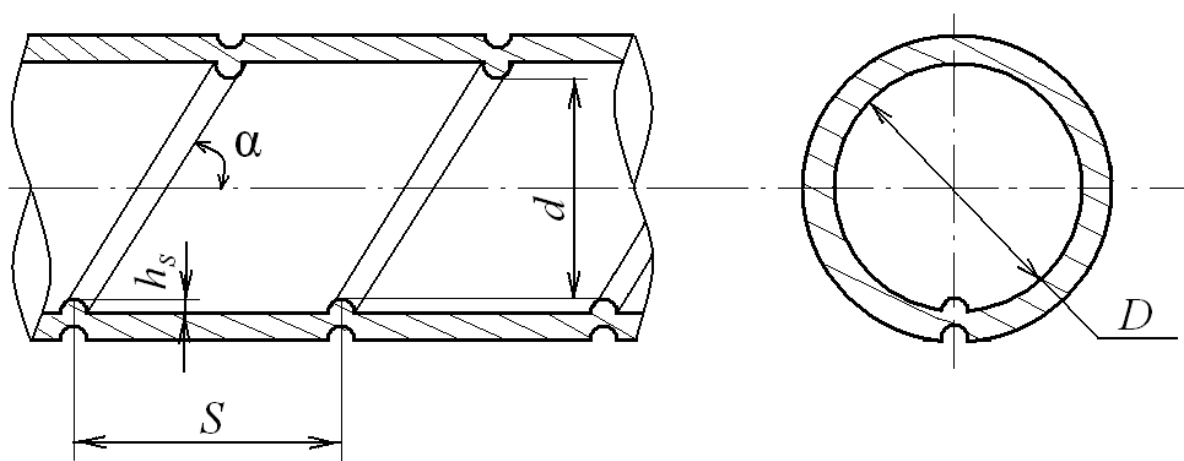


Рисунок 3.2 – Труба с винтовой накаткой

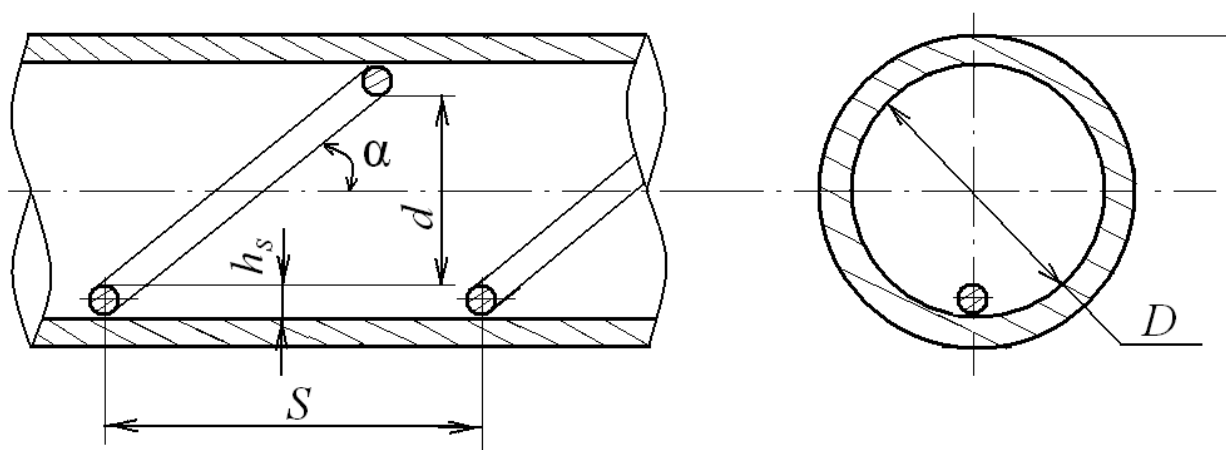


Рисунок 3.3 – Труба со спирально-винтовыми проволочными вставками

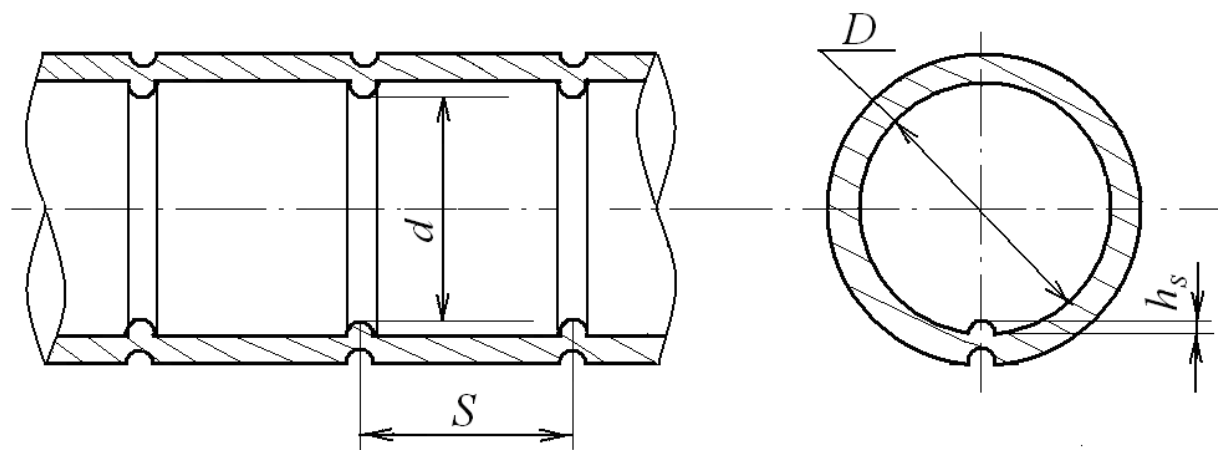


Рисунок 3.4 – Труба с поперечной кольцевой накаткой

Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Планирование работ

Планирование деятельности состоит в составлении списка работ, требуемых для успеха установленных задач, определение участков каждой работы, установление продолжительности работ в рабочих днях. В табл. 6.1 приведены состав и структура длительности научно-технических исследований и опытно-экспериментальных работ.

Таблица 6.1 – Состав и структура длительности научно-технических исследований и опытно-экспериментальных работ

Наименование этапов	Продолжительность этапов, %
А. Научные теоретические исследования	
– подготовительный этап (обоснование методик)	24
– разработка теоретической части темы	10
– подготовка к исследованиям	6
– исследовательские работы	48
– внесение корректив в исследования	4
– выводы и предложения по теме	6
– завершающий этап	2
Итого	100
Б. Исследовательские работы	
– определение основных конструктивных данных	5
– создание сетки теплообменника	15
– подготовка исходных данных для моделирования	4
– математическое моделирование аэродинамических процессов горелочного устройства	64
– анализ результатов моделирования	12
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 деятельности состоит в следующем: определение участников работы; установление продолжительности работы в рабочих днях; составление списка работ, требуемых с целью свершения установленной проблемы.

Для того чтобы осуществить НИР своевременно, при минимальных затратах средств, оформляется проект, в котором рассчитывается отдельная трудоемкость абсолютно всех работ, назначается количество соучастников деятельности согласно этапам, т.е. формируется фронт деятельности. Количество соучастников должно являться предельно допустимым согласно условиям выполнения этого либо другого этапа. В каждом этапе обязаны принимать участие только те сотрудники, которые на самом деле важны для проведения этого этапа в соответствии с своей специализацией.

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

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max})}{5}, \quad (6.1)$$

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

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

В табл. 6.2 приведена трудоемкость работ в часах на разных этапах.

Таблица 6.2 – 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 математической модели	12	8	10	Инженер, руководитель
6	Математическое моделирование физических процессов теплообмена	63	32	44	Инженер
7	Исследование влияния формы агрегата на теплообмен	15	6	10	Инженер
8	Исследование влияния величины расхода рабочих тел	12	8	10	Инженер
9	Изучение влияния параметров рабочих тел	20	12	15	Инженер
10	Внесение конструктивных доработок в геометрию теплообменника	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 выполняется в форме сметной плановой калькуляции, с целью расчета которой должны применяться действующие прейскуранты основных цен. Данные расчеты представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Основные расходы на оборудование

Статьи затрат	Стоимость, руб.
Персональный компьютер	28000
Комплекующие ПЭВМ	13000
Принтер	2000
Стол	3000
Стул	500
Шкаф	6000
Итого	52500

6.3.2 Заработная плата

Для расчета заработной платы приняты дневные ставки для руководителя и инженера в размере 172 и 48 руб. соответственно. Расчет заработной платы производится на основании перечня работ и трудоемкости работ. Расчет зарплаты представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет по статье «Основная зарплата»

Этапы работы	Трудоемкость, чел/день		Суммарная основная заработная плата, руб.
	инженер	руководитель	
1	2	3	4
Постановка задачи	1	1	220
Изучение литературы	6		288

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4
Анализ исходной информации	5	5	1100
Предварительный технико-экономический анализ	8		384
Выбор математической модели	10	10	2200
Математическое моделирование аэродинамических процессов в горелочном устройстве	44		2112
Исследование влияния размещения эжекторов в рабочем объеме на выгорание топлива	10		480
Исследование влияния наличия жесткого корпуса на рациональное использование компонентов сжигания	10		480
Изучение аэродинамического сопротивления пористого слоя	15		720
Анализ массового расхода воздуха и топлива для оптимизации сжигания	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:

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot Z_{\text{ос}} = 0,1 \cdot 9424 = 942,4 \text{ руб.} \quad (6.2)$$

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 %):

$$\text{ЕСН} = 0,27 \cdot Z_{\text{общ}} = 0,27 \cdot (Z_{\text{всп}} + Z_{\text{осн}}) = 0,27 \cdot (9424 + 942,4) = 2798,9 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

6.3.5 Расходы на служебные командировки

Для получения действительных данных по конструкции прототипа исследования, топливных характеристик и отбора проб жидкого топлива необходима служебная командировка.

Суточные составляют 150 руб., суммарная продолжительность командировок 8 дней.

$$K=150 \cdot 8=1200 \text{ руб.} \quad (6.4)$$

6.3.6 Расчет накладных расходов

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

$$НУ = 0,6 \cdot 9424 = 5654,4 \text{ руб.} \quad (6.5)$$

6.3.7 Издержки на услуги сторонних организаций

Расходы на обслуживание сторонних организаций содержат в себе обслуживание транспортировки оборудования, затраты на поставку основных и вспомогательных материалов и прочие взаимосвязи. Затраты на услуги сторонних организаций принимаются и составляют 6000 руб.

6.3.8 Расходы на проведение научно-исследовательской работы

Смета данных расходов приведена в таблице 6.5. Рассчитываемая смета расходов включает затраты на приобретение необходимого оборудования, для проведения НИР и текущие расходы.

Таблица 6.5 – Смета расходов на проведение научно-исследовательской работы

Статьи расходов	Расходы, руб.
1	2
Оборудование	52500,00
Основная заработная плата	9424,00
Дополнительная заработная плата	942,40
Отчисление на социальное страхование	2798,90

Продолжение таблицы 6.5

1	2
Расходы на служебные командировки	1200,00
Накладные расходы	5654,40
Услуги сторонних организаций	6000,00
Итого	78519,70

6.4 Расчет цены договора научно-исследовательской работы

6.4.1 Расчет плановых накоплений (прибыль)

$$\text{Пр} = 0,2 \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{всп}} + \text{ЕСН} + \text{К} + \text{А} + \text{И}_{\text{орг}} + \text{НУ});$$

$$\text{Пр} = 0,2 \cdot (9424 + 942,4 + 2798,9 + 1200 + 5654,4 + 6000) = 4003,9 \text{ руб.} \quad (6.6)$$

6.4.2 Определение цены договора

$$\text{Ц} = \text{Пр} + \text{Р} = 4003,9 + 78519,7 = 82523,6 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

6.5 Технико-экономическая оценка научно-исследовательской работы

В результате расчета определены плановые накопления, составляющие 4003,9 руб. Также произведен подсчет цены договора научно-исследовательской работы, составляющий 82523,6 руб. Общая смета затрат составила 78519,7 руб.

В данном разделе проведены технико-экономические расчеты, определены затраты, необходимые для проведения научно технического исследования. Расчеты показывают, что математическое моделирование является эффективным и малозатратным способом исследования физических процессов теплообмена; позволяет еще на этапе проектирования заглянуть внутрь процессов и учесть все недостатки без затрат на построение прототипов.

Список публикаций

- 1 Eugene O. Khomutov and Andrey V. Gil. Numerical research of heat transfer in gas heat exchanger