

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

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ И КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ НА ЗАО «ТОМСКИЙ ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД»

УДК 621.565.93/.95:658.011.46.012.12-192:621.2.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Стародубцев Сергей Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШЭ	Голдаев Сергей Васильевич	д.ф.-м.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Александра Михайловна Антонова	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач.
P3	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
Профессиональные компетенции	
P7	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности в широком (в том числе междисциплинарном) контексте в комплексной инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач комплексного инженерного анализа с использованием базовых и специальных знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить комплексные научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением базовых и специальных знаний и современных методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества,

	соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
	Специальные профессиональные
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля
Е.Е. Бульба

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы (бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Стародубцеву Сергею Петровичу

Тема работы:

Сопоставительный анализ эффективности и надежности применения пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов на ЗАО «Томский приборный завод»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы	
---	--

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;</i>	Технические характеристики элементов системы теплоснабжения ЗАО «Томский приборный завод»
---	---

<i>экономический анализ и т. д.).</i>	
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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></p>	<p>Расчет расходов теплоносителей Тепловой и гидравлический расчет пластинчатого теплообменного аппарата для ЗАО «Томский приборный завод» Тепловой и гидравлический расчет кожухотрубного теплообменного аппарата для ЗАО «Томский приборный завод» Расчет критерия эффективности Кирпичева для теплообменного оборудования</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	М.В. Василевский, доцент Отделения контроля и диагностики

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Голдаев Сергей Васильевич	д. ф-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5БЗБ1	Стародубцев Сергей Петрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 с., 19 рисунков, 10 таблиц, 26 источников.

Ключевые слова: КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ, ПЛАСТИНЧАТЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ, ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ, КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ТЕПЛООБМЕННИК.

Объектом разработки является теплообменный аппарат используемый в системе отопления зданий ЗАО «Томский приборный завод».

Цель работы – определить возможность замены импортного пластинчатого теплообменного аппарата на кожухотрубный отечественного производства.

В процессе работы произведены необходимые расчеты с целью сравнения эффективности и надежности применения пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Word 2007.

Оглавление

Введение	9
1 ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ	10
1.1 Классификация теплообменных аппаратов	10
1.2 Устройство кожухотрубных ТА	17
1.3 Устройство современных кожухотрубных ТА	23
1.4 Устройство пластинчатых ТА	33
1.5 Устройство современных пластинчатых ТА	38
2 СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	42
2.1 Легенды и мифы современных пластинчатых ТА	43
2.2 Расчет пластинчатых и кожухотрубных ТА	46
2.2.1 Тепловой и гидравлический расчет пластинчатого ТА	48
2.2.2 Тепловой и гидравлический расчет кожухотрубного ТА	55
2.3 Критерии эффективности пластинчатых и кожухотрубных ТА	59
2.4 Основные показатели надежности пластинчатых и кожухотрубных ТА	66
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	71
3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	71
3.2 Смета затрат на проектирование	73
3.3 Смета затрат на реализацию проекта	76
3.4 Оценка экономического эффекта	76
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	80
Введение	80
4.1 Характеристика объекта	82
4.2 Опасные и вредные факторы	82
4.3 Защита персонала от воздействия опасных и вредных	

факторов	84
4.3.1 Защита от производственного шума	85
4.3.2 Защита от вибрации	86
4.3.3 Микроклимат	87
4.3.4 Электробезопасность	88
4.4 Экологическая безопасность	91
4.5 Чрезвычайные ситуации	93
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	94
Заключение по разделу	96
Заключение	97
Список используемых источников	98

Введение

Вследствие экономических санкций к России поставка импортного теплоэнергетического оборудования становится все более затруднительной.

Пластинчатые теплообменные аппараты, собираемые в России из иностранных комплектующих, в настоящее время являются лидерами рынка в области жилищно-коммунального сектора, а также активно используются в промышленности.

В условиях ослабления курса рубля, экономических санкций к России, программ по применению энергоэффективных технологий и ведущегося в стране импортозамещения растет интерес к применению российского оборудования, что подчеркивает актуальность данной выпускной квалификационной работы.

1 ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Теплообменными аппаратами (ТА) называются устройства передающие теплоту от греющего теплоносителя (ТН) к нагреваемому ТН.

В основном ТА применяются в виде отдельных агрегатов или элементов оборудования, технологических или энергетических установок в разных отраслях промышленности: для испарения ТН (испарители), конденсации ТН (конденсаторы) и передачи теплоты от одного ТН другому.

1.1 Классификация теплообменных аппаратов

По функциональным признакам ТА разделяются:

1) По принципу работы различают поверхностные (регенеративные и рекуперативные) и контактные.

Рекуперативные ТА осуществляют теплообмен через стенку разделяющую движущиеся среды 1 и 2, пример показан на рисунке 1.1, *а*. Получили самое широкое распространение во всех областях промышленности.

Регенеративные ТА осуществляют теплообмен через теплоаккумулирующую насадку 3, которая по очереди омывается греющим 1 и нагреваемым 2 ТН, пример показан на рисунке 1.1, *б, в*. Насадка может быть представлена шарами, решетками, кольцами, которые образуют сложные каналы для прохождения ТН. Основное применение таких ТА – подогрев газообразных компонентов горения (воздухоподогреватели в паровых котлах) [1].

Контактные ТА осуществляют передачу теплоты при непосредственном контакте ТН. Различают смесительные и барботажные контактные ТА. В ТА смесительного типа ТН 1 и 2 перемешиваются, пример показан на рисунке 1.1, *г*. В ТА барботажного типа один из ТН прокачивается через другой не смешиваясь с ним, пример показан на рисунке 1.1, *д* [1].

ТН), дутьевых вентиляторов (газовые ТН); с движением жидкости под действием сил гравитации называемые оросительными теплообменниками.

5) По роду теплового режима ТА различают: со стационарными процессами теплообмена, к таковым в основном относятся рекуперативные ТА и нестационарными, к которым в большей части относятся регенеративные ТА.

По конструктивным признакам ТА разделяются:

1) По конфигурации поверхности теплообмена ТА различают в зависимости от принципа работы.

Рекуперативные ТА разделяются на: кожухотрубные с прямыми гладкими трубами, с оребренными трубами, с U-образными трубами; секционные; змеевиковые; ламельные; пластинчатые и пластинчато-ребристые.

Основными элементами классификации по поверхности теплообмена для регенеративных ТА являются вид и форма насадки. Алюминиевая гофрированная лента применяется при низких температурах из-за низкой температуры плавления алюминия, пример показан на рисунке 1.2, а. Намотка на диски нескольких типов лент образует сложные каналы, что интенсифицирует процесс теплообмена. Сетчатая насадка применяется при умеренных и низких температурах, пример показан на рисунке 1.2, б, изготавливается из материалов с высокой теплопроводностью, таких как медь или латунь. Насадка с равномерно распределенными по всему сечению металлическими пластинами в виде усеченных пирамид способствует уменьшению гидравлического сопротивления в низкотемпературных ТА, пример показан на рисунке 1.2, в. Насадка в виде шаров или гранул, изготовленных из материалов с большой теплоемкостью и жаропрочностью используется в основном в металлургических ТА, пример показан на рисунке 1.2, г. Насадка выполненная из огнеупорного кирпича разной формы применяется в высокотемпературных ТА, пример показан на рисунке 1.2, д.

Насадка из колец Рашига представляющая собой цилиндрические кольца менее распространена, пример показан на рисунке рис. 1.2, *е* [1].

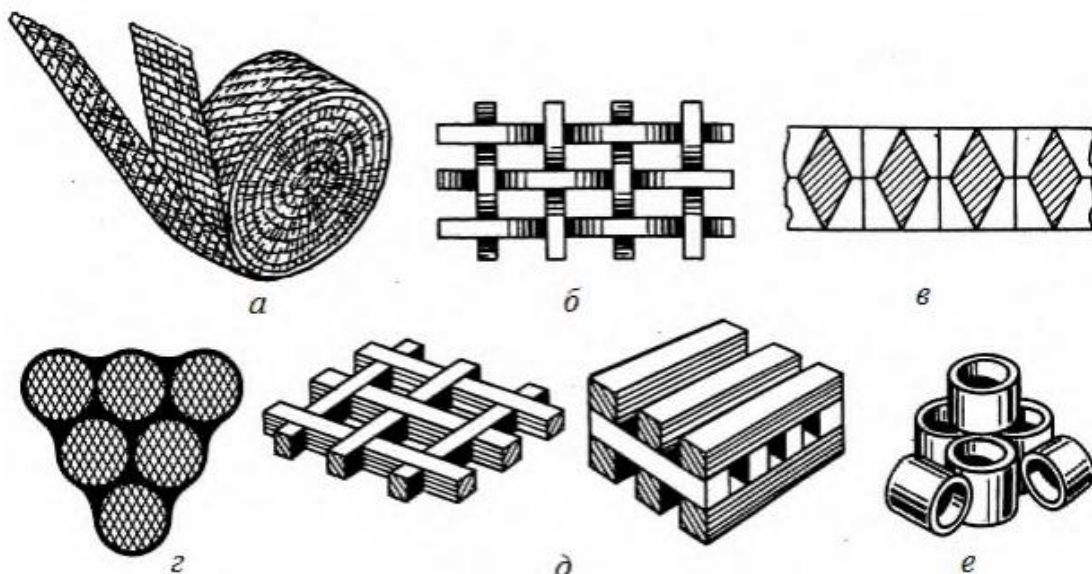


Рисунок 1.2 – Типы основных насадок регенеративных ТА.

2) По числу использующихся ТН ТА разделяют на двухпоточные, пример показан на рисунке 1.3, *а*, трехпоточные, пример показан на рисунке 1.3, *б*, многопоточные представленные соединением нескольких теплообменников, пример показан на рисунке 1.3, *в*, многопоточные с большим количеством потоков, пример показан на рисунке 1.3, *г*.

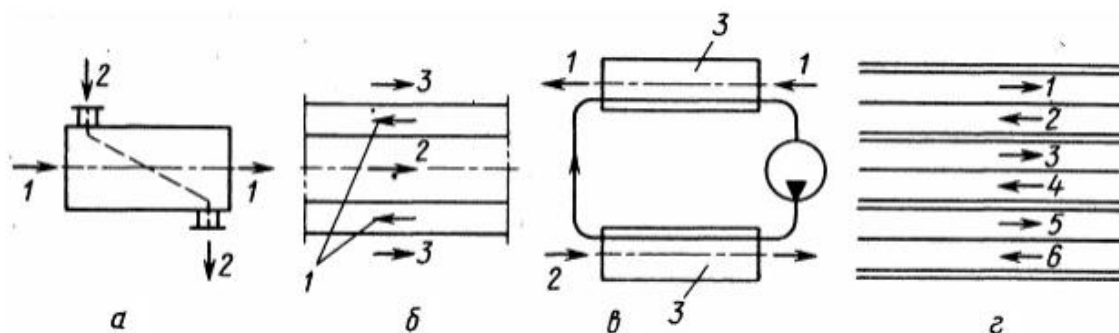


Рисунок 1.3 – Схемы ТА с различным числом используемых теплоносителей.

3) По способу компенсаций температурных удлинений различают в основном рекуперативные ТА: без компенсации температурных удлинений имеют жесткую конструкцию, когда трубы 3 с кожухом 2 соединяются

жестко трубными решетками 6, в соответствии с рисунком 1.4, а; с компенсацией температурных удлинений упругим элементом имеют полужесткую конструкцию, в которой предусмотрены специальные компенсаторы (гофры) температурных деформаций расположенные на кожухе 2, в соответствии с рисунком 1.4, б; с компенсацией температурных удлинений в результате свободных удлинений имеют нежесткую конструкцию, в которой трубы свободно перемещаются относительно кожуха за счет применения труб U-образной формы 3, в соответствии с рисунком 1.4, в, и с помощью подвижной трубной решетки 6, в соответствии с рисунком 1.4, г или с применением подвижной трубной решетки 6 вместе с компенсатором 7 расположенным на ней, в соответствии с рисунком 1.4, д [1].

4) По виду применяемого кожуха, который ограничивает поверхность теплообмена рекуперативные ТА делятся на: ТА с коробчатым кожухом; кожухотрубные ТА; кожухотрубные с расположенным на кожухе компенсатором; без кожуха.

5) По ориентации поверхности теплообмена в пространстве ТА могут быть горизонтальными, вертикальными или наклонными.

6) По оборудованию и обвязке ТА разделяют: без оборудования и обвязки; с изоляцией; имеющие приборы и аппаратуру автоматики, контроля и измерений; с собственным или общим фундаментом.

7) По принципу монтажа ТА могут быть: встроенными (поверхности топки парового котла), навесными (конвективные пароперегреватели парового котла) и автономными [1].

По схемам тока ТН ТА разделяют:

1) ТА с постоянными температурами греющего ТН t_1 и нагреваемого ТН t_2 равными температурам конденсации t_{s1} и испарения t_{s2} , пример показан на рисунке 1.5, а.

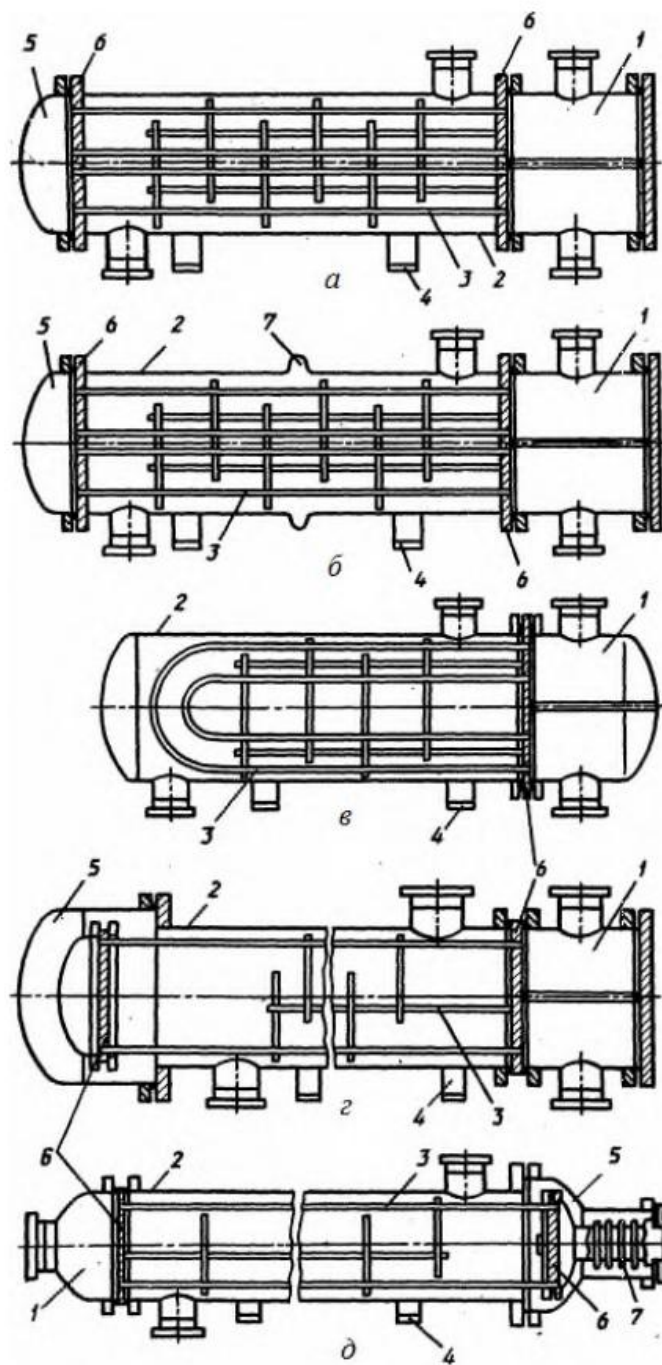


Рисунок 1.4 – Рекуперативные теплообменные аппараты с различными схемами компенсаций температурных удлинений: 1 – камера (распределительная); 2 – кожух; 3 – теплообменные трубки; 4 – опора;

5 – крышка задняя; 6 – трубная решетка; 7 – компенсатор.

2) ТА с постоянной температурой одного из ТН в процессе конденсации или испарения, пример показан на рисунке 1.5, б, в.

3) ТА с переменной температурой всех ТН, пример показан на рисунке 1.5, г, д, наиболее распространены и разделяются в зависимости от схемы

взаимного направления тока ТН на противоток, прямоток, смешанный ток и сложные схемы тока, представляющие собой совмещенные более простые схемы тока ТН. Противоточная схема движения ТН является более эффективной как в рекуперативных ТА, так и в регенеративных [2].

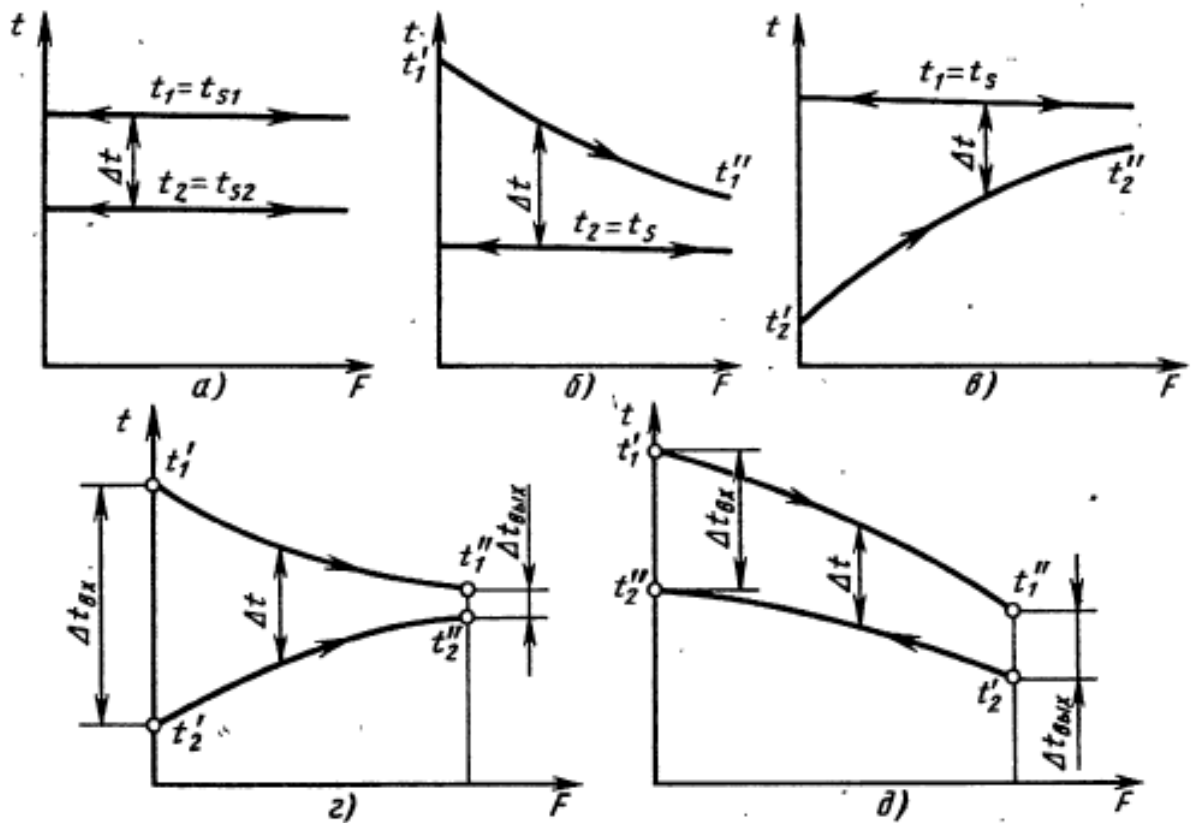


Рисунок 1.5 – Графики изменения температуры ТН в рекуперативных ТА: *а* – с постоянными температурами греющего и нагреваемого теплоносителя; *б* – с испарением нагреваемого теплоносителя; *в* – с конденсацией греющего теплоносителя; *г* – с прямоточным движением теплоносителей и отсутствием фазовых превращений; *д* – с противоточным движением теплоносителей и отсутствием фазовых превращений.

1.2 Устройство кожухотрубных ТА

Кожухотрубные ТА, пример показан на рисунке 1.4, представляют собой кожух, ограждающий от окружающей среды проходящий внутри соединенный пучок труб с помощью трубных решеток, которые в

зависимости от конструкции и наличия компенсаций температурных удлинений разделяются на нежесткие (наиболее распространены), полужесткие, жесткие (применяемые при небольших перепадах температур). Кроме конструкции по компенсации температурных удлинений ТА принято различать в основном по следующим типам: однокходовые и многоходовые ТА; прямоточные, противоточные (более часто используемые, чем прямоточные в связи с наибольшей эффективностью) и поперечноточными; горизонтальными (являются наиболее эффективными) и вертикальными [3].

Кожухотрубные ТА получили широкое распространение в 60-е – 90-е годы и продолжают использоваться в настоящее время. Основными отличительными качествами кожухотрубных ТА являются: простота по конструкции, высокая надежность при соблюдении необходимых условий работы ТА и невысокая стоимость [3].

В кожухотрубных ТА ТН лучше всего направлять противотоком друг к другу и при любом расположении (горизонтальном, вертикальном, наклоном) теплообменника нагреваемый ТН направляют снизу вверх, а ТН отдающий тепло в противоположном направлении. Другими словами оптимальным является решение направить ТН в направлении совпадающим с направлением движения в следствие изменения плотности ТН при нагревании или охлаждении. Данное решение так же способствует равномерному распределению скоростей и схожие условия теплообмена по всей поверхности ТА. В ином случае если нагреваемую среду направить снизу вверх, возможно образование «застойных» зон из-за скопления нагретой жидкости, как более легкой в верхней части ТА [4].

Для изготовления труб используются материалы с высокой теплопроводностью такие как медь, латунь, алюминий, а так же титан и сталь. В ТА используемых в химической и нефтегазовой промышленности используют трубы: диаметрами 20 мм и 25 мм; толщиной стенки 2 мм и 2,5 мм. В ТА для энергетики используется более широкий диапазон труб: диаметрами 14 мм, 16 мм, 19 мм, 22 мм, 24 мм, 32 мм x 4 мм; 32 мм, 38 мм и

другие; толщинами от 0,5 мм до 5 мм. Так же возможно применение оребренных труб [1].

Оребрение способствует турбулизации потока и в следствие интенсификации теплообмена, но приводит к увеличению гидравлических потерь. Наиболее часто применяются следующие соотношения внутренних диаметров труб и ребер: 14 мм на 10,5 мм; 16,6 мм на 11,5 мм; 20,5 мм на 10 мм; 21 мм на 3,2 мм; 22,5 мм на 15 мм; 25 мм на 10 мм; 29 мм на 10 мм; 29 мм на 9 мм; 43 мм на 17 мм; 56 мм на 21 мм [1].

Длина труб и длина L безопорного пролета выбирается по результатам оценки вибростойкости труб и пучка. Рекомендуется применять значения указанные в таблице 1.1 в зависимости от значения наружного диаметра d трубы [1].

Таблица 1.1 – Рекомендуемые значения безопорных пролетов труб кожухотрубных ТА в зависимости от наружного диаметра

d , мм	15,88	19,05	25,4	31,75
L , мм	1321	1524	1880	2235

Для труб изготовленных из алюминия, меди и их сплавов, а так же сплавов титана максимальная длина равна $0,865 L$ [1].

Трубы 2 необходимо закрепить в отверстиях трубных решеток 1. Для закрепления концов труб наиболее распространенным является метод вальцевания, пример показан на рисунке 1.6.

Вальцевание – прочное соединение, образующееся в результате деформации трубы в направлении радиуса под давлением вальцовочного инструмента. Кольцевая расширительная канавка 3 выполняется 2...3,5 мм в ширину и 0,4...1 мм в глубину. Минимум необходимо две кольцевые расширительные канавки [1].

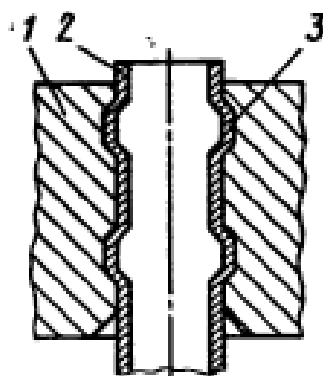


Рисунок 1.6 – Закрепление концов труб в трубной решетке методом вальцевания: 1 – трубная решетка; 2 – труба; 3 – кольцевая расширительная канавка.

Кроме приведенного метода вальцевания используются и другие методы крепления концов труб: коническая развальцовка входного участка трубы; сварной шов валиком; сварной шов канавкой; сварной зубчатый шов; взрывной метод и другие.

При поперечном обтекании пучка труб теплоотдача является более интенсивной, чем при продольном обтекании. Чтобы обеспечить поперечное обтекание в кожухотрубных ТА применяются перегородки. Перегородки позволяют не только изменить способ обтекания трубного пучка, но и: предотвратить прогибы и вибрации труб, а так же увеличить скорость течения теплоносителя в межтрубном пространстве [1].

Самыми распространенными типами перегородок являются: односторонние сегментные перегородки 1 и 2, пример показан на рисунке 1.7, а; перегородки диск – кольцо 3 и 4, пример показан на рисунке 1.7, б; двухсторонние сегментные перегородки, пример показан на рисунке 1.7, в.

Вырез в перегородке для прохождения теплоносителя из одного отсека ТА в другой называется окном перегородки. Отношение высоты окна h к внутреннему диаметру кожуха D_{BH} для односторонних перегородок равняется $h / D_{BH} = 0,15...0,40$, для двухсторонних перегородок $h / D_{BH} = 0,20...0,30$. В горизонтальных рекуперативных ТА края окон устанавливаются горизонтально в случае течения чистых однофазных

жидкостей, а вертикально для загрязненных, конденсирующихся или кипящих средах [1].

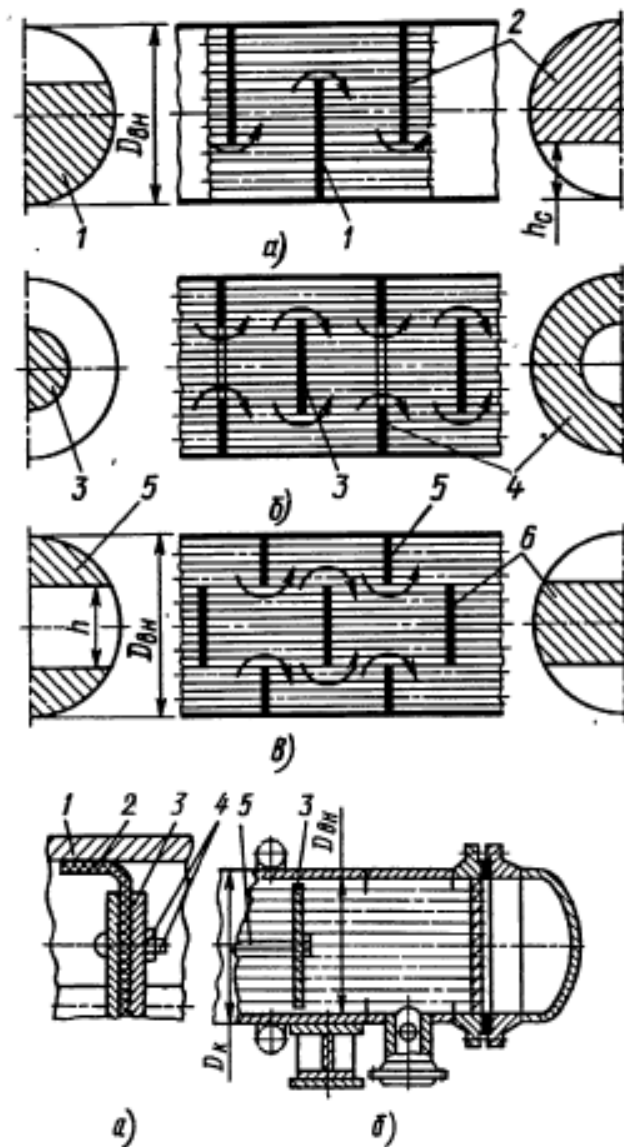


Рисунок 1.7 – Некоторые схемы уплотнения трубных пучков в кожухотрубном ТА: 1 – кожух; 2 – лист из пластика; 3 - поперечная перегородка; 4 – детали крепежные; 5 – стержень стяжной; 6 – уплотняющий лист; 7 – вытеснитель; 8 – пакет; 9 – перегородка продольная [1].

Перегородки могут быть как одинарными так и собираться из нескольких перфорированных листов толщиной $\delta = 1,5...2$ мм. Минимальное значение толщины перегородок зависит от внутреннего диаметра кожуха

D_{BH} и длины безопорных участков L . Рекомендуемые значения суммарной толщины перегородки $\sum \delta$ приведены в таблице 1.2 [1].

Таблица 1.2 – Значение суммарной толщины перегородок в зависимости от внутреннего диаметра кожуха и длины безопорных труб

Внутренний диаметр кожуха D_{BH} , мм	Длина безопорных пролетов труб L , мм	Общая толщина перегородок $\sum \delta$, мм
≤ 355	≤ 610	3...4
≤ 355	610...1524	4...9
≤ 355	≥ 1524	9...10
≥ 1550	≥ 1524	19...20

В кожухотрубных ТА применяются уплотнения трубного пучка, чтобы предотвратить вредные протечки через возможные зазоры между кожухом и поперечной перегородкой. Наиболее часто устанавливается уплотнительный элемент из пластика. Один из возможных способов крепления уплотнительных сегментов показан на рисунке 1.7, а [1].

Трубный пучок в кожухотрубном ТА должен быть достаточно жестко закреплен, как и поперечные перегородки. Для этих целей используются стяжные стержни 5, пример показан на рисунке 1.7, б, изготавливаемые чаще всего круглой формы из металла и ввинчивают одной стороной в трубную решетку, другую закрепляют контргайкой 3 на поперечной перегородке. На каждом стержне устанавливаются распорки в виде отрезков труб немного превышающих диаметр стержней и имеющие длину соответствующую требуемому расстоянию [1].

Возможно использование продольных перегородок для реализации тока смешанного типа. Но это приводит к ряду трудностей по уплотнению, поэтому используется реже.

С целью повышения скорости ТН устанавливаются перегородки в полости крышек. Количество перегородок зависит от числа ходов ТН [1].

При выборе компоновки труб применяется в основном три метода: шестиугольная компоновка; треугольная компоновка; компоновка по концентрическим окружностям.

Минимальная толщина трубной решетки при вальцовке, рассчитывается из уравнения: для трубы из стали $\delta_{MIN} \geq 5 + 0,125 \cdot d$; для трубы из меди $\delta_{MIN} \geq 5 + 0,2 \cdot d$. При ином способе крепления минимальная толщина трубной решетки выбирается равной диаметру труб с учетом возможной коррозии. Важно чтобы выбранные материалы были стойкими к контактной электрохимической коррозии, а при использовании меди необходимо опираться на исследования в области образования гальванических пар [1]. С целью предотвращения коррозии возможно использование органических покрытий, в основном данные покрытия наносятся на поверхности имеющие контакт с охлаждающей водой. Обычно в качестве таких материалов используются смолы: феноловая, эпоксифеноловая и эпоксидная.

В кожухотрубных ТА очень важно правильно выбрать направление течения ТН. Данный выбор зависит не только от интенсификации теплообмена, но и от надежности работы теплообменника (ТО). Если выбранный ТН способен вызывать коррозию или механические повреждения труб, то экономически выгоднее пропускать данный ТН внутри труб. Так как ремонт труб гораздо дешевле ремонта самого кожуха. Так же ТН с большим давлением выгоднее направлять в трубы, чтобы не тратить материалы на толстостенный кожух. Более загрязненный ТН так же направляется в трубы (дымовые газы), а чистый ТН (воздух) в межтрубное пространство, так как трубы по внутреннему диаметру очистить гораздо проще, чем пространство кожуха и наружный диаметр труб [1].

Скорость ТН в кожухотрубных ТА, выбираемая исходя из рекомендаций изложенных в различных технических справочниках, приведена для основных ТН в таблице 1.3. Этот параметр оказывает существенное влияние на теплоотдачу, загрязнение, вибрацию и главным образом на теплоотдачу.

С увеличением скорости ТН увеличивается теплоотдача и снижается количество загрязнений на стенках ТО, но в то же время увеличиваются

гидравлические потери и возможны нежелательные вибрации труб.

Рекомендуемые скорости ω течения некоторых основных ТН показаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Рекомендуемые скорости ω течения некоторых теплоносителей для вынужденного течения в каналах ТА

Теплоноситель	Условия движения	ω , м/с
Маловязкая жидкость (вода)	Нагнетательная линия	1...3
	Всасывающая линия	0,8...1,2
Маловязкая жидкость	Самотек	0,1...0,5
Вязкая жидкость (масло)	Нагнетательная линия	0,5...1,0
	Всасывающая линия	0,2...0,8

1.3 Устройство современных кожухотрубных ТА

Когда речь заходит о кожухотрубных ТА, обычно представляется громоздкий длинный кожух с огромными входными и выходными патрубками производства прошлого столетия. Дело в том, что представленные выше кожухотрубные ТА являются разработками 1930-1950 гг. Они применяются до сих пор в разных отраслях промышленности, но научный прогресс не стоит на месте и на смену громоздким кожухотрубным ТА приходят более компактные и эффективные решения.

Одним из таких перспективных решений являются кожухотрубные ТА ТТАИ, пример показан на рисунке 1.8, производства ООО «Теплообмен». Данные ТО известны из научных статей, которые публикуют представители выпускающего данный вид теплообменника предприятия. Впервые ТО ТТАИ появились в 1992 году и по результатам эксплуатации 6,5 лет на объектах «Севтеплоэнерго» стало понятно, что данные ТА являются особо перспективным решением. Комплекс преимуществ данный ТА был настолько велик, что во многом превосходил завоевывающие на тот момент рынок импортные ТО. ТТАИ является результатом долгой кропотливой работы и исследований проводимых советскими учеными в области ТА, используемых на всех флотах Советского Союза (всех классов кораблей,

подводных лодок и катеров). Разработка аппаратов ТТАИ в советское время держалась в секрете, этим объясняется неизвестность данных ТА ранее [18].

Столь высокие показатели в ТО ТТАИ достигнуты за счет ряда ранее известных, но технологически несовместимых решений по достижению высокой тепловой эффективности, а так же тех решений, которые не были ранее известны из-за закрытого характера соответствующих разработок [18].

Решениям примененным в ТО ТТАИ посвящено множество научных статей, в которых изложены основные отличия данных ТА от предшественников:



Рисунок 1.8 – Серийные представители кожухотрубных ТА семейства ТТАИ.

1) В теплообменниках ТТАИ применены термодинамически целесообразно профилированные трубки, пример показан на рисунке 1.9. Расчет представленного профиля базируется на разработках проводившихся в авиационно-космической отрасли СССР.



Рисунок 1.9 – Профилированные теплообменные поверхности кожухотрубного ТА ТГАИ, упакованные в трубный пучок.

Профиль теплообменных поверхностей представляет собой плавно очерченные, строго определяемые по высоте, полукруглые выступы-канавки. Данный профиль обеспечивает рост тепловой эффективности, который уже не отстает от сопряженного роста гидравлических сопротивлений.

Правильное выполнение профиля обеспечивает генерирование короткоживущих мелкомасштабных вихрей, не диффундирующих в ядро потока, а движущихся в пристенном ламинарном микрослое рабочей среды. Это исключает диссипацию энергии на дополнительную турбулизацию ядра потока, и обеспечивает полезное использование энергии этих микровихревых структур на перевод теплоотдачи с теплопроводности на конвективный теплоперенос [18].

Помимо опережающего роста теплоотдачи, этот профиль, адаптированный в ходе выполненных представителями ООО «Тепломассообмен» в конце 1980-х годов продолжительных закрытых работ к условиям работы на морской воде с целью эффективного применения его под нужды ВМФ, обеспечивает ещё и такое важное преимущество аппаратов

ТТАИ, как эффект самоочистки поверхности теплопередающих труб. При проектировании аппаратов ТТАИ предприятие всегда учитывает этот фактор и предлагает теплообменник ТТАИ, который на заданном заказчиком режиме эксплуатации и в окрестностях этого режима обеспечит указанный эффект самоочистки [18].

2) При компоновке трубного пучка используется его нерегулярная разбивка, пример показан на рисунке 1.10, идея применения которой также сформировалась у разработчиков в ходе закрытых советских НИОКР, но, к сожалению, не была отработана. Реализация этой идеи в аппаратах ТТАИ подтвердила её правомерность и обеспечивает снижение гидравлического сопротивления межтрубной полости, что позволяет более рационально использовать располагаемый напор в интересах роста тепловой эффективности [18].



Рисунок 1.10 – Компоновка трубного пучка с нерегулярной разбивкой.

3) Также снижению бесполезных потерь напора способствует принятое при создании аппаратов ТТАИ решение о применении входного и выходного патрубков межтрубной полости с диаметрами не только равными, но даже большими диаметра корпуса аппаратов, пример показан на рисунке 1.11 [18].



Рисунок 1.11 – Входной патрубок аппарата ТТАИ.

4) Усреднённый шаг расположения теплопередающих трубок в трубном пучке соответствует понятию «плотно упакованный» трубный пучок, что не только увеличивает удельную плотность теплопередающей поверхности, но и способствует росту коэффициента теплоотдачи. Целесообразность «плотно упакованного» трубного пучка была известна еще в советское время (даже были установлены границы наиболее целесообразного шага разбивки трубного пучка), однако существовавшие технологии не позволяли это обеспечить. В аппаратах ТТАИ, благодаря специальным технологическим решениям, удалось реализовать целесообразный шаг разбивки трубного пучка. Очевидно, что как увеличенная удельная плотность теплопередающей поверхности, так и рост коэффициента теплоотдачи снижают удельную металлоёмкость аппарата и повышают его интегральную тепловую эффективность [18].

5) В аппаратах ТТАИ используются трубки малого эквивалентного диаметра (в базовом варианте – 8 мм, а по согласованию – 6 мм). Такие

диаметры трубок являлись основными при создании теплообменников для нужд советского ВМФ и успешно применялись, в т.ч., при эксплуатации теплообменников на забортной воде. Это способствует росту удельной тепловой эффективности и повышает коэффициент компактности, что также ведёт к снижению массогабаритных характеристик ТО и увеличению интегральной тепловой эффективности аппарата [18].

6) Как теплопередающие трубки, так и корпуса аппаратов ТТАИ являются тонкостенными (трубки имеют толщину 0,3 или 0,4 мм, а корпус – от 0,8 до 2,2 мм). Указанные толщины определены с установленным коэффициентом запаса расчётным путём и подтверждены в ходе экспериментов для рабочих давлений до 2,5 МПа включительно. Это снижает металлоёмкость теплообменника, делая его чрезвычайно лёгким (в среднем в 10-12 раз легче современного западноевропейского разборного пластинчатого ТО), что позволяет не только исключить необходимость изготовления фундаментов для аппаратов ТТАИ, но и не применять грузоподъёмные средства при их монтаже-демонтаже [18].

7) ТО ТТАИ изготавливаются в двух материальных исполнениях: высоколегированная нержавеющая сталь аустенитного класса или титановые сплавы (последнее исполнение ввиду дороговизны применяется только в обоснованных случаях). Обоснованное применение таких металлов, с учётом закрытых рекомендаций (в советское время существовал отраслевой стандарт ограниченного распространения о допустимых применениях различных металлов в зависимости от рабочих условий), позволяет обеспечить продолжительный срок службы аппаратов при вышеупомянутых тонкостенных трубках [18].

8) В ТО ТТАИ применяется метод «плавающих» трубных решёток (причём, обеих) для установки трубного пучка в корпусе. Применен этот метод установки трубного пучка в корпусе аппарата, т.к. он хорошо зарекомендовал себя в ТО, создававшихся в советское время для нужд кораблей ВМФ. Это позволяет не только снять термические напряжения в

цепочке «корпус – трубный пучок», что повышает надёжность работы аппарата, но и обеспечивает возможность разборки аппарата путём извлечения трубного пучка из корпуса, пример показан на рисунке 1.12. Такая возможность повышает ремонтпригодность аппарата и, кроме того, обеспечивает возможность агрегатного ремонта путём замены одного из вышеупомянутых элементов теплообменника [18].

9) Трубные решётки в ТО ТТАИ выполняются либо цельнометаллическими из нержавеющей стали или титана с приваркой к ним трубок, либо композитными. Последний вариант трубных решёток начал отрабатываться в советское время с целью снижения веса аппаратов для кораблей с динамическими принципами поддержания, однако из-за низких ресурсных характеристик (вполне устраивавших военных) потребовал радикальной доработки в начале 1990-х годов. В результате выполненной доработки была достигнута надёжная работа аппаратов с такими трубными решётками, подтверждённая уже 25-летним опытом эксплуатации [18].



Рисунок 1.12 – Трубный пучок аппарата ТТАИ, извлеченный из корпуса.

10) Разъёмные соединения в аппаратах ТТАИ в базовом варианте имеют специфичную конструкцию – это псевдофланцевые соединения, пример показан на рисунке 1.13. Такие соединения полностью выполняют функции фланцевого соединения, т.е. позволяют с помощью крепежа (болтов с гайками) сочленять между собой элементы, однако эти соединения не

имеют собственно фланцев (блинов), что обеспечивает снижение массогабаритных характеристик теплообменника. Эта конструкция также прорабатывалась в советское время для десантных кораблей на воздушной подушке, однако была доработана в 1990-е годы с учётом необходимости ориентироваться не на спецвозможности ВМФ (в т.ч. по специальной форме уплотнительных прокладок), а на общепромышленные возможности [18].



Рисунок 1.13 – Элементы крепежных соединений аппарата.

11) К числу особенностей аппаратов ТТАИ следует отнести и разработанный сложногодовой вариант исполнения ТО, когда среда межтрубного пространства подаётся в корпус аппарата не через один, а через два патрубка. Такое решение оказывается весьма эффективным в случаях существенно различающихся между собой расходов или располагаемых напоров сред, и это техническое решение было принято на базе опыта разработки ТО с двумя входами одной и той же среды, которые создавались для обеспечения специальных характеристик теплообменников для некоторых задач советского ВМФ [18].

12) В ТО ТТАИ применены распределённые дистанционирующие перегородки, выполненные из ленты, изготовленной из нержавеющей сетки, пример показан на рисунке 1.14. Изначально идея распределённых перегородок отрабатывались также для достижения узкоспециальных характеристик ТО, предназначенных для определенного класса кораблей советского ВМФ, однако те технические решения, которые отработывали ранее, не могли быть применены при создании аппаратов ТТАИ. Эту идею (распределённая перегородка), но реализованную в совершенно другом конструктивно-технологическом исполнении (нержавеющая лента, оплетающая трубки), на сегодня мы применяем в трубных пучках аппаратов ТТАИ. Применение такой распределённой перегородки позволяет реализовать чистый противоток в корпусе ТО, исключив любые застойные зоны по пути движения жидкости в межтрубном пространстве, что повышает среднелогарифмический температурный напор и, тем самым, способствует повышению интегральной тепловой эффективности ТО [18].

В результате того, что разработчикам удалось совместить в одном изделии – теплообменнике ТТАИ – все вышеперечисленные особенности, был создан высокоэффективный (превосходящий по удельной эффективности современные западноевропейские разборные пластинчатые ТА), чрезвычайно компактный («псевдоодномерный») и исключительно лёгкий ТА ТТАИ, отличающийся подтверждённым продолжительным сроком службы и имеющий повышенную ремонтпригодность и низкую стоимость обслуживания. При этом стоимость владения (приведённая стоимость) ТА ТТАИ в два и более раз меньше соответствующей стоимости аналогов иностранного производства, что достигается как несколько более низкой изначальной стоимостью, так и, в основном, последующими существенно меньшими затратами на монтаж и обслуживание в ходе эксплуатации. Наличие исключительно лёгких и псевдоодномерных ТО ТТАИ позволило впервые в мире сформулировать инновационную концепцию создания тепловых пунктов – так называемые «планшетные»

теплопункты. «Планшетные» тепловые пункты, размещаясь на свободной поверхности стен, не только радикально упрощают процедуры техобслуживания и ремонта любого элемента теплопункта за счёт обеспечения прямого и непосредственного доступа к соответствующему элементу, но практически не требуют площадей для своего размещения, что позволяет высвободить целые помещения и даже отдельно стоящие здания ЦТП. А это создаёт значительные экономические выгоды, благодаря возможности использования в коммерческих целях высвободившихся помещений или даже земельных участков [18].



Рисунок 1.14 – Распределенные дистанцирующие межтрубные перегородки в аппаратах ТТАИ.

1.4 Устройство пластинчатых ТА

Пластинчатые ТА разных конструкций широко применяются в различных отраслях промышленности. В странах СНГ с 90-х годов прошлого века пластинчатые ТА стали активно заменять кожухотрубные ТА.

Пластинчатые ТА являются рекуперативными ТО. Теплопередача осуществляется через листы, которые бывают: пластинчатые, пластинчато-ребристые, ламельные и спиральные.

Самыми прогрессивными и распространенными являются пластинчатые и пластинчато-ребристые ТА. Основные детали данных ТА изготавливаются штамповкой и сваркой, что упрощает серийное производство [19].

В промышленности распространены разборные пластинчатые ТА, которые состоят из набора пластин и прокладок, что дает возможность полного разбора ТО для очистки и ремонта. Есть разновидности неразборных ТО: полуразборные, блочные и неразборные сварные ТО [19].

Главной особенностью конструкции пластинчатых ТА является поверхность теплообмена, образуемая из отдельных пластин, а каналы между пластинами для прохождения рабочей среды имеют щелевидную форму. В итоге рабочая среда вынуждена двигаться у поверхностей теплообмена тонким слоем. Данное решение способствует интенсификации теплообмена. Пластины располагаются параллельно с небольшим зазором – каналом [19].

Самый простой представитель пластинчатого ТА должен иметь минимум три пластины, которые смогут образовать два канала для прохода греющей и нагреваемой сред. Обычно используются ТО с большим количеством каналов в которых движутся среды. Малая толщина пластин и небольшие зазоры между ними позволяют добиться пластинчатым ТО весьма компактных размеров.

Пластинчатый ТА, в соответствии с рисунком 1.15, состоит из некоторого количества теплообменных пластин 15, которые подвешиваются

на верхней горизонтальной штанге 7. На неподвижной плите 3 и на стойке задней закрепляются концы верхних и нижних штанг. С помощью нажимной плиты 8 и винтов 10 пластины сжимаются в один пакет. Между пластинами устанавливаются резиновые прокладки 5 и 13. Резиновые прокладки на пластинчатых ТА используются в двух целях: одна прокладка ставится на лицевую сторону пластины охватывает два отверстия и создает канал для прохождения среды; другие две небольшие прокладки закрывают остальные два отверстия от канала для прохода другой среды. Расположение пластин и прокладок обеспечивает чередование ТН, среда входит и выходит из ТО через штуцеры, а внутри ТО среда от пластины к пластине движется в коллекторах [20].

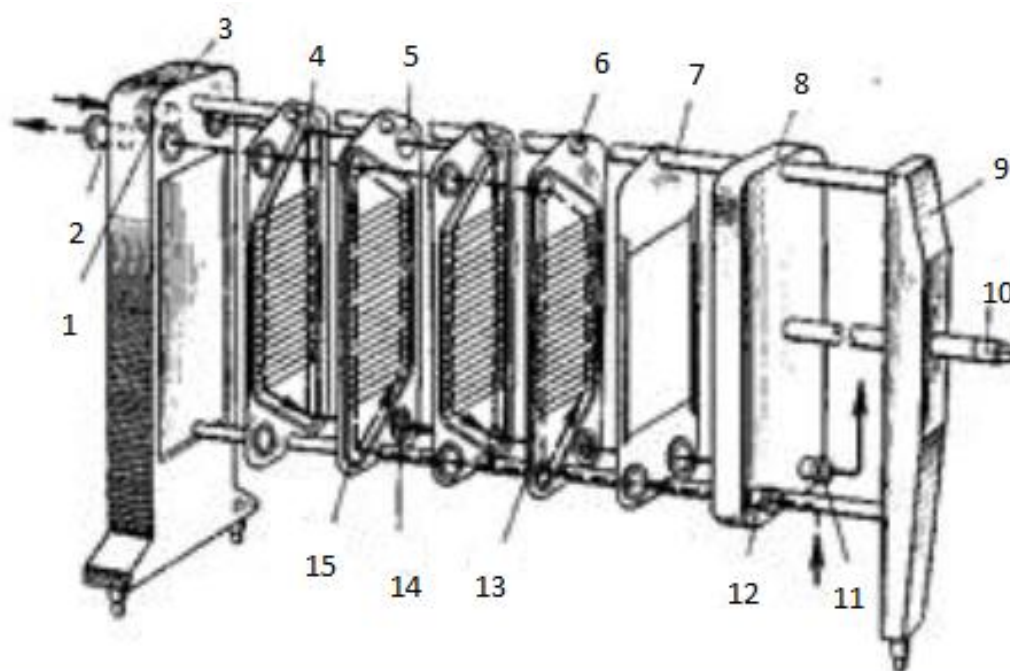


Рисунок 1.15 – Устройство пластинчатого ТА: 1, 2, 11, 12 – штуцера; 3 – стойка передняя; 4 – угловое отверстие (верхнее); 5 – прокладка кольцевая резиновая; 6 – пластина граничная; 7 – штанга; 8 – плита нажимная; 9 – стойка задняя; 10 – крепежный винт; 13 – прокладка резиновая (большая); 14 – отверстие нижнее угловое; 15 – пластина.

Схемы соединения пластинчатых ТА могут быть одноходовыми и многоходовыми. Пластинчатые ТА так же разделяются на односекционные и

многосекционные. Если в ТА участвуют только две рабочие среды, то такой ТА называется односекционным [20].

Существует несколько распространенных вариантов компоновки каналов пластинчатых ТА: симметричной называется компоновка в которой число пакетов в каналах для обеих сред одинаково; несимметричной называется компоновка при различном числе каналов для рабочих сред [20].

Направления движения рабочих сред в зависимости от компоновки пластинчатого ТА так же весьма различны, возможны схемы: с частным противотоком при общем противотоке (чистый противоток); со смешанным током; со смешанным частным током при общем противотоке; с частным прямотоком при общем противотоке; со смешанным общим токе при общем прямотоке; с частным прямотоком при общем прямотоке (чистый прямоток). Самой распространенной схемой движения теплоносителей является прямоток. При данной схеме наблюдается наибольший средний температурный напор что способствует эффективной теплоотдаче [20].

Основным элементом пластинчатого ТА является пластина. Конструкция пластин ТО является главным звеном для теплообмена. Форма и размеры пластин влияют на интенсификацию теплообмена, на надежность и эксплуатацию, технологичность и трудоемкость изготовления. Конструкция нового типа пластины позволяет осваивать целую серию ТО на базе этого элемента с различными компоновки в зависимости от поставленных задач. Разработками пластинчатых ТА могут заниматься только крупные предприятия, ведь разработка новой пластины требует изготовления новых штампов, отладки технологий и подразумевать производство большой партии ТА [20].

Пластина является сложной деталью, которая осуществляет теплообмен, испытывает механические и гидравлические нагрузки. В мире распространены несколько основных видов пластин:

- 1) Плоские пластины. Самый простой тип пластин. Данная пластина представляет собой гладкий тонкий лист.

2) Ленточно-поточные, пример показан на рисунке 1.16, *а*, и свободно-поточные пластины, пример показан на рисунке 1.16, *б*. Данные пластины имеют гофры разной формы: треугольной, синусоидальной и других. Поверхность омывается поперек гофр, что приводит к турбулизации потока и интенсификации теплообмена.

3) Сетчато-поточные пластины, пример показан на рисунке 1.17. В данной пластине кроме элементов для турбулизации потока присутствует сетка взаимных опор, позволяющая обеспечивать работоспособность пластины при более высоких давлениях.

4) Канальные пластины. Данный тип пластин представляет собой лист с каналами коридорного типа, способствующих образованию смешанного тока.

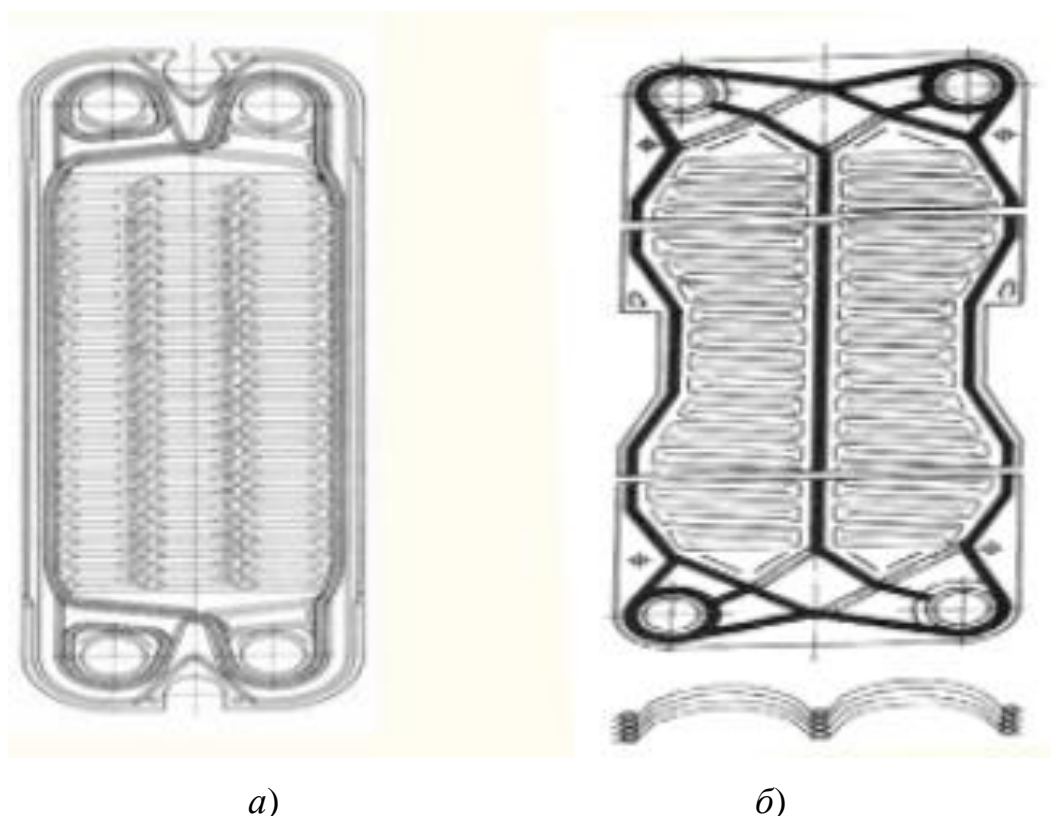


Рисунок 1.16 – Ленточно-поточные и свободно-поточные пластины пластинчатого ТА.

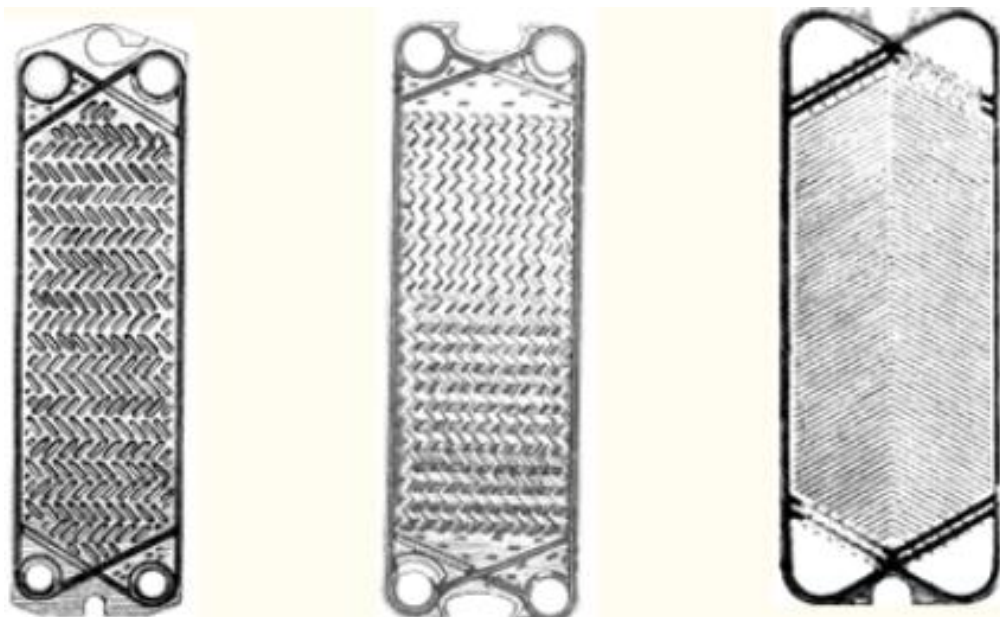


Рисунок 1.17 – Сетчато-поточные пластины пластинчатого ТА.

Особенностями конструкций пластин являются: конструкция гофр или профиль рабочей теплообменной стенки; форма отверстий для входа и выхода рабочих сред с учетом гидравлических сопротивлений; система уплотнений; фиксация положения пластин в ТА; элементы жесткости ТА [21].

1.5 Устройство современных пластинчатых ТА

Современные пластинчатые ТА мало чем отличаются от предшественников разработанных 25-30 лет назад, но этот факт никак не мешает пластинчатым ТА активно продаваться на российском рынке. В свое время, с начала 90-х годов пластинчатые ТА заменили собой отработавшие свой век кожухотрубные ТА в различных отраслях промышленности и жилищно-коммунального сектора. Основная компоновка пластинчатых ТА осталась практически без изменений. Для повышения надежности изменялись материалы из которых производят пластины и прокладки. Для повышения теплообмена и уменьшения гидравлических потерь разрабатываются новые формы листовой поверхности. Принцип работы пластинчатых ТА не изменился.

В качестве современного представителя пластинчатых ТА рассматривается пластинчатый ТА используемый в котельной для отопления помещений ЗАО «ТПЗ».

Для передачи тепловой энергии от котлового контура к отопительному контуру в котельной предприятия ЗАО «ТПЗ» установлен пластинчатый ТА типа GEA NT 150S CD-10. Произведен данный ТА немецкой фирмой «GEA Ecoflex GmbH», пример показан на рисунке 1.18. Поверхность нагрева теплообменника рассчитана на отопительную нагрузку в режиме самого холодного месяца.

ТА изготовлен из нержавеющей хромоникелевой стали. По периметру пластины расположены выпрессованные канавки для уплотнений, которые предназначаются для отделения каналов друг от друга, предотвращения протечек и смешивания сред. Они также имеют функцию определения потока внутри пластинчатого ТА [22].

Уплотнительные резинки изготавливаются из нитриловой резины (NBR), этилен-пропиленовой резины (EPDM), материала Viton. Выбор материала напрямую зависит от режима работы ТА и применяемых в работе сред [22].



Рисунок 1.18 – Пластинчатые ТА производства фирмы «GEA Ecoflex GmbH».

Рама ТА, показанная на рисунке 1.19, состоит из неподвижной плиты 3, прижимающей плиты 4, верхней 6 и нижней 7 направляющих и задней стойки 8. Шпильки 5 стягивают пластины, размещенные между плитами в пакет. Штуцеры 9 необходимы для входа и выхода теплоносителя. Условия применения разборных пластинчатых ТА ограничены: давлением до 10 бар; рабочей температурой от -25°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Возможна работа с жидкими, паровыми средами, а так же с хладагентами [22].

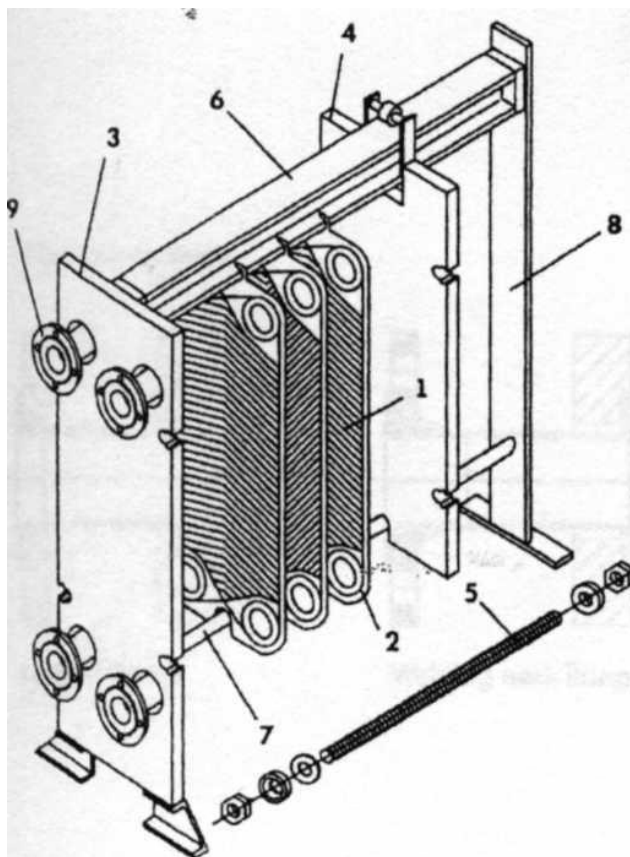


Рисунок 1.19 – Устройство пластинчатого ТА фирмы «GEA Ecoflex GmbH».

Основными преимуществами пластинчатых ТА разборного типа производства фирмы «GEA Ecoflex GmbH» являются:

- 1) Широкий диапазон предлагаемых разборных пластинчатых ТА: от 2-4 кВт до нескольких десятков МВт.
- 2) Данные ТА имеют эффект самоочистки от накипи из-за высокой турбулизации потока.
- 3) Крепление уплотнений пластин выполнено по технологии ECO-LOC. Данная технология запатентована GEA Ecoflex, позволяют

существенно улучшить фиксацию уплотнений в пластинах и обеспечить полную герметичность ТО.

4) Пластины изготавливаются из нержавеющей стали производства компаний Kgrupp.

5) В случае протечек есть возможность затянуть ТО до минимальных размеров, что является быстрым устранением неполадок ТА.

6) Срок службы разборных пластинчатых ТА такого типа составляет 15 лет, при условиях соблюдения и выполнения всех требований к воде, правильной установке и своевременном обслуживании.

7) Оптимизированная конфигурация профиля и гофров пластин позволяет распределяться жидкости равномерно по всей ширине пластины, в следствие чего происходит реализация высокой мощности теплообмена при минимальной потере давления [22].

2 СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

2.1 Легенды и мифы современных пластинчатых ТА

С начала 90-х годов и по настоящее время пластинчатые ТА за счет массивированной, зачастую необъективной рекламы было сформировано ложное мнение, что пластинчатые ТА абсолютно превосходят кожухотрубные ТА. Среди рекламы пластинчатых ТА (в том числе и в статьях) встречались заголовки «Пластинчатые теплообменники – нет альтернативы», при этом не приводилось никаких доказательств и сравнений с тем как все обстоит в действительности.

Основными преимуществами пластинчатых ТА, как правило, выделяют: малый вес, малый габаритный объем, тонкие стены теплопередающих пластин и в следствие чего высокий коэффициент теплопередачи, очень высокий срок службы, простота технического обслуживания. Про цену пластинчатых ТА, как правило умалчивают, ведь зачастую она серьезно превосходит цену кожухотрубных ТА. С момента выхода на рынок зарубежных пластинчатых ТА прошло достаточно времени, чтобы сформировались легенды про них, о которых пойдет речь далее [17].

Легенда 1 – небольшой вес. Мнение о небольшом весе пластинчатых ТА появилось с момента выхода на рынок СНГ иностранных поставщиков. В то время практически весь коммунальный сектор стран бывшего СССР использовал кожухотрубные ТА. Используемые в то время кожухотрубные ТА в основном были разработаны пятьдесят лет назад. В то время это давало пластинчатым ТО ряд серьезных преимуществ по общей массе ТО. Но в настоящее время данная легенда является не более чем мифом.

Научный прогресс не стоит на месте и есть огромное количество перспективных разработок российских ученых. Хорошими примерами разработок в данном направлении могут служить: кожухотрубные ТА

производства компании «САТЕКС» [5], различия по весу которых с пластинчатыми ТА небольшие; кожухотрубные ТА, разработанные ЦКТИ [6,7], у которые совсем скромно превосходят пластинчатые ТА; кожухотрубные ТА ТТАИ предприятия «Теплообмен» [8,9], которые и вовсе не идут не в какое сравнение с пластинчатыми ТА, так как в сравнении вес пластинчатых ТА будет выглядеть крайне большим.

Хорошим примером проигрыша в массе зарубежных пластинчатых ТА кожухотрубным ТА ТТАИ предприятия «Теплообмен» служат конкретные расчетные данные по одному из объектов.

По условиям задания требовался ТО для нагрева воды в бассейне. Заказчик для выбора оптимального решения отправил запросы нескольким производителям как пластинчатых ТА, так и кожухотрубных ТА. По заданию предусматривалось только титановое исполнение. Нагревая среда – морская вода: расход составлял 9,4 т/ч, нагрев от 4 °С до 27 °С. Греющая среда – пресная вода: расход составлял 10,8 т/ч, температура на входе 70 °С. Сухая масса предполагаемого для этих целей пластинчатого ТА составила – 120 кг, а теплообменник ТТАИ имел массу равную 5 кг [17].

Легенда 2 – небольшой габаритный объем. Как и в случае с массой реклама пластинчатых ТА делала акцент и на малом габаритном объеме. Этот параметр особенно важен в городах, где цена одного квадратного метра площади весь дорога и любой руководитель не против пустить освободившуюся площадь под другие нужды. Старые разработки кожухотрубных ТА проигрывали в этом параметре, что способствовало захвату рынка пластинчатыми ТА [17].

Для того чтобы обратить эту легенду в пыль есть простой пример сравнения нынешних пластинчатых ТА с нынешними кожухотрубными ТА.

В поставленной задаче требовалось осуществлять двух ступенчатый нагрев воды идущей на горячее водоснабжение по известным температурам ступеней: 5 °С, 43 °С и 55 °С. Греющая среда представлена параметрами:

расход воды в первой ступени 15,2 т/ч, температура на входе 52 °С; расход воды второй ступени 5,6 т/ч, температура на входе 70 °С [17].

Решением данной задачи являлся пластинчатый ТА одной из западных фирм имеющий объем 0,19 м³. Решением от ТТАИ (при тех же потерях напора) являлись два ТО. Для первой ступени габаритный объем составил 0,03 м³, для второй – 0,007 м³. Оказалось что суммарный объем теплообменников при кожухотрубном варианте в 5,1 раз меньше чем у пластинчатого варианта. Стоит отметить что пластинчатый ТА имел преимущество, так как для данной задачи есть решения по применению всего одного пластинчатого ТА, в то время как в ТТАИ еще ведутся разработки модификации осуществляющей нагрев в двух ступенчатом режиме. При постановке данной задачи иначе, при одноступенчатом подогреве, выигрыш в объеме кожухотрубного ТА составляет 10 и более раз. Еще одним из преимуществ является факт того что ТО производства «Тепломассообмен» проще komponуются в помещении, что так же дает выигрыш по площадям [17].

Легенда 3 – тонкостенность пластин и высокий коэффициент теплопередачи. Из уравнения теплопередачи $Q = K \cdot F \cdot \Delta t$ известно что добившись высокого коэффициента теплопередачи при конкретных условиях возможно сэкономить на общей площади теплообменника. А при условии компактности пластинчатых ТА оказалось что в 90-е годы конкуренции со «старичками» из кожухотрубного сектора нет. На самом деле и эта легенда является не более чем мифом [17].

В примере представленном ранее (для расчета бассейна) оказалось что пластинчатый ТА имел коэффициент теплопередачи $K = 5854 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, а теплообменник ТТАИ обошел конкурента с коэффициентом теплопередачи $K = 8397 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, который практически превышает коэффициент теплопередачи пластинчатого ТА в 1,5 раза [10,17].

Про высокую турбулизацию потока пластинчатых ТА чаще всего информация не достоверна. Ведь турбулизация в трубах изучена гораздо

глубже, нежели чем турбулизированные потоки между пластин. И в современных кожухотрубных ТА аппаратах турбулизация потока нечем не уступает пластинчатому ТА [17].

Говорить о таком преимуществе как очень малая толщина пластин пластинчатых ТА так же является не уместным, ведь их рекордные показатели держатся на уровне 0,4...0,5 мм, которые остались позади показателей современных кожухотрубных ТА достигшим толщины стенки 0,3 мм. Данное достижение очень легко объяснить с физической точки зрения, ведь цилиндрическая форма гораздо легче сдерживает давление, нежели чем форма пластины [11].

Легенда 4 – повышенный срок службы. Всех кто приобретает любое оборудование интересует повышенный срок службы. Пластинчатые ТА, по утверждению производителей, имеют повышенный срок службы за счет следующих особенностей: применение нержавеющей стали, из-за чего ТА не корродируют; профиль пластин способствует такому уровню турбулизации потока, который предотвращает образование отложений; наличие резиновых прокладок, способных выдерживать большие перепады температур [12]. Но на деле это не является безоговорочным преимуществом пластинчатых ТА. Трубки современных кожухотрубных ТА так же как и пластины пластинчатых ТА изготавливаются из нержавеющей сталей тех же марок. Уровень турбулизации потока кожухотрубных ТА не отстает от уровня турбулизации конкурента, что так же не дает скапливаться отложениям на стенках. Используемая в кожухотрубных ТА силиконовая резина имеет те же свойства что и резина пластинчатых ТА. Результатом изложенного выше является отсутствие преимуществ пластинчатых ТА в данном вопросе [13,14,15,17].

Легенда 5 – легкость технического обслуживания. Данный параметр любого ТА очень важен. Ведь в случае неполадок время ремонта теплоснабжающего оборудование ограничено. Очень важно быстро и своевременно провести ремонт затрачивая при этом минимум сил, времени и

средств. Легкость технического обслуживания является распространенной легендой. Зачастую пластинчатый теплообменник приходится разбирать на месте из-за его габаритов и доставлять по частям в ремонтный цех для очистки поверхностей или иного ремонта. При разборе ТО не редки случаи порыва уплотняющих прокладок, которые не редко бывают клееными, а прокладки зачастую возможно приобрести только комплектом по весьма высокой цене. Современные кожухотрубные ТА ТТАИ имеют ряд преимуществ в техническом обслуживании над пластинчатыми ТА: выигрыш в массе (самые большие ТТАИ имеют массу не более 60 кг) позволяет транспортировать ТО в ремонтный цех без особых усилий (достаточно 2-3 человек), исключая при этом трудности, которые могут возникнуть при ремонте на месте; наличие всего двух уплотняющих прокладок в виде колец, которые в случаи замены легко приобрести по доступной цене [16,17].

На основании выше изложенного становится ясно, что современные пластинчатые ТА не являются передовым решение в области теплотехники. Их очень много на рынке, созданы компании на территории РФ, которые осуществляют сборку пластинчатых теплообменников из иностранных комплектующих, но альтернатива данным ТО существует. Кожухотрубные ТА в ряде показателей не только не уступают пластинчатым, но и превосходят их в некоторых конкретных случаях в разы, а то и в десятки раз [17].

2.2 Расчет пластинчатых и кожухотрубных ТА

В котельной ЗАО «ТПЗ» установлен водогрейный котлоагрегат Турботерм-5000. Водогрейный котел "Турботерм" предназначен для снабжения теплом зданий завода и передает тепло через ТО.

Максимальная тепловая нагрузка Q для обеспечения зданий ЗАО «ТПЗ» теплом составляет 5 МВт. Параметры котла приведены в таблице 2.1. Таблица 2.1 – Параметры водогрейного котла установленного на ЗАО «ТПЗ»

Параметры	Турботерм - 5000
Теплопроизводительность номинальная, МВт	5
Максимальное давление воды, МПа	0,6
Температура воды: на входе в котел, °С на выходе из котла, °С	80 115
Топливо	газ, дизельное топливо
Диапазон регулирования теплопроизводительности, %	30-100
Температура воды: на входе в теплообменник, °С на выходе из теплообменника, °С	70 95

Для того чтобы приступить к расчетам теплообменников требуется найти расчетные расходы теплоносителей греющего G_d и нагреваемого G_h для покрытия максимальной нагрузки, которые находятся по формулам:

для греющего теплоносителя

$$G_d = \frac{3,6 \cdot Q}{(t_1^I - t_1^{II}) \cdot c},$$

для нагреваемого теплоносителя

$$G_h = \frac{3,6 \cdot Q}{(t_2^I - t_2^{II}) \cdot c},$$

где Q – максимальная тепловая нагрузка, Вт, для ЗАО «ТПЗ» $Q = 5$ МВт;

t_1^I и t_1^{II} – температуры на входе и выходе из котла, °С, даны в таблице 2.1;

t_2' и t_2'' – температуры на входе и выходе из ТА для отопительного контура, °С, даны в таблице 2.1;

c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С), из справочных данных $c = 4,187$ кДж/(кг·°С).

Находим расчетные расходы теплоносителей

для греющего теплоносителя

$$G_d = \frac{3,6 \cdot 5 \cdot 10^6}{(115 - 80) \cdot 4,187} = 122829 \text{ кг/ч};$$

для нагреваемого теплоносителя

$$G_h = \frac{3,6 \cdot 5 \cdot 10^6}{(95 - 70) \cdot 4,187} = 171960 \text{ кг/ч}.$$

2.2.1 Тепловой и гидравлический расчет пластинчатого ТА

В России продаются помимо зарубежных и отечественные пластинчатые ТА. Есть много фирм на территории России, осуществляющих сборку пластинчатых ТА из зарубежных комплектующих, но так же есть российские производители. Одним из таких производителей является ЦИНТИхимнефтемаш. Данная фирма выпускает несколько типов ТА собственного производства: полуразборные (РС) использующие пластины 0,5Пр и разборные (Р) использующие пластины 0,3р и 0,6р.

Из трех типов теплообменников производитель рекомендует для отопления использовать разборный ТА с пластинами 0,6р. Такие ТА имеют ограничение по рабочему давлению до 1 МПа (на ЗАО «ТПЗ» водогрейный котел ограничен максимальным давлением в 0,6 МПа). Технические характеристики для пластин разборного ТА с типом тип пластин 0,6р приведены в таблице 2.2.

Методика и пример расчета пластинчатого ТА, используемого для нагрева воды, основывается на использовании в ТА всего располагаемого напора рабочих сред, а главной целью является получение максимальной

скорости каждой рабочей среды и, следовательно, максимальных коэффициентов теплоотдачи. В случае неизвестных располагаемых напоров находят оптимальную скорость нагреваемой среды [23].

Таблица 2.2 – Основные технические характеристики пластин 0,6р производства ЦИНТИхимнефтемаш

Показатель	Пластина типа 0,6р
Габаритные размеры, мм	1375x600x1
Площадь поверхности теплообмена, м ²	0,6
Масса, кг	5,8
Экв. диаметр канала, м	0,0083
Площадь поперечного сечения канала, м ²	0,00245
Смачиваемый периметр в поперечном сечении канала, м	1,188
Ширина канала, мм	545
Зазор для прохода рабочей среды, мм	4,5
Приведенная длина канала, м	1,01
Площадь поперечного сечения коллектора, м ²	0,0243
Наибольший диаметр условного прохода штуцера, мм	200
Коэффициент общего гидравлического сопротивления	15/Re ^{0,25}
Коэффициент гидравлического сопротивления штуцера	1,5
Коэффициенты:	
А	0,492
Б	3,0
Максимальный расход теплоносителя, м ³ /ч	200
Номинальная площадь поверхности ТА при двухпорной раме, м ²	От 31,5 до 160
Расчетное давление, МПа	1,0 МПа
Габариты собранного ТА, мм	1800x750x605

Вначале находится оптимальное соотношение числа ходов для греющей x_1 и нагреваемой x_2 среды по формуле

$$\frac{x_1}{x_2} = \left(\frac{G_h}{G_d} \right)^{0,636} \cdot \left(\frac{\Delta p_{cp}}{\Delta p_n} \right)^{0,364} \cdot \frac{1000 - t_{cp}^n}{1000 - t_{cp}^h},$$

где G_d – максимальный расход воды в контуре котла, кг/ч. Данное значение известно исходя из характеристик по контуру с котлом $G_d = 122829$ кг/ч;

G_h – максимальный расход нагреваемой среды, кг/ч. Данное значение известно из контура отопления $G_h = 171960$ кг/ч;

Δp_{cp} – потери давления греющей воды, кПа. Данное значение принимается исходя из рекомендаций $\Delta p_{cp} = 40$ кПа;

Δp_n – потери давления нагреваемой среды, кПа. Данное значение принимается исходя из рекомендаций $\Delta p_n = 100$ кПа;

t_{cp}^n – средняя температура нагреваемой среды, °С, определяется выражением

$$t_{cp}^n = 0,5 \cdot (t_{ex}^n + t_{вых}^n);$$

$$t_{cp}^n = 0,5 \cdot (70 + 95) = 82,5 \text{ °С};$$

t_{cp}^{cp} – средняя температура греющей среды, °С, определяется выражением

$$t_{cp}^{cp} = 0,5 \cdot (t_{ex}^{cp} + t_{вых}^{cp});$$

$$t_{cp}^{cp} = 0,5 \cdot (115 + 80) = 97,5 \text{ °С}.$$

Находим соотношение числа ходов

$$\frac{x_1}{x_2} = \left(\frac{171960}{122829} \right)^{0,636} \cdot \left(\frac{40}{100} \right)^{0,364} \cdot \frac{1000 - 82,5}{1000 - 97,5} = 1,01.$$

Далее расчет зависит от полученного соотношения ходов, если соотношение ходов равняется 2, в таком случае чтобы повысить скорость необходимо применять несимметричную компоновку. В таком случае результатом будет смешанный ток, и в одних каналах теплоносители будут двигаться по противотоку, а в других по прямоточной схеме, что снижает температурный напор и делает ТА менее эффективным. Рекомендуется разбить ТА на два или более теплообменников, работающих по противоточной схеме. В данном случае отношение $x_1 / x_2 = 1$ [23].

При расчете пластинчатого ТА оптимальная скорость принимается в зависимости от диапазона потерь давления в ТА (100-150 кПа), которое соответствует оптимальной скорости $\omega_{opt} = 0,4 \text{ м/с}^2$ [23].

Определившись с количеством ТА в ступени и задавшись значением оптимальной скорости рассчитывается требуемое число каналов по нагреваемой воде m_n :

$$m_n = \frac{G_h}{\omega_{opt} \cdot f_k \cdot \rho_n \cdot 3600},$$

где f_k – живое сечение канала, м^2 ;

ρ_n – плотность нагреваемого ТН при средней температуре, кг/м^3 . При $t_{cp}^n = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность $\rho_n = 970,2 \text{ кг/м}^3$.

$$m_n = \frac{171960}{0,4 \cdot 0,00245 \cdot 970,2 \cdot 3600} = 50,2 \approx 51.$$

Компоновка ТА выбирается симметричная $m_n = m_{cp} = 51$, тогда справедливо выражение

$$f_{cp} = f_n = f_k \cdot m_n;$$

$$f_{cp} = f_n = 0,00245 \cdot 51 = 0,125 \text{ м}^2.$$

Затем определяется фактические скорости греющего ω_{cp} и нагреваемого ω_n теплоносителей, м/с :

$$\omega_{cp} = \frac{G_d}{f_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot 3600};$$

где ρ_{cp} – плотность греющего теплоносителя рассчитывается при средней температуре греющего ТН $t_{cp}^{ep} = 97,5 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность $\rho_{cp} = 960,15 \text{ кг/м}^3$.

$$\omega_{cp} = \frac{122829}{0,125 \cdot 960,15 \cdot 3600} = 0,28 \text{ м/с};$$

$$\omega_n = \frac{G_h}{f_n \cdot \rho_{cp} \cdot 3600};$$

$$\omega_n = \frac{171960}{0,125 \cdot 970,2 \cdot 3600} = 0,4 \text{ м/с.}$$

Коэффициент теплоотдачи α_1 , Вт/(м²·°C), от греющей среды к пластине определяется как

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot A \cdot [23000 + 283 \cdot t_{cp}^{zp} - 0,63 \cdot (t_{cp}^{zp})^2] \cdot \omega_{cp}^{0,73};$$

где A – коэффициент выбираемой исходя из типа пластин (см. табл. 2.2).

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot 0,492 \cdot [23000 + 283 \cdot 97,5 - 0,63 \cdot (97,5)^2] \cdot 0,28^{0,73} =$$

$$= 11387 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Коэффициент теплоотдачи α_2 , Вт/(м²·°C), от пластины к нагреваемой среде определяется как

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot A \cdot [23000 + 283 \cdot t_{cp}^n - 0,63 \cdot (t_{cp}^n)^2] \cdot \omega_n^{0,73};$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,492 \cdot [23000 + 283 \cdot 82,5 - 0,63 \cdot (82,5)^2] \cdot 0,4^{0,73} =$$

$$= 12297 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²·°C), определяется

$$k = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где β – коэффициент, который учитывает изменение коэффициента теплопередачи из-за образующихся на поверхностях отложений и накипи. Данный коэффициент принимается в зависимости от качества теплоносителя на рассматриваемом объекте и принимается от 0,7 до 0,85. Так как на рассматриваемой котельной есть система подготовки воды, принимается $\beta = 0,85$ [23];

λ_{cm} – коэффициент теплопроводности пластин, Вт/(м·°C), зависит от материала из которого изготавливаются пластины в данном случае $\lambda = 16$ Вт/(м·°C) [23];

δ_{cm} – толщина стенки (пластины), м, в данном случае толщина стенки $\delta_{cm} = 0,001$ м [23].

В итоге коэффициент теплопередачи равен:

$$k = \frac{0,85}{\frac{1}{11387} + \frac{0,001}{16} + \frac{1}{12297}} = 4317 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Зная коэффициент теплопередачи k и тепловую нагрузку Q по уравнению теплопередачи рассчитывается площадь поверхностей нагрева F пластинчатого ТА

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}},$$

где Q – требуемая тепловая нагрузка, Вт. Для зданий ЗАО «ТПЗ» максимальная требуемая тепловая нагрузка $Q = 5 \cdot 10^6$ Вт.

Δt_{cp} – температурный напор, °С, рассчитываемый по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1^I - t_2^I) - (t_1^{II} - t_2^{II})}{\ln\left(\frac{t_1^I - t_2^I}{t_1^{II} - t_2^{II}}\right)},$$

где t_1^I и t_2^I – температуры на входе и выходе греющего ТН равные 115 °С и 80 °С.

t_2^I и t_2^{II} – температуры на входе и выходе нагреваемого ТН равные 70 °С и 95 °С.

Рассчитывается температурный напор Δt_{cp}

$$\Delta t_{cp} = \frac{(115 - 70) - (95 - 80)}{\ln\left(\frac{115 - 70}{95 - 80}\right)} = 27,3 \text{ °С}.$$

Рассчитывается площадь поверхностей нагрева:

$$F = \frac{5 \cdot 10^6}{4317 \cdot 27,3} = 42,4 \text{ м}^2.$$

Определяется число ходов x в пластинчатом ТА

$$x = \frac{F + f_{nl}}{2 \cdot m \cdot f_{nl}},$$

где f_{nl} – площадь поверхности одной пластины, м²;

$m = m_n$ – число каналов, рассчитано ранее.

Число ходов x в пластинчатом ТА равно

$$x = \frac{42,4 + 0,6}{2 \cdot 51 \cdot 0,6} = 0,7 \approx 1.$$

Число ходов x округляется до ближайшего целого числа.

После нахождения числа ходов x находится действительная площадь поверхностей нагрева F_{\circ} по формуле

$$F_{\circ} = (2 \cdot m \cdot x - 1) \cdot f_{nl}.$$

Рассчитывается действительную площадь поверхностей нагрева F_{\circ}

$$F_{\circ} = (2 \cdot 51 \cdot 1 - 1) \cdot 0,6 = 60,6 \text{ м}^2.$$

Потери давления p , кПа, в ТО определяются по формулам:

для нагреваемой среды

$$\Delta p_n = \varphi \cdot B \cdot (33 - 0,08 \cdot t_{cp}^n) \cdot \omega_n^{1,75} \cdot x;$$

для греющей среды

$$\Delta p_{ep} = \varphi \cdot B \cdot (33 - 0,08 \cdot t_{cp}^{ep}) \cdot \omega_{ep}^{1,75} \cdot x,$$

где φ – коэффициент, который учитывает образование накипи. Для греющей среды $\varphi = 1$, а для нагреваемой принимается от 1,5 до 2,0. Для нагреваемой среды $\varphi = 2,0$ [23];

B – коэффициент, который зависит от типа применяемой пластины и принимается согласно данным на пластины приведенным в таблице 2.2. Согласно таблице $B = 3,0$.

Рассчитывается потери давления:

для нагреваемой среды

$$\Delta p_n = 2,0 \cdot 3,0 \cdot (33 - 0,08 \cdot 82,5) \cdot 0,4^{1,75} \cdot 1 = 31,9 \text{ кПа};$$

для греющей среды

$$\Delta p_{ep} = 1 \cdot 3,0 \cdot (33 - 0,08 \cdot 97,5) \cdot 0,28^{1,75} = 8,1 \text{ кПа}.$$

2.2.2 Тепловой и гидравлический расчет кожухотрубного ТА

Расчет кожухотрубного ТА проводится на основании исходных данных в таблице 2.1.

Методика и пример расчета кожухотрубного ТА.

Для того чтобы выбрать необходимый типоразмер ТО предварительно задается скорость нагреваемой среды проходящей в трубках, которая равна $\omega_{mp} = 1$ м/с [23]. Затем исходя из двухпоточной компоновки каждой ступени определяется необходимое сечение трубок теплообменника $f_{mp}^{усл}$, м² по формуле

$$f_{mp}^{усл} = \frac{G_h}{2 \cdot 3600 \cdot \omega_{mp} \cdot \rho_n},$$

где G_h – расход воды в системе отопления для зданий предприятия ЗАО «ТПЗ», для обеспечения теплом зданий предприятия расход $G_h = 171960$ кг/ч;

ρ_n – плотность нагреваемого ТН при средней температуре, кг/м³. При $t_{cp}^n = 82,5$ °С, плотность $\rho_n = 970,2$ кг/м³.

Исходя из полученного значения $f_{mp}^{усл}$ из справочной таблицы выбирается необходимый типоразмер ТО [табл. 4.3, 23].

Рассчитывается значение $f_{mp}^{усл}$

$$f_{mp}^{усл} = \frac{171960}{2 \cdot 3600 \cdot 1 \cdot 970,2} = 0,0246 \text{ м}^2.$$

Выбирается наибольший типоразмер кожухотрубного ТА. Данные для расчета теплообменника продублированы в таблице 6 [табл. 4.3, 23].

Далее для выбранного типа теплообменника определяются фактические скорости движения сред в трубках ω_{mp} и межтрубном $\omega_{мтр}$ пространстве, м/с:

$$\omega_{mp} = \frac{G_h}{2 \cdot 3600 \cdot f_{mp} \cdot \rho_n};$$

$$\omega_{\text{мп}} = \frac{G_d}{2 \cdot 3600 \cdot f_{\text{мп}} \cdot \rho_{\text{сп}}},$$

где G_d – максимальный расход воды в контуре котла, кг/ч. Данное значение известно исходя из характеристик по контуру с котлом $G_d = 144000$ кг/ч;

$\rho_{\text{сп}}$ – плотность греющего ТН рассчитывается при средней температуре греющего ТН $t_{\text{сп}}^{\text{сп}} = 97,5$ °С, плотность $\rho_{\text{сп}} = 960,15$ кг/м³.

Таблица 2.3 – Технические характеристики выбранного типа кожухотрубного ТА

Показатель	Значение
Наружный диаметр кожуха D_n , мм	325
Число трубок в одной секции n , шт.	151
Площадь в сечении межтрубного пространства $f_{\text{мп}}$, м ²	0,04464
Площадь в сечении трубок $f_{\text{тр}}$, м ²	0,02325
Экв. диаметр межтрубного пространства $d_{\text{экв}}$, м	0,0208
Поверхность нагрева одной секции (4 м) $f_{\text{сек}}$, м ²	28,49

Находятся фактические скорости движения сред

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{171960}{2 \cdot 3600 \cdot 0,02325 \cdot 970,2} = 1 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\text{мп}} = \frac{122829}{2 \cdot 3600 \cdot 0,04464 \cdot 960,15} = 0,4 \text{ м/с}.$$

Зная скорости ТН определяется сначала коэффициент теплоотдачи от греющего ТН к стенке трубки α_1 , Вт/(м² · °С)

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot (1210 + 18 \cdot t_{\text{сп}}^{\text{сп}} - 0,038 \cdot (t_{\text{сп}}^{\text{сп}})^2) \cdot \frac{\omega_{\text{мп}}^{0,8}}{d_{\text{экв}}^{0,2}},$$

$t_{\text{сп}}^{\text{сп}}$ – средняя температура греющей среды, °С, определяется выражением

$$t_{\text{сп}}^{\text{сп}} = 0,5 \cdot (t_{\text{вх}}^{\text{сп}} + t_{\text{вых}}^{\text{сп}});$$

$$t_{cp}^{zp} = 0,5 \cdot (115 + 80) = 97,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяется значение коэффициента теплоотдачи α_1 от греющей среды к стенке

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot (1210 + 18 \cdot 97,5 - 0,038 \cdot (97,5)^2) \cdot \frac{0,4^{0,8}}{0,0208^{0,2}} = 3148 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки нагреваемой среде α_2 , Вт/(м² · °С) находится по формуле

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot (1210 + 18 \cdot t_{cp}^H - 0,038 \cdot (t_{cp}^H)^2) \cdot \frac{\omega_{mp}^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}},$$

t_{cp}^H – средняя температура нагреваемой среды, °С, определяется выражением

$$t_{cp}^H = 0,5 \cdot (t_{вх}^H + t_{вых}^H);$$

$$t_{cp}^H = 0,5(70 + 95) = 82,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$d_{вн}$ – внутренний диаметр трубок, м.

Находится коэффициент теплоотдачи α_2 от стенки к нагреваемой среде

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot (1210 + 18 \cdot 82,5 - 0,038 \cdot (82,5)^2) \cdot \frac{1^{0,8}}{0,0011^{0,2}} = 11039 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м² · °С), определяется

$$k = \frac{\psi \cdot \beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где ψ – коэффициент, зависящий от используемых профиля труб и перегородок и влияющий на эффективность теплообмена, для гладких труб вместе с блоком перегородок принимается равным $\psi = 1,2$;

β – коэффициент, который учитывает загрязненность поверхности труб в процессе работы ТО принимается от 0,8 до 0,95. Так как на ЗАО «ТПЗ» есть системы очистки воды, то $\beta = 0,8$.

Рассчитывается коэффициент теплопередачи k

$$k = \frac{1,2 \cdot 0,8}{\frac{1}{3148} + \frac{0,001}{105} + \frac{1}{11039}} = 2298 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Зная коэффициент теплопередачи k и тепловую нагрузку Q по уравнению теплопередачи рассчитывается площадь поверхностей нагрева F кожухотрубного ТА

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}},$$

где Q – требуемая тепловая нагрузка, Вт. Для зданий ЗАО «ТПЗ» максимальная требуемая тепловая нагрузка $Q = 5 \cdot 10^6$ Вт.

Δt_{cp} – температурный напор, $^\circ\text{С}$, рассчитываемый по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1^I - t_2^I) - (t_1^{II} - t_2^{II})}{\ln\left(\frac{t_1^I - t_2^I}{t_1^{II} - t_2^{II}}\right)},$$

где t_1^I и t_2^I – температуры на входе и выходе греющего ТН равные 115 $^\circ\text{С}$ и 80 $^\circ\text{С}$.

t_1^{II} и t_2^{II} – температуры на входе и выходе нагреваемого ТН равные 70 $^\circ\text{С}$ и 95 $^\circ\text{С}$.

Рассчитывается температурный напор Δt_{cp}

$$\Delta t_{cp} = \frac{(115 - 70) - (95 - 80)}{\ln\left(\frac{115 - 70}{95 - 80}\right)} = 27,3 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Рассчитывается площадь поверхностей нагрева:

$$F = \frac{5 \cdot 10^6}{2298 \cdot 27,3} = 79,7 \text{ м}^2.$$

Число секций теплообменника в одном потоке N , шт. находится по формуле

$$N = \frac{F}{2 \cdot f_{сек}},$$

где $f_{сек}$ – поверхность нагрева одной секции теплообменника. Данное значение находится в таблице 6 $f_{сек} = 28,49 \text{ м}^2$.

Находится количество секций

$$N = \frac{79,7}{2 \cdot 28,49} = 1,4 \approx 2 \text{ шт.}$$

Максимальные потери давления в теплообменнике Δp , кПа для одной секции длиной 4 м равны $\Delta p_{тр}(1 \text{ секция}) = 4 \text{ кПа}$ и $\Delta p_{мтр}(1 \text{ секция}) = 9 \text{ кПа}$ [табл. 4.3, 23]. Так как в результате расчетов теплообменник имеет 2 секции то для нагреваемой среды проходящей в гладких трубках

$$\Delta p_{тр} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кПа};$$

для греющей среды проходящей в межтрубном пространстве

$$\Delta p_{мтр} = 9 \cdot 2 = 18 \text{ кПа.}$$

2.3 Критерии эффективности пластинчатых и кожухотрубных ТА

Главной сложностью при конструировании ТА является возрастание гидравлических потерь при увеличении интенсификации. С увеличением скоростей теплоносителей увеличиваются коэффициенты теплоотдачи и, следовательно, коэффициент теплопередачи ТО, но из-за увеличения скорости вследствие относительного сужения каналов возрастают гидравлические потери. Для того, чтобы оценить эффективность ТА, применяются критерии эффективности.

Оценку эффективности ТА обычно производят на основе термического КПД, который определяется отношением количества переданной теплоты в ТА к теоретически максимально возможному. Но данный критерий не может быть объективным, ведь он не учитывает потери качества передаваемой теплоты и потери в связи с гидравлическим сопротивлением ТА. В этой связи существуют другие оценки эффективности ТА: эксергетический КПД η_e (данный критерий эффективности ТА предназначен для сравнения и оптимизации работы ТА); тепловой КПД η_m (определяемый отношением количества по факту переданного в аппарате тепла к теоретически максимально возможному при заданных термических потенциалах); энергетический коэффициент М.В. Кирпичева E_o (представляющий собой отношение переданной теплоты к мощности затраченной на прокачку теплоносителя через ТА); критерий оценки интенсивности интенсификации E (представляющий собой отношение коэффициента теплоотдачи и затрат в результате гидравлического сопротивления ТА); критерий компактности (представляющий отношение переданной теплоты на объем занимаемый ТО); критерий материалоемкости (представляющий отношение переданного тепла к массе ТО).

Термический КПД η_m часто используется для оценки эффективности ТА и рассчитывается по формуле

$$\eta_m = \frac{\omega_n \cdot \Delta t_n}{\omega_m \cdot \Delta t} = \frac{\omega_2 \cdot \Delta t_2}{\omega_m \cdot \Delta t},$$

где ω_n и ω_2 – тепловые эквиваленты нагреваемой и греющей сред, кДж/(кг·с);

ω_m – является минимальным значением теплового эквивалента $\omega_m = \min(\omega_n, \omega_2)$;

Δt_n и Δt_2 – разности температур теплоносителей ТА [24].

Данный критерий эффективности является функцией температур и тепловых эквивалентов ТН, но также зависит от гидравлических показателей в ТА и конструктивных особенностей. Тепловые эквиваленты связаны с гидродинамическими показателями через коэффициент теплопередачи. Уравнение для определения термического КПД можно записать в следующем виде

$$\eta_m = \frac{1 - e^{-\varphi}}{1 + (-1)^p \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_n}\right) \cdot e^{-\varepsilon p}} \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_n}\right)^n,$$

где $\varphi = \left(1 + \frac{\omega_2}{\omega_n}\right) \cdot \frac{KF}{\omega_2}$, ε , n , p – параметры процесса, которые зависят от гидродинамики внутри ТА;

$p = 0$ при прямотоке, в остальных случаях течения $p = 1$;

$n = 0$ при условии $\omega_m = \omega_2$, $n = 1$ при условии $\omega_m = \omega_n$;

ε – параметр, который характеризует отличие реальной схемы движения от канонической схемы, $\varepsilon = 0$ при прямотоке, $\varepsilon = 1$ при противотоке [24].

Представленная зависимость является универсальной и способна оценивать эффективность работы ТА при заданных конструктивных параметрах, расходных характеристиках и потенциалах теплоносителей [24].

К самым главным недостаткам критерия эффективности η_m относятся ограниченность области применения (применяется только в рекуперативных

ТА, где ТН не изменяют свое агрегатное состояние), а так же данный критерий не содержит информации обусловленной необратимыми потерями в процессе теплообмена и гидравлического сопротивления ТА [24].

Указанных выше недостатков не имеет эксергетический КПД η_e . Он представляет собой функциональную связь между термическими характеристиками Δt_n , Δt_z , η_m и представляется в виде

$$\eta_e = \frac{1 - \frac{\omega_n}{\omega_m} \cdot \frac{T_o}{\eta_m \cdot (T_z^I - T_n^I)} \cdot \ln \left[1 + \eta_m \cdot \frac{\omega_m}{\omega_n} \left(\frac{T_z^I}{T_n^I} \right) - 1 \right]}{1 + \frac{\omega_z}{\omega_m} \cdot \frac{T_o}{\eta_m \cdot (T_z^I - T_n^I)} \cdot \ln \left[1 - \eta_m \cdot \frac{\omega_m}{\omega_n} \left(\frac{T_z^I}{T_n^I} \right) - 1 \right]},$$

где T_o – температура окружающей среды, К.

Представленное выше уравнение позволяет провести количественную оценку и связь эксергетического КПД η_e и термического КПД η_m .

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при условии, когда температура греющей среды на входе в ТА выше температуры окружающей среды в 1,5 или более раз, а начальная температура нагреваемой среды близка к температуре окружающей среды, количественные оценки обоих критериев отличаются не более чем на 5-7 %. В других же случаях эксергетический КПД меньше термического КПД η_m . Это в первую очередь связано с ростом относительной доли потерь теплоты вследствие необратимости протекающих в ТА процессов. Тепловой КПД таких потерь не учитывает [24].

В 40-е годы прошлого века М.В. Кирпичевым было сформулировано фундаментальное положение, что энергетическая эффективность теплообменника характеризуется отношением теплоты Q , переданной в ТА, к затратам мощности N на преодоление гидравлических сопротивлений. Данное положение выражается простой зависимостью

$$E_o = Q / N,$$

где E_o – энергетический коэффициент Кирпичева [25].

В результате получается простая зависимость: чем выше коэффициент, тем лучше конструкция ТА и способ интенсификации в ТА. Один из недостатков данной зависимости – это неоднозначное изменение коэффициента E_o в зависимости от принятых скоростей используемых ТН, соотношения коэффициентов теплопередачи, диапазонов температур и другие. [25].

В современных рекуперативных ТА наибольшее термическое сопротивление теплопередачи (величина обратно пропорциональная коэффициенту теплопередачи) наблюдается в пристенном слое. Интенсификация теплообмена наблюдается при уменьшении толщины стенок или разрушении турбулентным потоком пристенного пограничного слоя, но это в свою очередь приводит к росту гидравлических сопротивлений и увеличению энергозатрат на его преодоление. При увеличении скорости движения ТН в гладком прямом канале поверхности теплообмена теплопередача растет одновременно с опережающим рост теплопередачи увеличением гидравлических сопротивлений (аналогия Рейнольдса) [25].

На криволинейных формах поверхностей теплообмена аналогия Рейнольдса не применяется. Интенсификация теплообмена в зависимости от формы поверхности в каналах будет расти, если форма поверхности приводит к усиленному обновлению частиц в пограничном слое. Возможны частные случаи, при которых рост теплопередачи опережает темп роста гидравлических сопротивлений. Теплоэнергетические характеристики таких поверхностей, интенсифицирующих процесс теплообмена, опережая гидравлические сопротивления, очень высоки [25].

Критерий оценки эффективности интенсификации представляется как отношение коэффициента теплоотдачи α и энергозатрат на преодаление гидравлических сопротивлений N_o^m

$$E = \alpha / N_o^m,$$

где m – показатель степени, определяемый для каждой формы поверхности экспериментально [25].

Для конкретной конструкции критерий эффективности E отражает уровень оптимизации параметров каналов для прохождения ТН.

Минусами данного критерия является необходимость для точного сравнения эффективности ТА соблюдать одинаковые условия сравнения, либо проводить сравнение при одинаковых внешних параметрах [25].

Критерии эффективности отношений объемов и массы: компактности и металлоемкости – с точки зрения эффективности проходящих в ТА процессов информации не несут.

Для оценки эффективности пластинчатых и кожухотрубных ТА воспользуемся критерием эффективности Кирпичева. Данный критерий достаточно прост и не требует нахождения большого количества разнообразных параметров. С помощью данного критерия можно определить какой тип рекуперативного ТА выгоднее с точки зрения энергоэффективности применять для отопления зданий ЗАО «ТПЗ».

$$E_o = \frac{Q}{N},$$

где Q – передаваемое ТА тепловая нагрузка, Вт, для пластинчатых и кожухотрубных ТА данное значение одинаково и равняется максимальной тепловой нагрузке $Q = 5 \cdot 10^6$ Вт;

N – затрачиваемая мощность на прокачку ТН, Вт, определяется исходя из рассчитанных гидравлических потерь давлений в ТА и расхода ТН:

для пластинчатого ТА

$$N_n = \Delta p_n \cdot G_h^v + \Delta p_{zp} \cdot G_d^v;$$

для кожухотрубного ТА

$$N_k = \Delta p_{mp} \cdot G_h^v + \Delta p_{mmp} \cdot G_d^v,$$

где G_h^v – расход нагреваемого теплоносителя, м³/с

$$G_h^v = \frac{G_h}{3600 \cdot \rho_n} = \frac{171960}{3600 \cdot 970,2} = 0,0492 \text{ м}^3/\text{с};$$

G_d^v – расход греющего теплоносителя, м³/с

$$G_d^v = \frac{G_d}{3600 \cdot \rho_n} = \frac{122829}{3600 \cdot 960,15} = 0,0355 \text{ м}^3/\text{с};$$

Δp_n и Δp_{zp} – потери давления нагреваемого и греющего теплоносителя

пластинчатого ТА известны из расчетов представленных выше:

для нагреваемой среды

$$\Delta p_n = 31,9 \text{ кПа};$$

для греющей среды

$$\Delta p_{zp} = 8,1 \text{ кПа};$$

$\Delta p_{тр}$ и $\Delta p_{мтр}$ – потери давления в трубах и межтрубном пространстве

кожухотрубного ТА, известные из расчетов, представленных выше, кПа:

нагреваемой среды, проходящей в гладких трубках

$$\Delta p_{тр} = 8 \text{ кПа};$$

для греющей среды, проходящей в межтрубном пространстве

$$\Delta p_{мтр} = 18 \text{ кПа}.$$

Находится мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений ТА:

для пластинчатого ТА

$$N_n = 31,9 \cdot 10^3 \cdot 0,0492 + 8,1 \cdot 0,0355 = 1570 \text{ Вт};$$

для кожухотрубного ТА

$$N_k = 8 \cdot 10^3 \cdot 0,0492 + 18 \cdot 10^3 \cdot 0,0355 = 1033 \text{ Вт}.$$

Определяем коэффициент эффективности ТО по методике Кирпичева:

для пластинчатого ТА

$$E_{on} = \frac{5 \cdot 10^6}{1570} = 3185;$$

для кожухотрубного ТА

$$E_{ок} = \frac{5 \cdot 10^6}{1033} = 4840.$$

Для количественной оценки различий кожухотрубного ТА и пластинчатого ТА по коэффициенту эффективности Кирпичева находится процентное соотношение

$$E_{\%} = \frac{E_{ок} - E_{оп}}{E_{ок}} \cdot 100\% = \frac{|3185 - 4840|}{3185} \cdot 100\% = 52 \%,$$

где $E_{\%}$ – характеризует производительность теплоты в зависимости от затрачиваемой на преодоление гидравлических потерь энергии кожухотрубного ТА по отношению к пластинчатому ТА.

Исходя из полученного значения по критерия Кирпичева эффективность кожухотрубного ТА в полтора раза превосходит эффективность пластинчатого ТА.

2.4 Основные показатели надежности пластинчатых и кожухотрубных ТА

Надежность представляет собой комплексный показатель, включающий в себя, способность сохранять техническими системами эксплуатационные характеристики в течении длительного времени [26].

К основным единичным показателям надежности относятся: долговечность (включающая в себя ресурс оборудования) и ремонтпригодность (время восстановления теплообменника после отказа) [26].

Кожухотрубные ТА активно использовались в прошлом столетии и используются в настоящее время. За это время они зарекомендовали себя как надежные, безопасные, эффективные, износостойкие и практически неприхотливые ТО.

Пластинчатые ТА стали активно использоваться с начала 90-х годов прошлого столетия. Они требовательны к чистоте ТН, но компактны, просты в устройстве, надежны, долговечны, эффективны и износостойки за счет применения нержавеющей сталей.

Выбор между кожухотрубными и пластинчатыми ТА крайне сложен, ведь эти ТА имеют очень схожие по ряду технических вопросов достоинства и проблемы, а время службы ТА зависит не только от качества изготовления ТА но и: от условий эксплуатации (область применения ТА очень обширна); от своевременного качественного ремонта; от качества используемых ТН и даже от возможных нештатных ситуаций аварийного характера. Поэтому в данной работе вопрос надежности заключается в качественном сравнении двух типов наиболее используемые ТА.

По износостойкости более долговечными выглядят кожухотрубные ТА, так как зачастую они спроектированы для агрессивных условий работы и неприхотливы к качеству используемых теплоносителей. Очевидным минусом пластинчатого ТА в этом критерии является большое количество

уплотняющих прокладок, которые как показывает практика использования пластинчатых ТА, не «доживают» до конца заявленного срока службы ТА, а комплект уплотняющих прокладок для всего ТА потребует вложения не малых средств. И анализируя современные предложения на рынке теплообменного оборудования нельзя не заметить активное предложение уплотняющих прокладок и теплообменных пластин для пластинчатых ТА, что говорит о том, что замена данных деталей требуется.

Стойкость к гидроударам можно так же отнести к разделу износостойкости. Стойкость к гидроударам выше у кожухотрубных ТА в связи с тем что все поверхности нагрева такого ТА имеют круглую форму, а в случае с корпусом и значительную толщину. Труба лучше сопротивляется внезапным «вредным» воздействием нежели, чем пластина. Поэтому при работе с большими давлениями предпочтение отдается кожухотрубным ТА.

Вопрос долговечности очень сложный. Он зависит от множества факторов, но некоторые параллели подвести в этом вопросе можно. Заявленные производителями сроки службы пластинчатых и кожухотрубных ТА схожи, они колеблются в пределах 12-15 лет, при этом рекомендуется проводить комплекс мероприятий по внутреннему осмотру, очистке поверхностей в случае наличия загрязнений и ремонту не реже чем раз в три года для пластинчатых и кожухотрубных ТА. При должном обращении теплообменники и того и другого типа могут прослужить 20 и более лет, а при неправильном использовании теплообменник выходит из строя крайне быстро в следствии коррозии (у кожухотрубных ТА при неверном выборе направления греющего и нагреваемого теплоносителя – нагреваемый теплоноситель рекомендуется направлять в трубки), отложений на поверхностях из-за неправильной работы системы водоочистки (от этого чаще всего страдают пластинчатые ТА) и других множества способов.

Очень важным критерием надежности является ремонтпригодность. Информация производителей различных теплообменных аппаратов далеко не всегда является истинной. В некоторых каталогах говорится о том что

пластинчатый теплообменник разбирается за 15 мин, но в то же время на одном из предприятий стоит пластинчатый теплообменный аппарат этой же фирмы, и смотря на него нельзя сказать что возможно его полностью разобрать и за пол дня, так как он состоит из 80 пластин довольно приличного размера и соответствующего количества уплотняющих резинок, которые при разборе желательно не повредить, а если представить сколько времени занимает очистка этих поверхностей от загрязнений обязательная раз в три года. Кожухотрубные ТА имеют меньшее количество уплотняющих резинок, но они очень громоздки, поэтому требуют больших площадей не только под сам теплообменник, но и для возможности ремонта. И пластинчатые и кожухотрубные ТА давно известны и имеют довольно простые способы ремонта к примеру: при устранении протекания уплотняющих резинок в пластинчатых ТА нередко производят дополнительную затяжку, которая сжимает пластины и следовательно прижимает уплотняющие резинки (затяжка имеет свой предел и некоторые производители закладывают даже допустимые значения подтяжки теплообменников представляя их в виде новой функции); в кожухотрубных ТА нередки случаи заделки вышедших из строя трубок в результате чего ТА после быстрого ремонта способен продолжать работу, но и здесь есть свой предел. Ведь многолетняя эксплуатация теплоэнергетического оборудования ведет к тому, что оборудование «устаревает», вследствие чего начинает значительно уступать по экономичности и надежности новому оборудованию. В связи с этим всегда актуально «техническое перевооружение». Грань, когда необходимо «техническое перевооружение» определяется на основе оценки состояния в одних случаях единицы оборудования, в других – комплекса оборудования, осуществляющего взаимодействие между собой [26].

В заключении раздела необходимо отметить, что кожухотрубные ТА в надежности по большинству параметров не уступают пластинчатым ТА, а в некоторых случаях превосходят пластинчатые ТА таких как:

неприхотливость к качеству используемых теплоносителей; стойкость к гидравлическим ударам и простота обслуживания и эксплуатации.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Стародубцеву Сергею Петровичу

	Инженерная школа энергетики	Отделение/НОЦ	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>оклад научного руководителя 30000 руб.; оклад инженера 17000 руб.; стоимость КТА 953450 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент – 30%.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Социальные отчисления от ФОТ – 30%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование работ и оценка времени их выполнения; Смета затрат на проект.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Смета затрат на реализацию проекта.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка экономического эффекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преп.	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Стародубцев Сергей Петрович		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Под финансовым менеджментом принято понимать управление финансами, направленное на достижение конкретных целей.

В данном разделе рассчитываются затраты на исследование темы «Сопоставительный анализ эффективности и надежности применения пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов на ЗАО «Томский приборный завод»». В технической части рассчитан кожухотрубный теплообменный аппарат, имеющий преимущество над пластинчатым теплообменным аппаратом в связи с меньшими затратами на перекачку теплоносителя.

3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Для планирования выполнения работ по проектированию кожухотрубного теплообменного аппарата составляется план. В нем подсчитывается по пунктам трудоемкость работ, количество исполнителей, участвующих в проекте, расходы и текущие затраты: заработная плата, социальные отчисления.

На разработку данного проекта было затрачено время разработчиков инженера и научного руководителя. Перечень работ и оценка времени их выполнения занесены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень работ и времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнитель*	Продолжительность, дн.
1	Выдача и получение задания	И, НР	1
2	Изучение классификации ТА	И	7
3	Оформление первого раздела ВКР «Теплообменные аппараты»	И	7

Продолжение таблицы 3.1

4	Проверка оформления первого раздела ВКР; консультация	НР	1
5	Изучение кожухотрубных и пластинчатых ТА из научных статей опубликованных в научных журналах	И	7
6	Оформление второго раздела ВКР «Сопоставительный анализ кожухотрубных и пластинчатых ТА»	И	10
7	Проверка оформления второго раздела ВКР; консультация	НР	1
8	Исправление замечаний и ошибок во втором разделе ВКР	И	3
9	Повторная проверка оформления второго раздела ВКР	НР	1
10	Оформление раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И	2
11	Оформление раздела «Социальная ответственность»	И	2
12	Согласование ВКР	И	7

*И – инженер; НР – научный руководитель ТПУ.

Продолжительность работы инженера составила $T_{инж} = 46$ дн.

Продолжительность работы научного руководителя $T_{нр} = 4$ дн.

3.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проект определяется выражением

$$K_{\text{проект}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}},$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты. Принимаются в размере $K_{\text{мат}} = 1000$ руб. (стоимость канцелярских товаров использованных при разработке проекта).

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники, руб., данное значение определяется следующим выражением

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.км}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{км}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}},$$

где $T_{\text{исп.км}}$ – время использования компьютерной техники, дн., на компьютере работал только инженер $T_{\text{исп.км}} = 46$ дн.;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время, принимается $T_{\text{кал}} = 365$ дн.;

$C_{\text{км}}$ – цена компьютерной техники, руб. Исходя из цены компьютера на котором производилась работа по ВКР $C_{\text{км}} = 30000$ руб.;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники, дн. Исходя из того что средний срок службы компьютерной техники 5 лет $T_{\text{сл}} = 5$ лет.

Рассчитывается амортизация компьютерной техники $K_{\text{ам}}$

$$K_{\text{ам}} = \frac{46}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 756 \text{ руб.}$$

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату, руб., определяются выражением

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{пр}},$$

где $ЗП_{\text{инж}}$ и $ЗП_{\text{пр}}$ – заработные платы инженера и научного руководителя, руб., определяются исходя из суммы месячных окладов и затраченного на проект времени:

для инженера

$$ЗП_{\text{инж}} = ЗП_{\text{оинж}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{T_{\text{инж}}}{30};$$

для научного руководителя

$$ЗП_{нр} = ЗП_{опр} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{T_{нр}}{30};$$

где $ЗП_{оинжс}$ – месячный оклад инженера, руб., средний оклад инженера

$$ЗП_{оинжс} = 17000 \text{ руб.};$$

$ЗП_{опр}$ – месячный оклад научного руководителя, руб., средний оклад профессора $ЗП_{опр} = 30000$ руб.;

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, в ТПУ $K_1 = 1,1$;

K_2 – районный коэффициент, для города Томска $K_2 = 1,3$.

Рассчитывается заработная плата инженера $ЗП_{инжс}$

$$ЗП_{инжс} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot \frac{46}{30} = 37275 \text{ руб.}$$

Рассчитывается заработная плата научного руководителя $ЗП_{нр}$

$$ЗП_{нр} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot \frac{4}{30} = 5720 \text{ руб.}$$

Далее рассчитываются затраты на заработную плату $K_{з/пл}$

$$K_{з/пл} = 37275 + 5720 = 42995 \text{ руб.}$$

$K_{с.о}$ – затраты на социальные нужды, руб., рассчитываются

выражением

$$K_{с.о} = 0,3 \cdot K_{з/пл}.$$

Затраты на социальные нужды $K_{с.о}$

$$K_{с.о} = 0,3 \cdot 42995 = 12898,5 \text{ руб.}$$

$K_{нр}$ – прочие затраты, руб. Определяются выражением

$$K_{нр} = 0,1 \cdot (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о}).$$

Рассчитываются прочие затраты $K_{нр}$

$$K_{нр} = 0,1 \cdot (1000 + 756 + 42995 + 12898,5) = 5765 \text{ руб.}$$

$K_{накл}$ – накладные расходы, руб., принимаются в размере 200% от $K_{з/пл}$

и определяются как

$$K_{накл} = 2 \cdot K_{з/пл}.$$

Рассчитываются накладные расходы $K_{накл}$

$$K_{накл} = 2 \cdot 42995 = 85990 \text{ руб.}$$

Рассчитывается смета затрат на проект $K_{проект}$

$$K_{проект} = 1000 + 756 + 42995 + 12898,5 + 5765 + 85990 = 149404,5 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты K_{mat}	1000
Амортизационные затраты $K_{ам}$	756
Затраты на заработную плату $K_{з/пл}$	42995
Затраты на социальные нужды $K_{с.о}$	12898,5
Прочие затраты $K_{пр}$	5765
Накладные расходы $K_{накл}$	85990
Итого $K_{проект}$	149404,5

3.3 Смета затрат на реализацию проекта

Смета затрат на оборудование и монтажные работы (стоимость монтажных работ принята 20% от суммарной стоимости оборудования).

Таблица 3.3 – Смета затрат на реализацию проекта

Элементы затрат	Стоимость, руб.
На разработку проекта	149404,5
На приобретение ТА	953450
Монтажные работы	190690
Итого	1293544,5

3.4 Оценка экономического эффекта проекта

Годовые эксплуатационные издержки в котельной определяются выражением

$$I_{год}^{TC} = I_{ам} + I_{рем} + I_{пр}, \text{ руб./год}$$

где $I_{ам}$ – амортизационные отчисления, руб.;

$I_{рем}$ – затраты на ремонт, руб.;

$I_{пр}$ – прочие затраты, руб.

Затраты на амортизацию:

$$I_{ам} = N_{ам} \cdot K_{та}, \text{ руб.},$$

где $N_{ам}$ – норма амортизации,

$K_{та}$ – капитальные затраты на ТА, руб.

Норма амортизации рассчитывается по формуле

$$N_{ам} = \frac{1}{T} \cdot 100, \%$$

где T – нормативный срок службы данного вида основных фондов, лет. Согласно Общероссийского классификатора основных средств (ОКОФ),

оборудование теплообменное относится к 9 амортизационной группе, срок полезного использования 15 лет.

$$H_{ам} = \frac{1}{15} \cdot 100 = 6,6\%.$$

Затраты на амортизацию составляют:

$$I_{ам} = 0,066 \cdot 1293544,5 = 85374 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт рассчитываются в процентах от капитальных затрат.

Затраты на ремонт ТА, согласно СО 34.20.611-2003 Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств электростанций, составляют 6,38 %.

$$I_{рем} = 0,0638 \cdot 1293544,5 = 82528 \text{ руб.}$$

Прочие затраты

Прочие затраты рассчитываются как 10% от суммы всех эксплуатационных расходов по ТА.

$$I_{пр} = 0,1 \cdot (I_{ам} + I_{рем}),$$

$$I_{пр} = 0,1 \cdot (85374 + 82528) = 16790 \text{ руб.}$$

Общие суммарные годовые эксплуатационные расходы по ТА составляют

$$I_{год}^{ТС} = 85374 + 82528 + 16790 = 184692 \text{ руб.}$$

Расчет экономического эффекта

Преимущество нового теплообменного аппарата заключается в экономии энергоресурсов на протяжении всего отопительного периода.

Оценка экономического эффекта определяется выражением

$$\mathcal{E}_ф = \mathcal{E}_{до} - \mathcal{E}_{после}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где $\mathcal{E}_{до}$ – количество энергии, затрачиваемой на собственные нужды за отопительный сезон, до реализации проекта, кВт·ч, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{до} = 3,6 \cdot N_n \cdot 24 \cdot n,$$

где n – количество дней отопительного сезона города Томск и составляет $n = 236$ дней.

$$\mathcal{E}_{до} = 3,6 \cdot 1570 \cdot 24 \cdot 236 = 32012928 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$\mathcal{E}_{после}$ – количество энергии, затрачиваемой на собственные нужды за отопительный сезон, после реализации проекта, кВт·ч, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{после} = 3,6 \cdot N_k \cdot 24 \cdot n.$$

Находим количество энергии затрачиваемой на собственные нужды после реализации проекта

$$\mathcal{E}_{после} = 3,6 \cdot 1033 \cdot 24 \cdot 236 = 21063283,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Определяем экономический эффект

$$\mathcal{E}_{\phi} = 32012928 - 21063283,2 = 10949644,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Стародубцеву Сергею Петровичу

	Инженерная школа энергетики	Отделение/НОЦ	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Сопоставительный анализ эффективности и надежности применения пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов на ЗАО «Томский приборный завод»
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	Анализ источников опасностей и вредностей – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).
2. Экологическая безопасность:	экологическая безопасность при организации строительства
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	безопасность в чрезвычайных ситуациях
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	правовые нормы трудового законодательства

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Стародубцев Сергей Петрович		

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Корпоративная социальная ответственность – это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние деятельности сотрудников организации на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров, местные сообщества и прочие заинтересованные стороны общественной сферы.

Корпоративной социальной ответственностью называется постоянная приверженность бизнеса принципам ведения дела на основе этики и готовность вносить свой вклад в экономическое развитие, улучшая одновременно качество жизни и своих работников с их семьями, и общества в целом.

В системе корпоративного управления важное место отводится социальной ответственности, которая повышает рейтинг компаний, дает им конкурентное преимущество при привлечении инвестиций, улучшает качество управления компанией.

Индивидуальная социальная ответственность – это ответственность человека за результаты своей деятельности (прикладывает усилия, чтобы не наносить вред сотрудникам, предприятию, всему обществу или природе).

Социальная ответственность (корпоративная и индивидуальная) – важная составляющая устойчивого будущего человечества.

Как особый, комплексный вид деятельности, корпоративная социальная ответственность включает в себя ряд направлений:

1) принципы корпоративного управления, предполагающие подотчетность корпорации за финансово-хозяйственные результаты своей деятельности перед множеством акционеров;

2) политика в отношении персонала, направленная на заботу об экономическом и социальном благополучии сотрудников корпорации;

3) ответственность перед потребителем путем предоставления ему качественной продукции и достаточной информации о ней;

4) ответственные отношения с партнерами за счет добросовестного исполнения обязательств, построения долгосрочных, взаимовыгодных отношений;

5) социальная политика, включающая в себя реализацию социальных программ, благотворительность, участие в решении социальных проблем и другие добровольные действия, направленные на улучшение жизни общества;

6) охрана окружающей среды путем снижения на нее негативного воздействия, как побочного результата ведения бизнеса.

Профессиональная социальная безопасность

Для создания благоприятных условий для высокопроизводительного труда, усиления его творческого характера необходимо всемерное сокращение ручного, малоквалифицированного и тяжелого физического труда путем внедрения мероприятий по охране труда. Вопросам охраны труда уделяется большое внимание во всех промышленно развитых странах.

Охрана труда в нашей стране, согласно ГОСТ 12.0.002-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения, определяется как «Система законодательных актов, а также предупредительных и регламентирующих социально-экономических, организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, средств и методов, направленных на обеспечение безопасных условий труда».

В целях дальнейшего совершенствования охраны труда в народном хозяйстве Госстандарт совместно с привлечением заинтересованных ведомств разработали единую систему стандартов безопасности труда (ССБТ).

ЗАО «Томский приборный завод» – организация, выпускающая продукцию гражданского назначения: хирургические столы, массажеры, составляющие конвейерного оборудования и другое оборудование. При ЗАО «Томский приборный завод» функционирует собственная котельная, которая обеспечивает теплом все здания завода. Объектом разработки проекта является теплообменный аппарат, осуществляющий передачу тепловой энергии от котельного агрегата в отопительный контур зданий.

4.1 Характеристика объекта

В качестве объекта рассматривается теплообменный аппарат, используемый на котельной для передачи тепловой энергии зданиям ЗАО «Томский приборный завод». Теплоноситель используемый в контурах котельного агрегата и отопления – вода. Температура воды в зависимости от нагрузки изменяется в пределах: в контуре котла от 80 °С до 115 °С; в отопительном контуре от 70 °С до 95 °С.

В данном проекте рассматривалась возможность замены импортного пластинчатого теплообменного аппарата на теплообменный аппарат отечественного производства. В качестве наиболее эффективного решения представлен отечественный кожухотрубный теплообменный аппарат выпускаемый в соответствии с ГОСТ 27590-2005. Данный стандарт предусматривает конструкцию блоков-секций и подогревателей, обеспечивающую выполнение требований безопасности, предусмотренных ГОСТ 12.2.049 и ГОСТ 12.2.003.

4.2 Опасные и вредные факторы

В зоне обслуживания котельного агрегата, теплообменного аппарата и сети отопительного контура могут иметь место следующие опасные и вредные производственные факторы:

- повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола, настила);
- недостаточная освещенность;
- перемещение машин и механизмов вблизи рабочего места;
- повышенная загазованность, недостаточное содержание кислорода в воздухе рабочей зоны;
- вибрация.

4.3 Защита персонала от воздействия опасных и вредных факторов

Для защиты от воздействия опасных и вредных факторов необходимо применять следующие средства защиты:

- при работе вблизи движущихся механизмов следует проявлять особую осторожность, быть внимательным к сигналам, подаваемым водителями транспорта;
- при необходимости нахождения вблизи горячих частей оборудования, следует принять меры по защите от ожогов и действия высоких температур (ограждение оборудования, вентиляция, теплая спецодежда);
- при выполнении работ на участках с температурой воздуха выше 33°C необходимо применять режим труда с интервалами времени для отдыха и охлаждения;
- работу в зонах с низкой температурой окружающего воздуха следует производить в теплой спецодежде и чередовать по времени с нахождением в тепле;

– при повышенной загазованности воздуха рабочей зоны необходимо работать в противогазовом респираторе (РПГ-67, РУ-60м и др.) или противогазе;

– при нахождении в колодцах, камерах, каналах, туннелях и в ремонтной зоне слесарь должен носить защитную каску для защиты головы от ударов случайными предметами и выступающих частей;

– при недостаточной освещенности рабочей зоны следует применять дополнительное местное освещение. При работах в теплофикационных камерах должны применяться переносные светильники напряжением не более 12 В;

– при работах на высоте более 1,3 м над уровнем земли, пола, площадки необходимо применять предохранительный пояс, при необходимости со страхующим канатом;

Слесарь должен работать в спецодежде и спецобуви и применять другие средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

Слесарю бесплатно должны выдаваться согласно отраслевым нормам следующие средства индивидуальной защиты:

- костюм хлопчатобумажный (на 12 мес);
- куртка хлопчатобумажная утепленная (на 12 мес);
- брюки хлопчатобумажные утепленные (на 12 мес);
- сапоги резиновые (на 12 мес);
- сапоги кирзовые (на 12 мес);
- рукавицы комбинированные (на 1 мес);
- каска защитная с подшлемником;
- пояс предохранительный с ляжками;
- спасатель СПИ-20 или ПДУ-3.

В зависимости от характера работ и условий их производства слесарю бесплатно временно должна выдаваться дополнительная спецодежда и защитные средства для этих условий.

4.3.1 Защита от производственного шума

Производственный шум – совокупность звуков различной интенсивности и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени и вызывающих у работающего неприятные субъективные ощущения. Шум, ультразвук и вибрация имеют общую природу, источниками их являются колебания твердых, газообразных или жидких сред. Эти колебания передаются воздушной средой, по которой они и распространяются.

Шум оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Оно может проявляться в виде специфического поражения органа слуха, снижения слуха на восприятие шепотной речи и потери остроты слуха. Кроме непосредственного воздействия на органы слуха, шум негативно действует на многие органы и системы организма, в первую очередь на центральную нервную систему, в которой функциональные изменения происходят зачастую раньше, чем определяется нарушение слуховой чувствительности.

Сильный шум вызывает трудности в распознавании световых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные действия, уменьшает производительность труда, раньше возникает чувство усталости и развиваются признаки утомления.

Основной источник шума в вентиляционных установках – вентилятор, причем преобладающим является аэродинамический шум. По мере удаления от вентилятора интенсивность шума уменьшается за счет затухания в воздуховодах.

4.3.2 Защита от вибрации

Шум, как правило, является следствием вибрации, и поэтому на практике рабочие часто испытывают совместное неблагоприятное действие шума и вибрации. Воздействие вибрации не только отрицательно сказывается на здоровье, ухудшает самочувствие, снижает производительность труда, но иногда приводит к профессиональному заболеванию – виброболезни. Повышенные уровни вибрации являются и шума являются ведущими факторами в возникновении сердечно-сосудистых заболеваний.

Ручной механизированный инструмент с электро- и пневмоприводом передает интенсивные вибрации на руки рабочего и характеризуется высоким уровнем шума.

Повышенные уровни вибрации оказывают вредное воздействие на здоровье и работоспособность человека. Колебания с частотой 3...30 Гц приводят к возникновению в организме человека неприятных и вредных резонансных колебаний различных частей тела и отдельных органов, собственные частоты колебаний которых находятся в интервале частот 3...6, 6...12, 25...30 Гц. Длительное воздействие вибрации может вызвать стойкие изменения физиологических функций человека. Объективно неблагоприятное действие вибраций выражается в виде утомления, головной боли, болей в суставах кистей рук и пальцев, повышенной раздражительности.

При нормировании вибрации исходят из того, что работа возможна в приемлемых условиях труда, т.е. когда вредное воздействие вибрации проявляется незначительно, не приводя к профессиональным заболеваниям. Классифицируют вибрацию по ГОСТ 12.01.012-90 «Вибрационная безопасность». Общая вибрация нормируется по следующим октавным полосам частот: 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63 Гц.

Основными источниками вибрации в выпускном проекте являются вентиляторы, ручной механизированный инструмент

4.3.3 Микроклимат

Согласно ГОСТ 30494-2011 микроклимат – это совокупность внешних условий, определяющих самочувствие человека и обеспечивающих его здоровье и работоспособность.

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на человека и определяют его самочувствие. В результате окислительных процессов в организме человека выделяется теплота, часть которой репродуцируется и отдается наружу. Количество теплоты зависит от массы тела человека, интенсивности физической нагрузки и несколько варьирует от индивидуальных особенностей человека. В обычных условиях в организме человека поддерживается постоянное соотношение между приходом и расходом тепла. При изменении влажности и температуры воздуха теплоотдача с поверхности тела человека будет неодинакова. В производственных условиях, когда температура воздуха и окружающих поверхностей ниже температуры кожи, теплоотдача осуществляется преимущественно конвекцией и излучением. Если же температура воздуха и окружающих поверхностей такая же, как температура кожи или выше ее, теплоотдача возможна лишь испарением влаги с поверхности тела и с верхних дыхательных путей, если воздух не насыщен водяными парами.

При разных метеорологических условиях в организме человека происходит изменение в ряде функций систем и органов, принимающих

участие в терморегуляции – системе кровообращения, нервной и потоотделительной системах. Косвенными показателями теплового состояния могут служить влагопотери и реакция сердечно-сосудистой системы (частота сердечных сокращений, уровень артериального давления и минутный объем крови).

Стойкое нарушение терморегуляции, вследствие постоянного перенагревания или переохлаждения организма обуславливает возникновение ряда заболеваний.

В условиях нагревающего микроклимата может произойти значительное напряжение, и даже нарушение терморегуляции, в результате которого возможно перегревание организма. Это состояние характеризуется повышением температуры тела, учащением пульса, обильным потоотделением и, при сильной степени перегревания, тепловым ударом: расстройством координации движений, адинамией, падением артериального давления, потерей сознания. Может развиваться также и судорожная болезнь.

Холодовый дискомфорт (конвекционный и радиационный) вызывает в организме человека терморегуляторные сдвиги, направленные на ограничение теплопотерь и увеличение теплообразования. Ограничение теплопотерь организма происходит за счет сужения сосудов в периферических тканях. Под влиянием низких и пониженных температур воздуха могут развиваться ознобления (припухлость кожи, ее зуд и жжение), обморожение, миозиты, невриты, радикулиты.

4.3.4 Электробезопасность

Согласно ГОСТ 12.1.009-76, электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, т.к. в процессе эксплуатации или проведения профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса стоек и прочее оборудование, оказавшееся под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждали бы человека об опасности. Проходя через тело человека, электрический ток оказывает на него сложное воздействие.

Виды действия тока на человека:

– термическое, проявляется в ожогах, нагреве органов, находящихся на пути прохождения тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства, связанные со свертыванием белка;

– электролитическое, проявляется в том, что в крови, лимфе, клетках начинается процесс электролиза неорганических и, частично, органических компонентов, вызывая нарушение их физико-химического состава, что приводит к нарушению нормального обмена веществ в организме;

– механическое, выражается в расслоении, разрыве и других повреждениях различных тканей организма (мышечные, легочные ткани) в результате электродинамического эффекта;

– биологическое, проявляется в возбуждении и раздражении живых тканей, а также в нарушении внутренних биологических процессов.

Любое из перечисленных действий может привести к электрической травме, то есть к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги.

Для характеристики действия тока на человека установлены три критерия:

– осязаемый пороговый ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения);

– пороговый не отпускающий ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник);

– пороговый фибрилляционный ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм фибрилляцию сердца).

Численные значения этих токов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значения пороговых токов

Род тока	Ощутимый, мА	Неотпускающий, мА	Фибрилляционный, мА
Переменный	0,5 - 1,5	6 - 10	80 – 100
Постоянный	5 - 7	50 - 80	300

Длительность прохождения тока очень влияет на исход поражения, так как с течением времени снижается сопротивление кожи.

Чтобы не допустить поражения электрическим током, необходимо строго выполнять ряд организационных и технических мероприятий и средств, установленных действующими "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правилами устройства электроустановок". К техническим средствам защиты относят:

- электрическую изоляцию токоведущих частей;
- защитное заземление и зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- малое напряжение;
- двойную изоляцию.

4.4 Экологическая безопасность

Охрана окружающей природы – проблема глобальная. Любое техногенное вмешательство в сложную по своей структуре систему, называемую «окружающей средой», со стороны инженерной и хозяйственной деятельности человека всегда нарушает равновесие, формируя техногенные процессы негативно, и лишь в отдельных исключительных случаях – позитивно, влияющие на изменение свойств окружающей среды.

Выпускная квалификационная работа выполняется по теме «Проект системы теплоснабжения микрорайона №68 города Кемерово».

Строительное производство образует наряду с другими факторами техногенную экосистему, которая изменяется под воздействием строительных технологических процессов, создающих кроме целевого продукта также и механизм разрушения биосферы. Задача состоит в предотвращении или снижении интенсивности этих разрушающих воздействий и в разработке таких принципов и технологий строительного производства, которые бы не вели к деградации среды жизни.

Экологическая безопасность строительства означает защищенность природной среды от неустраняемых отрицательных последствий. Эта защищенность обеспечивается реальными затратами в природоохранные мероприятия.

Для подготовки проектной документации, в целях получения материалов о природных условиях территории, на которой будет осуществляться строительство, и факторах техногенного воздействия на окружающую среду, о прогнозе их изменения, необходимых для разработки решений, выполняются инженерные изыскания, в т.ч. и инженерно-экологические, а также исследование состава почвы и грунтов на физико-химическую, эпидемиологическую, экологическую и радиологическую безопасность.

Согласно СНиП 3.01.01-85* «Организация строительного производства» при организации строительного производства необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей природной среды, которые должны включать рекультивацию земель, предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение или очистку вредных выбросов в почву, водоемы и атмосферу. Указанные мероприятия и работы должны быть предусмотрены в проектно-сметной документации.

На территории строящихся объектов не допускаются не предусмотренное проектной документацией сведение древесно-кустарниковой растительности и засыпка грунтом корневых шеек и стволов растущих деревьев и кустарников.

Выпуск воды со строительных площадок и непосредственно на склоны без надлежащей защиты от размыва не допускается. При выполнении планировочных работ почвенный слой, пригодный для последующего использования, должен предварительно сниматься и складироваться в специально отведенных местах.

Временные автомобильные дороги и другие подъездные пути должны устраиваться с учетом требований по предотвращению повреждений сельскохозяйственных угодий и древесно-кустарниковой растительности.

При производстве работ по искусственному закреплению слабых грунтов должны быть приняты предусмотренные проектом меры по предотвращению загрязнения подземных вод нижележащих горизонтов.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке, предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

Попутная разработка природных ресурсов допускается только при наличии проектной документации, согласованной соответствующими органами государственного надзора и местной администрацией.

4.5 Чрезвычайные ситуации

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94, чрезвычайной ситуацией называется состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории, нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей среде.

Различают чрезвычайные ситуации по характеру источника (природные, техногенные, биолого-социальные и военные) и по масштабам (глобальные или национальные, региональные, местные и локальные или частные).

Источник ЧС:

- опасное природное явление;
- авария или опасное техногенное происшествие;
- широко распространенная инфекционная болезнь людей;
- сельскохозяйственных животных и растений;
- применение современных средств поражения.

Наиболее возможной чрезвычайной ситуацией может быть пожар. При возникновении пожара ответственный за пожарную безопасность должен:

- отключить напряжение;
- принять меры к эвакуации людей;
- по телефону 01 сообщить дежурному пожарной охраны о случившемся;
- при необходимости вызвать скорую помощь;
- до прибытия пожарных начать тушить пожар самостоятельно при помощи углекислотного огнетушителя.

Пожар представляет собой неконтролируемое горение, развивающееся во времени и пространстве, опасное для людей и наносящее материальный ущерб.

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности при пожаре, являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

К вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующих на людей и материальные ценности, относятся:

- осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
- радиоактивные и токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок;
- электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;
- огнетушащие вещества.

Пожар сопровождается химическими и физическими явлениями: химической реакцией горения, выделением и передачей тепла, выделением и распространением продуктов сгорания, газовым обменом. Все эти явления на пожаре взаимосвязаны и протекают на основе общих законов физики.

Пожары в зданиях и сооружениях характеризуются быстрым повышением температуры, задымлением помещений, распространением огня открытыми путями и потерей конструкциями несущей способности.

4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

– обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

– получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

– отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

– обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты работников в соответствии с требованиями охраны труда за счёт работодателя;

– внеочередной медицинский осмотр (обследование) в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанного медицинского осмотра;

– компенсации, установленные законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации, коллективным договором (соглашением), трудовым договором (контрактом), если он занят на тяжёлых работах и работах с вредными или опасными условиями труда.

Заключение по разделу

В результате выполненной работы при подборе отечественного кожухотрубного теплообменного аппарата для обеспечения зданий ЗАО «Томский приборный завод» взамен импортного пластинчатого теплообменного аппарата учтено, что новый кожухотрубный теплообменный аппарат: отвечает требованиям экологической безопасности; является на 52% эффективнее пластинчатого теплообменного аппарата из-за меньших гидравлических потерь, возникающих при прокачивании теплоносителя через теплообменный аппарат, и соответственно увеличивает энергосбережение и повышает энергетическую эффективность; обеспечивает надежность теплоснабжения зданий завода. Применение более эффективного теплообменного аппарата приведет к экономии средств завода за счет оборудования, а не за счет искусственного сокращения отопительного сезона на предприятии. В итоге до установления летних температур завод будет продолжать отапливать производственные помещения, что отразится на производительности труда рабочих и снижению социальной напряженности.

Заключение

В ходе работы были рассмотрены основные типы пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов. Рассмотрена возможность замены импортного пластинчатого теплообменного аппарата на теплообменный аппарат отечественного производства. По исходным данным для предприятия ЗАО «Томский приборный завод» произведены тепловой и гидравлический расчеты пластинчатого и кожухотрубного теплообменных аппаратов отечественного производства. Рассмотрены критерии эффективности теплообменных аппаратов. Произведен сравнительный анализ пластинчатого и кожухотрубного теплообменного аппарата по критерию эффективности Кирпичева, который показал превосходство кожухотрубного теплообменного аппарата над пластинчатым. Рассмотрены основные показатели надежности, исходя из которых кожухотрубный теплообменный аппарат, не смотря на свои большие размеры, имеет ряд преимуществ таких как: неприхотливость к качеству используемых теплоносителей, стойкость к гидравлическим ударам, малое количество уплотняющих прокладок и простота обслуживания и эксплуатации.

Список используемых источников

- 1 Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 366 с.
- 2 Заврин В. Г., Тепломассообменное оборудование предприятий. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т – Томск, 2004. – 163 с.
- 3 Теплообменные аппараты: учебное пособие / Б.Е. Байгалиев, А.В. Щелчков, А.Б. Яковлев, П.Ю. Гортышев. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 180 с.
- 4 Тепломассообменное оборудование пищевых производств: учебное пособие / А.Н. Куди, В.Н. Долгогунин, П.А. Иванов, В.А. Пронин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
- 5 К вопросу выбора типа водо-водяных подогревателей для систем теплоснабжения / Пермяков В.А. и др. // Промышленная энергетика – 2000. – №4 – с. 37-44.
- 6 Результаты испытаний головных образцов водо-водяных подогревателей для систем теплоснабжения / Балуюев Б.Ф. и др. // Труды НПО ЦКТИ – Санкт-Петербург – 2002. – с. 163-175.
- 7 Теплообменные аппараты ОПТО для систем снабжения теплом и горячей водой / Пермяков В.А. и др. // Труды НПО ЦКТИ – Санкт-Петербург – 2002. – с. 147-162.
- 8 Барон В.Г., Тонкостенные кожухотрубные аппараты // Вентиляция, отопление кондиционирование (АВОК) – 2000. – №3 – с. 62-64.
- 9 Барон В.Г., Тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные (ТТАИ). Общий анализ ситуации // Энергосбережение – Донецк – 2002. – №7 – с. 20-22.
- 10 Дрейцер Г.А., О некоторых проблемах создания высокоэффективных трубчатых теплообменных аппаратов // Труды международного симпозиума по тепло-массообмену – Минск – 2004.

- 11 Петров А.В., Пластинчатые теплообменники Альфа Лаваль. Есть ли предел совершенству? // Теплоэнергоэффективные технологии – Санкт-Петербург – 2003. – №1, с. 40-44.
- 12 Баранов В.В., Некоторые вопросы проектирования автоматизированных тепловых пунктов / Теплоэнергоэффективные технологии // Санкт-Петербург – 2002. – №2 – с.44-47.
- 13 Барон В.Г., Кожухотрубные теплообменные аппараты конца XX века // Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии – Одесса – 2000. – №2 – с. 34-36.
- 14 Барон В.Г., Теплообменные аппараты типа ТТАИ и специфические особенности индивидуальных тепловых пунктов // Новости теплоснабжения 2000. – с. 24-27.
- 15 Барон В.Г., Тонкостенные теплообменные интенсифицированные аппараты – альтернатива пластинчатым теплообменникам // Теплоэнергоэффективные технологии – Санкт-Петербург – 2003. – №4 – с.52-55.
- 16 Барон В.Г., Непривычные особенности привычных кожухотрубных теплообменных аппаратов // Холодильный бизнес – 1999. – №6 – с. 27-29.
- 17 Барон В.Г., Легенды и мифы современной теплоэнергетики // С.О.К. – Киев – №3 – 2004. – с.13-19.
- 18 Усеивич В.А., Государственно-частное партнерство в теплоснабжении // Новости теплоснабжения – 2017. – № 4 – с. 25-26.
- 19 Антуфьев В.М., Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева // Энергия, 1996. – 183 с.
- 20 Кейс В.М., Компактные теплообменники // Госэнергоиздат – 1962. – 223 с.
- 21 Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий – Машиностроение – 1973. – 288 с.
- 22 Каталог «МАШИМПЭКС». Теплообменное оборудование. – 2013. – 80 с.
- 23 Теплоснабжение на насосных станциях нефтепроводов: Учеб. пособие / Под ред. О.А. Степанова. – Недра – 1998. – 302 с.

- 24 Булеков А.П., Критерии эффективности теплообменников // Успехи в химии и химической технологии – 2012. – №5 – с.34-40.
- 25 Тарадай А.М., К вопросу оценки теплоэнергетической эффективности теплообменников, применяемых в муниципальной теплоэнергетике // Новости теплоснабжения – 2003. – №06 – с. 1-5.
- 26 Голдаев С.В., Надежность и оптимизация систем теплоэнергоснабжения предприятий: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 168 с.