

Школа **Инженерная школа ядерных технологий**  
 Направление подготовки **14.04.02 Ядерные физика и технологии**  
 Отделение **Ядерно-топливного цикла**

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Применение автономного охлаждения элементов плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона</b>

УДК \_  
621.039,74:661.87.04:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM71	Сычев Антон Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЯТЦ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Е.В. Латышева	к.фил.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ОЯТЦ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЯТЦ	Л.И. Дорофеева	к.ф.-м.н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области технологий ядерно-топливного цикла, физики кинетических явлений, методов разделения жидких и газовых смесей, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области изотопных технологий и материалов, получения высокочистых веществ, переработки, утилизации и обезвреживания промышленных отходов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие явления и закономерности в области изотопных технологий и материалов, проводить исследования в области разделения молекулярных и изотопных смесей, получения высокочистых веществ.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы расчета каскадов для разделения молекулярных и изотопных смесей, эксплуатировать, проводить испытания, монтаж и настройку современных физических установок и устройств.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, проектировать и организовывать инновационный бизнес, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
	<i>Общекультурные компетенции</i>
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, использовать современные достижения и передовые технологии получения и применения изотопно-модифицированных материалов в профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

## **Аннотация**

В данной дипломной работе проведен обзор и анализ отечественной и зарубежной литературы по способам и устройствам для эффективного автономного охлаждения оборотной воды.

Разработана система автономного оборотного водяного охлаждения теплонапряженных элементов ВЧ генератора (анод генераторной лампы, сеточная и анодная индуктивность) и ВЧ факельного плазмотрона (электрод и корпус), входящих в состав плазменного модуля.

Определены скорости нагрева оборотной охлаждающей воды при различных режимах работы генератора и плазмотрона. Рекомендованы режимы для эффективной работы автономной системы оборотного водяного охлаждения плазменного модуля.

Полученные результаты были использованы для создания системы автономного оборотного водяного охлаждения теплонапряженных элементов передвижных и стационарных промышленных установок плазмокаталитической утилизации нефтяных и других отходов.

## Оглавление

Аннотация .....	3
Реферат .....	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	7
<b>Введение</b> .....	8
1. Обзор литературы .....	10
1.1 Основные определения и классификация теплообменников. ....	10
1.2.Промышленные способы охлаждения оборотной воды .....	13
2. Экспериментальная часть .....	26
2.1. Описание схемы экспериментальной установки .....	26
2.2 Порядок проведения экспериментов .....	29
Исследование эффективности системы автономного оборотного водоснабжения плазменного модуля.....	32
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	39
3.2 Планирование научно-исследовательской работы .....	43
3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	47
3.4 Определение ресурсоэффективности исследования .....	54
4. Социальная ответственность .....	56
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ .....	58
4.3 Электробезопасность .....	64
4.4 Пожарная и взрывная безопасность .....	67
ВЫВОДЫ .....	70
Заключение.....	71
Список литературы: .....	72
Приложение А.....	75

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа изложена на 79 страницах, включает в себя 20 рисунков, 19 таблиц, 37 источников.

**Ключевые слова:** плазма, высокочастотный факельный плазмотрон, реактор, теплонапряженный элемент.

Выпускная квалификационная работа выполнена на листах формата А4 в соответствии с требованиями оформления ВКР ТПУ.

**Цель работы** - Исследование эффективности разработанной системы автономного водяного охлаждения теплонапряженных элементов плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона, предназначенного для исследования и оптимизации процессов плазмохимического синтеза оксидных композиций из смешанных водно-органических растворов различных металлов.

В процессе работы проводились исследования влияния режимов работы ВЧ-генератора, ВЧФ-плазмотрона и входной площади импеллера реактора на распределения потерь тепловой мощности на теплонапряженных элементах ВЧ-генератора (анод генераторной лампы, анодная и сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазмотрона (электрод и корпус). По их результатам проведена оценка эффективности работы системы автономного охлаждения теплонапряженных элементов плазменного модуля.

**Область применения:** результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании новых передвижных (мобильных) и модернизации действующих стационарных плазменных установок на базе высокочастотных факельных плазмотронов путем использования оборотного водяного охлаждения их теплонапряженных элементов.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**Плазма** – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

**ВЧФ-плазмотрон** – устройство для генерирования потоков воздушной неравновесной плазмы.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РАО – радиоактивные отходы;

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы;

ТРО – твердые радиоактивные отходы;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

ГОП ОЯТ – горючие отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

ПАВ- поверхностные активные вещества;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд;

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТЦ – открытый ядерный топливный цикл;

ЗЯТЦ – закрытый ядерный топливный цикл;

АЭС – атомная электростанция;

АХМР – аммиачно-хлоридные маточные растворы.

## **Введение**

Развитие теоретических основ плазменных технологий, а также разработка специального оборудования, создали предпосылки для внедрения их в промышленность. К таким технологиям относятся пиролиз углеводородов, получение простых и сложных оксидов, карбидов, нитридов, различных композиционных материалов (катализаторов, ферритов, магнитносителей, и др.). Широко распространены в промышленности процессы плазменной резки, сварки, термообработки, плазменного травления поверхностей. Благодаря внедрению целого ряда плазмохимических процессов значительный прогресс достигнут в электронной промышленности.

Повышенный интерес ученых и производителей к применению низкотемпературной плазмы обусловлен рядом специфических свойств плазмы, которые значительно расширяют ее технологические возможности.

В последние годы находят применение следующие высокочастотные генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны):

- ВЧИ-плазмотроны с применением безэлектродного индукционного разряда Н-типа;
- ВЧЕ-плазмотроны с применением емкостного разряда Е-типа с внешними электродами;
- ВЧФ-плазмотроны с применением емкостного моноэлектродного разряда Е-типа.

Тип плазмотрона для реализации плазмохимического процесса зависит должен отвечать следующим требованиям:

- интервал температур плазменных температур ы на выходе из генератора должна быть порядка тысяч градусов (от 2500 до 20000 К);
- плазменное образование должно быть достаточно чистым, т.е. свободным от загрязнения такими частицами, которые не входят в состав рабочего тела;

- параметры низкотемпературной плазмы должны обеспечивать оптимальные условия процесса и быть управляемыми;
- генерация плазмы должна обеспечиваться в течении длительного промежутка времени;
- К.П.Д. процесса преобразования первичной энергии в энергию плазмы должен быть достаточно высок.

Для обеспечения непрерывной работы высокочастотных генераторов и плазмотронов необходимо использовать хорошую систему охлаждения, а для мобильных промышленных установок система должна быть автономной.

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Основные определения и классификация теплообменников.

Теплообменники - это устройства, предназначенные для передачи тепла одной из теплоносителей для отвода тепла от других теплоносителей. В зависимости от принципа работы теплообменник можно разделить на возобновляемый, регенерационный и смешивающий. Теплообменники называются типами рекуперации, где передача тепла от одного теплоносителя к другому происходит через разделяющие их стены. Регенеративный теплообменник - это теплообменник, в котором теплоноситель передает тепло твердому веществу (керамическое или металлическое сопло). В последующий период, когда он вступает в контакт с твердым нагретым теплоносителем, он поглощает накопленное тепло. Смешивание называется теплообменником, а передача тепла от одного теплоносителя к другому осуществляется путем их непосредственного контакта с полным или частичным переносом.

Теплоносителем в теплообменнике могут быть пар, горячая вода, продукты сгорания топлива, масла, смеси различных растворов и жидкостей из соли, расплавленного металла, частицы, взвешенные в газовом потоке. Наибольшее использование в качестве теплоносителя заключается в получении продуктов сгорания пара, горячей воды и топлива. Различные вещества, которые кипят при высоких температурах, получили промышленное применение: Dowtherm ВОТ-1, кремнийорганические соединения. Расплавленная соль и металл

Химически реактивные вещества (твердые вещества, жидкости, газы) также используются в качестве теплоносителя. Тепло химической реакции во время диссоциации и рекомбинации этих материалов может быть использовано для усиления процессов тепломассопереноса, которые происходят в присутствии химической конверсии. Например, при разложении 1 кг  $\text{NH}_4 \text{Cl}$  до  $\text{NH}_3$  и  $\text{HCl}$  поглощается 3300 кДж/кг, что в 1,5 раза больше теплоты испарения воды.[3].

### 1.1.1 Типы рекуперативных теплообменников

Устройства для извлечения поверхностного типа также включают в себя устройства кожухотрубного типа с ребристыми и гофрированными поверхностями нагрева пластины, катушками, спиралями и теплообменниками. Информация о типе и конструкции теплообменников, используемых на стационарных электростанциях: конденсаторы, дегазаторы, регенеративные нагреватели, испарители и преобразователи пара, масляные радиаторы, охлаждающие устройства для циркуляционных градирен, разбрызгиватели и т. Д.

Основные особенности метода расчета, изложенные ниже, относятся ко всем типам теплообменников. Есть несколько функций при расчете отдельных элементов конкретного типа устройства.

Следующие стандартные конструкции кожухотрубных теплообменников прогнозируются в соответствии со стандартами Главхиммаш СССР: кожухотрубный теплообменник ТН с неподвижным сварным трубным листом вертикально или горизонтально, односторонним или многопроходным (рис. 1.1, а) ТЛ - теплообменник и трубчатый теплообменник с линзовым компенсатором. Трубный лист сваривается вертикально или горизонтально и имеет разное количество ударов (рис. 1.1, д). ТР-подвижная решетка закрытого типа, кожухотрубный теплообменник с вертикальным или горизонтальным, равномерным ходом (рис. 1.1, д). Другие конструкции также реализованы на основе вышеуказанных типов: теплообменники с подвижными открытыми решетками (фиг. 1.1, е и г). Кроме того, скорость потока теплоносителя выравнивается с помощью теплообменника с U-образной трубкой (рис. 1.1, г) и теплообменника с

сидячей трубкой (рис. 1.1, б). Ускорить пространство). [4, 5].

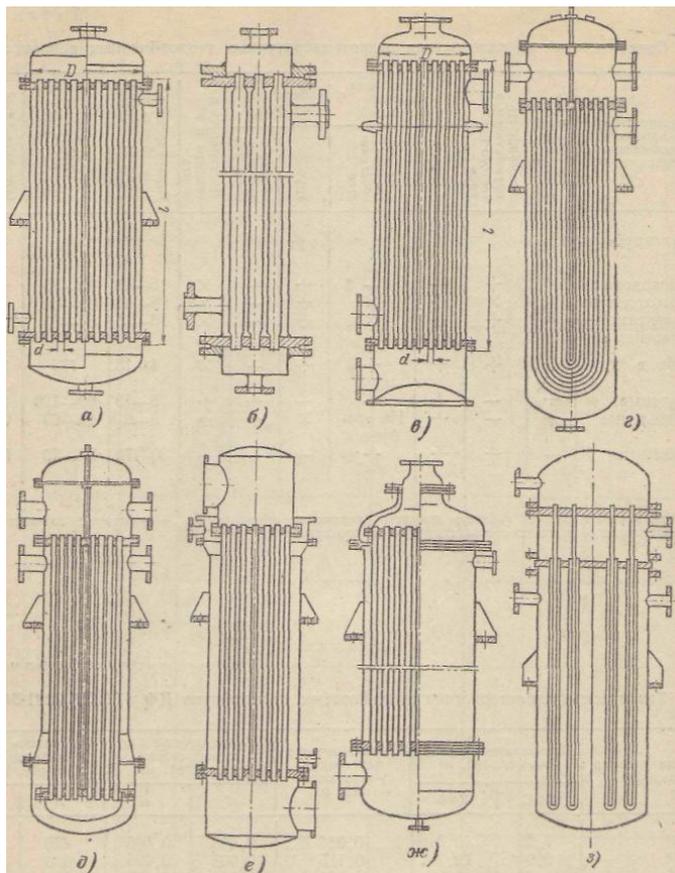


Рис. 1.1 Типы кожухотрубных теплообменников: а - с жестким креплением трубных решеток; б - с усаженными трубками; в - с линзой на корпусе; г - с U-образными трубками; д - с подвижной решеткой закрытого типа; е - с подвижной решеткой открытого типа; ж- с сальником на штуцере; з - с трубками Фильда.

Теплообменник с ребристой поверхностью нагрева используется, когда происходит теплообмен между двумя теплоносителями с большими и малыми коэффициентами теплопередачи. Увеличение поверхности теплообмена за счет ее оребрения со стороны тела теплопередачи, коэффициент теплопередачи которого мал, увеличивает количество тепла, передаваемого от нагрева нагретой охлаждающей жидкости.

Пластинчатый компактный теплообменник имеет поверхность из гофрированных листов. Складное устройство (между пластинами, на котором установлена резиновая уплотнительная прокладка) имеет давление до 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>), температуру до 150 °С и разрешение до 2 МПа (20



производств. По интенсивности тепломассобмена ВИОЖ-70 не имеет равных среди аналогичного оборудования. Работает в автоматическом режиме.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Производительность по охлаждаемой воде, куб.м./ч.....	40-90
Количество воздуха, подаваемого на охлаждение воды, тыс.куб.м./ч.....	20-40
Температура воды, подаваемой на охлаждение, Т <sup>0</sup> С.....	22-90
Максимальное снижение температуры охлаждаемой воды за один прогон через охладитель, Т <sup>0</sup> С .....	6
Установленная мощность эл.двигателя, кВт.....	12-20
Габаритные размеры: высота, длина, ширина.....	3500х6000х4000
Масса, кг.....	1500

Устройство и принцип работы:

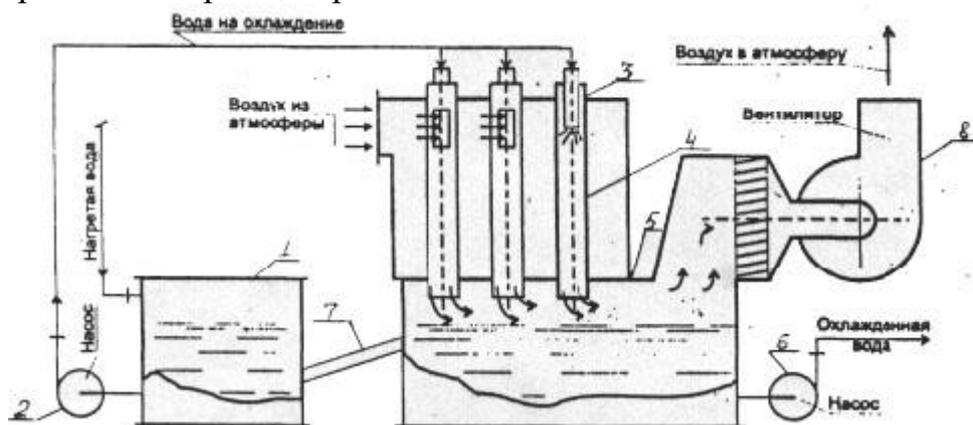


Рис.1.3. Схема миниградирни

Нагретая вода от технологического оборудования поступает в бак-сборник (1) миниградирни. (Рис. 1.3) Из бака вода подается насосом (2) на распылительно-завихряющее устройство (3) вихревых охлаждающих колонок (4). В эти же устройства вентилятором (8) подается атмосферный воздух на охлаждение воды. Вихревое движение охлаждающего воздуха и охлаждаемой воды в вихревых охлаждающих колонках обеспечивает большую площадь поверхности тепломассообмена при компактных размерах миниградирни.

Конструкцией вихревых охлаждающих колонок достигается теплопередача от воды к воздуху в режиме "тонких пленок", что обеспечивает высокую интенсивность теплообмена и эффективность работы установки. После охлаждения вода собирается в баке охлаждения воды (5) миниградирни, откуда подается насосом (6) на технологическое оборудование.

С верхней части бака вода по переливной трубе (7) возвращается в баксборник (1) для последующего охлаждения. Миниградирня имеет герметичную конструкцию, компактные размеры и устанавливается непосредственно в помещении цехов, что обеспечивает простоту в обслуживании при круглогодичной эксплуатации[6].

### 1.2.2 Чиллер

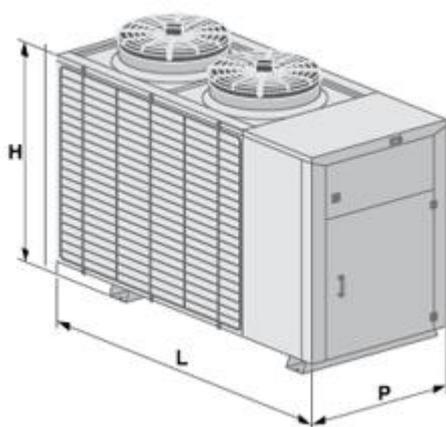


Рис.1.4. Чиллер

Чиллер - это холодильная машина (установки охлаждения жидкостей), используемая в центральных системах кондиционирования. Она охлаждает или подогревает теплоноситель (тосол, вода) и подает его по системе трубопроводов в теплообменники (Рис. 1.4) по конструктивному исполнению (со встроенным или выносным конденсатором):

- типу охлаждения конденсатора (воздушное или водяное);
- схемам подключения;
- наличию теплового насоса.

**Принцип работы.** производимые компанией чиллеры предназначены для охлаждающей жидкости (вода, пропиленгликоль, водные растворы, такие как этиленгликоль) и являются неотъемлемой частью всех промышленных систем охлаждения. Блок водяного охлаждения состоит из холодильной установки и системы управления и контроля. Компрессор всасывает и

сжимает пары хладагента из испарителя. Сжатый пар поступает в конденсатор, где он охлаждается и конденсируется под воздействием атмосферы. Из конденсатора жидкий хладагент поступает в ресивер, а оттуда поступает в термостатический клапан (TRV) через жидкостную линию. После прохождения через расширительный клапан жидкий хладагент сжимается в низкотемпературную газожидкостную смесь и поступает в испаритель, где тепло подается от охлажденной жидкости до кипения. Регулировка подачи хладагента в испаритель осуществляется с помощью расширительного клапана для разности давлений между баллоном и испарителем. Пары хладагента, образующиеся в процессе кипения в испарителе, возвращаются в компрессор. Жидкость, которая проходит через испаритель, охлаждается и отдает тепло хладагенту [7].

Оборудование оборотного водоснабжения - предназначено для охлаждения промышленного оборудования, получения ледяной воды и используется для подачи воды (жидкости) при заданной температуре. (ниже  $+25^{\circ}\text{C}$  - при более высоких требуемых температурах применяют воздушные охладители жидкостей – «сухие градирни») одной или нескольких единиц технологического оборудования[7].

Для холодильных установок обычно подходят стандартные решения для систем оборотного водоснабжения, которые характеризуются:

- Насосная система-Один или два насоса.
- Портативный конденсатор или моноблок
- Встроенный бак или отдельный гидравлический блок

**Системы с одним насосом.** Наиболее часто используемый метод - это когда необходимо охлаждать небольшую группу потребителей, где требуемая температура охлаждающей жидкости находится в диапазоне от  $+10$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ , в то же время гидравлический трубопровод Минимум, необходимый для холодильной установки, чтобы поддерживать уровень потока жидкости дальше. Эта схема используется для литьевых машин, для охлаждения экструдера без разбрызгивания, а также для охлаждения

различных машин и вакуумных камер.

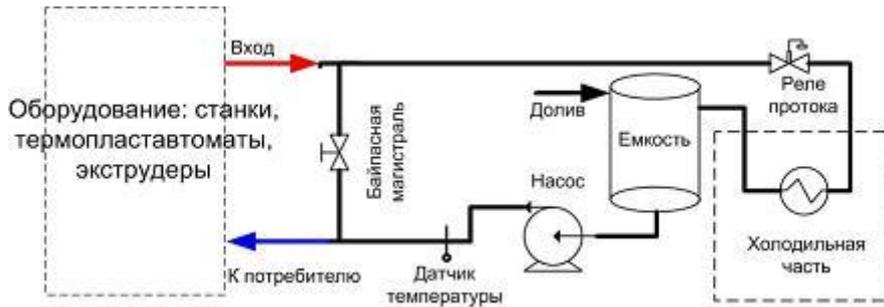


Рис.1.5. Схема чиллера с одним контуром

Схема (рис. 1.5) включает только один контур, то есть жидкость откачивается из резервуара, проходит через устройство и сразу попадает в испаритель холодильника. Там он охлаждается и возвращается в бак. Насос работает непрерывно, и чиллер иногда останавливается, когда температура воды падает до заданного уровня. Машина снова включается, когда температура поднимается до определенного заданного значения [8, 9].

Метод с двумя насосами используется, когда потребителям, работающим на холодном оборудовании, требуется подача воды под высоким давлением или когда ограничение потока охлаждающей жидкости установлено очень жестким. Например, при охлаждении лазерной системы часто необходимо подавать воду под давлением от 6 до 8 атмосфер. Тогда план работы выглядит следующим образом (рис. 1.6).

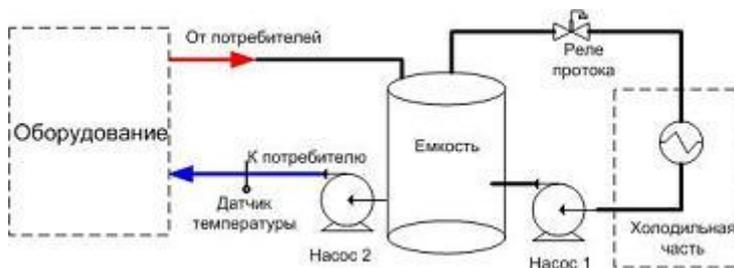


Рис. 1.6. Схема чиллера с 2 контурами

На этом рисунке 2 контура: один - емкость холодильника, второй - холодный потребитель, емкость. Насос 1 работает постоянно. Он выбирается исходя из требований, предъявляемых холодильником к потоку, поскольку

через любой охладитель воды необходимо пропустить некоторое количество воды не меньше указанного. В противном случае существует риск оттаивания теплообменника-испарителя. 2 насоса выбираются с учетом требований системы охлаждения.

Кулер для воды, который отводит тепло от оборудования, должен куда-то его выбрасывать. Обычно конденсатор для воздушного охлаждения устанавливается как часть холодильника и выделяет тепло, отводимое от влаги в воздухе. Выбор моноблока или выносного конденсатора основан на следующих данных: Если это тепло не повышает температуру в мастерской при температуре выше 30-32 градусов, вы можете смело отливать моноблок. Если магазин небольшой, и это тепло может привести к перегреву, необходимо вынести конденсатор на дорогу.

Моноблоки удобны тем, что вы можете переместить их в другое место в любое время. Кроме того, хотя это и идентично, установка выносного конденсатора стоит от 5 до 7% оборудования. Если для устройства достаточно емкости 1м<sup>3</sup>, гидравлическая система может быть безопасно установлена в той же раме, что и система охлаждения. Если этой мощности недостаточно (это для охлаждающей мощности более 120 кВт), бак с насосом будет вынут в другой раме.

Холодопроизводительность водоохладителя – это основная характеристика холодильной машины. Она характеризует тепловую энергию, которую может отвести водоохладитель от охлаждаемого тела (вода, антифриз и другие жидкости). Для подбора водоохладителя сначала необходимо посчитать, какое точное количества тепла в принципе необходимо отводить от охлаждаемого оборудования или непосредственно воды. (Рис. 1.7) Определить это можно несколькими путями: Нам известны всевозможные теплопритоки. На практике это может значить, что например у термопластавтомата есть нагреватель фиксированной мощности, а также известно, как часто и насколько он обычно включается в рабочем режиме. Тогда холодопроизводительность установки необходимо подбирать исходя

из мощности этого нагревателя, умноженную на коэффициент отношения времени его работы.



Рис. 1.7. Схема расчета количества тепла, которое необходимо отводить от охлаждаемого оборудования

Достаточно замерить расход проточной воды и температуру, на которую она нагревается при прохождении в оборудовании. Искомая холодопроизводительность будет равняться произведению расхода воды в м<sup>3</sup>/час на разницу температур в Кельвинах, помноженному на коэффициент 1,163. На выходе вы получите необходимую для отвода тепловую мощность в киловаттах. Если нам известно количество рабочего тела, проходящего в единицу времени через охлаждаемый автомат (это касается подбора водоохладителя для термопластавтоматов и экструдеров), а также его характеристики плотности и теплоемкости. В таком случае также можно посчитать количество тепла, которое необходимо будет отводить от вашего оборудования. Необходимо также иметь в виду, что холодопроизводительность установки величина переменная. Она зависит от режима, в которой, эксплуатируется водоохладитель. Чем холоднее нужно получить воду на выходе, тем ниже будет холодопроизводительность. Обычно принято сравнивать холодопроизводительность агрегатов в режиме кондиционирования, т.е. при температуре воды на выходе +7 °С.

Технические характеристики некоторых чиллеров указаны в (табл.1.1)

Таблица 1.1 – Характеристики чиллеров

Модель ТСАЕУ-ТНАЕУ	Единица измерения	245	250	260	265
Номинальная мощность охлаждения 1	кВт	44,2	51,3	59,2	64,0
Е.Е.Р.1		2,55	2,60	2,68	2,67
Е.С.Е.Е.Р•		3,78	4,31	4,38	4,03
Потребляемая мощность1*	кВт	17,4	19,7	22,1	24,0
Номинальная тепловая мощность2	кВт	47,8	55,8	62,2	67,9
С.О.Р.2		2,89	3,00	3,04	2,91
Потребляемая мощность2*	кВт	16,6	18,6	20,5	23,3
Звуковое давление5	дБ(А)	56	56	57	57
Спиральный компрессор / ступени	№.	2 / 3	2 / 3	2 / 3	2 / 3
Контуры	№.	1	1	1	1
Электропитание	В-фаз-Гц	400-3+N-50	400-3+N-50	400-3+N-50	400-3+N-50
Падение давления на испарителе	кПа	32	32	33	31
L — Ширина	мм	2.260	2.260	2.260	2.260
H — Высота	мм	1.570	1.570	1.570	1.570
P — Глубина	мм	1.000	1.000	1.000	1.000
Вес ТСАЕУ4	кг	725	750	775	820
Вес ТНАЕУ4	кг	745	770	795	840

### 1.2.3 Система охлаждения жидкости "DRY COOLER"

В странах Западной Европы разработан и широко используется альтернативный способ охлаждения воды. В конструкторском бюро итальянского завода LU-VE сконструирована и запущена в серийное производство гамма аппаратов под названием "Dry cooler" - «Сухой охладитель». Этот аппарат (Рис. 1.8) выполняет функции градирни, но конструктивно имеет ряд отличий и преимуществ. Система охлаждения



воды, смонтированная на основе «сухого охладителя», не имеет разрыва струи, что совершенно исключает загрязнение системы.

В самом названии аппарата слово «сухой» означает, что теплообмен

Рис.1.8. Схема системы «Dry cooler»

осуществляется через стенку и при охлаждении воды испарения не происходит, а значит, потери теплоносителя равны нулю. В зимний период года в охлаждающую жидкость можно добавить гликоль или антифриз, что гарантированно предохраняет контур системы от замерзания.

Система охлаждения "Dry cooler" является более эффективной, экономичной и перспективной по сравнению с принятой в России системой, которая основана на испарении воды с поверхности отбойников градирни.

Фирма LU-VE производит два модельных ряда охладителей SHL и SHLD, соответственно с одинарной и двойной спаренной батареей (Рис. 1.9 и Рис. 1.10).



Сухой охладитель

Рис. 1.9

с одинарной батареей



Сухой охладитель

Рис.1.10

с двойной спаренной батареей

#### 1.2.4 Радиаторы системы охлаждения

Собственное мобильное производство радиаторов системы охлаждения и охладителей наддувочного воздуха под торговой маркой "ДАНА" обеспечивает производство более 30 % отечественных дизель-генераторов в мощностном диапазоне от 50 до 350 кВт. За последнее время модельный ряд водяных радиаторов серии РВ значительно пополнился и насчитывает уже более восьми базовых моделей и пятнадцать модификаций водяных охладителей. Только компания "ПСМ" предлагает специальные радиаторы водяного охлаждения для газопоршневых установок мощностью 100 кВт, созданные с учетом повышенной теплонапряженности газового двигателя. Новейшей разработкой компании является блок радиатора и

охладителя наддувочного воздуха для дизель-генератора мощностью 250 кВт. Являясь одним из наиболее динамично развивающихся производителей дизельных электростанций, и одним из крупнейших производителей силовых приводов в России компания "ПСМ" полностью обеспечивается собственной радиаторной продукцией. Кроме того, наилучшее сочетание цены, качества и функциональных возможностей нашей продукции по достоинству оценили более 10 крупных предприятий России, в числе которых ОАО "Автодизель"

ОАО "Ижнефтемаш" и др. Некоторые радиаторы изображены на (Рис. 1.11).

Технические характеристики и применяемость некоторых радиаторов указаны в (табл.1.2)



Рис. 1.11

Таблица 1.2 – Технические характеристики радиаторов.

№	Наименование продукции	Обозначение продукции	Применяемость (тип, мощность, серия)	Базовый двигатель
<b>Радиаторы водяные</b>				
1	Радиатор водяной	<b>РВ-60.1301.100</b>	Дизельные электростанции 50-60 кВт (ПСМ АД50, ПСМ АД60) Силовые установки (привода)	ЯМЗ-236М2

			дизельные) мощностью до 110 кВт (ПД-110)	
2	Радиатор водяной	<b>РВ-100.1301.100</b>	Дизельные электростанции 75-100 кВт (ПСМ АД75, ПСМ АД100)	ЯМЗ-238М2
			Силовые установки (привода дизельные) мощностью до 150 кВт (ПД-150)	
3	Радиатор водяной	<b>РВ-120.1301.100</b>	Дизельные электростанции 120 кВт (ПСМ АД120)	ЯМЗ-236Б
			Силовые установки (привода дизельные) мощностью до 160 кВт (ПД-160)	
			Газопоршневые электроагрегаты 100 кВт (АП-100)	ЯМЗ-238М2
4	Радиатор водяной	<b>РВ-180.1301.100</b>	Дизельные электростанции мощностью 150 кВт (ПСМ АД150)	ЯМЗ-238Д
			Силовые установки (привода дизельные) мощностью до 200 кВт (ПД-200)	
5	Радиатор водяной	<b>РВ-240.1301.100</b>	Дизельные электростанции мощностью 200 кВт (ПСМ АД200)	ЯМЗ-7511(14)* ТМЗ-8481
			Силовые привода мощностью до 300 кВт (ПД-300)	
6	Радиатор водяной	<b>РВ-400.1301.100</b>	Дизельные электростанции 315-350 кВт (ПСМ АД315, ПСМ АД350)	ЯМЗ-8502
			Силовые установки (привода дизельные) мощностью до 500 кВт (ПД-500, ЯСУ-500)	
<b>Охладители наддувочного воздуха</b>				
7	Охладитель наддувочного воздуха	<b>ОНВ-240.1301.001</b>	Дизельные электростанции и силовые привода мощностью 200 кВт (ПСМ АД200, ПСМ АД250)	ЯМЗ-7511(14) ТМЗ-8481 ТМЗ-8435
			Силовые привода мощностью до 400 кВт (ПД-300, ПД-350, ПД-400)	

Продолжение таблицы 1.2.

<b>Блоки радиаторные</b>				
8	Блок радиаторный	<b>БР-240.1301.000</b>	Дизельные электростанции 200 кВт (ПСМ АД200)	ЯМЗ-7511(14)
			Силовые привода мощностью до 300 кВт (ПД-300)	

## 1.2.5 Блок охлаждения 283.14 СП

Предназначен для охлаждения воды первого контура дизель-генераторов, а также как водяной калорифер для тепловой завесы и отопления промышленных корпусов (Рис. 1.12).

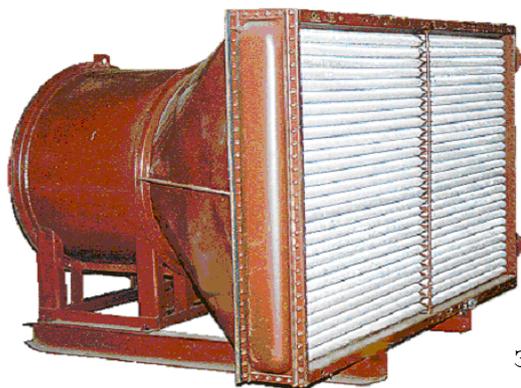


Рис.1.12. Блок охлаждения 283.14 СП

Блок охлаждения комплектуется электродвигателем асинхронным мод.4А180М4П и реле комбинированным типа КРА или

КРМП. Блок охлаждения используется для дизель-генераторов с радиаторной системой охлаждения мощностью 315,5 и 630 кВт. Блок охлаждения обеспечивает теплосъём с дизелей АО «Звезда» около 430 кВт при следующих предельных параметрах:

- атмосферное давление (750 мм.рт.ст.);
- температура окружающей среды (27°C);
- температура входа воды (5 ÷ 100°C);
- расход воды (450 ÷ 500 л/мин).

На (Рис. 1.13) представлена принципиальная схема изделия, габаритные, присоединительные размеры [9,10].

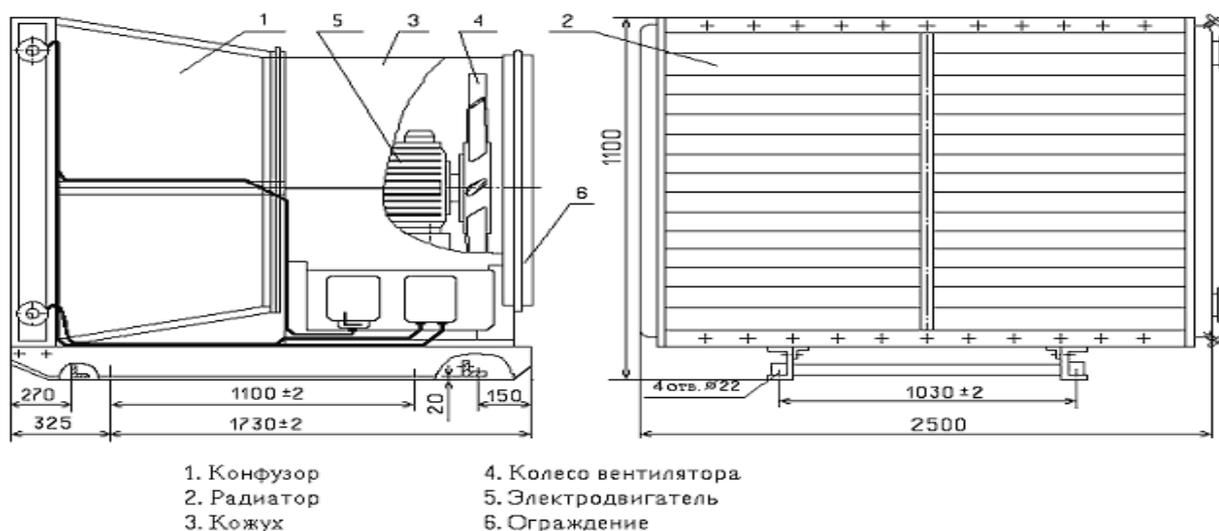


Рис. 1.13. Схема блока охлаждения 283.14 СП

## 1.2.6 Калориферы

Предназначение изделия Водонагреватель с биметаллическим спирально-катаным алюминиевым теплообменником, элемент обшивки с запыленностью 0,5 мг / м<sup>3</sup> или менее, максимальный допуск по химически агрессивным веществам по ГОСТ 12.1.005-88 Предназначен для подогрева воздуха при. Включает липкие и волокнистые материалы в системах вентиляции, отопления и кондиционирования.

Согласно ГОСТ 15150-69, утеплитель предназначен для эксплуатации в теплых и холодных климатических условиях, район категории 3, район.

Температура теплоносителя (воды) составляет 180 ° С или менее, а давление составляет 1,2 МПа или менее.

Габаритные размеры и размеры подключения указанного нагревателя приведены на рис. 1.14 и в таблице 1.3. Основные показатели назначения нагревателя приведены в Таблице 1.3 для стандартной работы с использованием следующих параметров:

- Температура на входе-минус 20°С
- Масса воздуха в противотоке - 3,6кг/м<sup>2</sup>с.
- Температура воды на входе - 150°С
- Оставьте температуру воды-70 ° С.

**Оборудование и принцип работы.** Обогреватель состоит из элемента теплопередачи, трубной решетки, крышки с соединениями для входа (выхода) охлаждающей жидкости, разделителя и съемной боковой панели.

Размеры соединительных отверстий составляют 12 х 16 мм. Шаг составляет 125 мм, и нагреватели могут быть прикреплены к высоте и длине устройства. Нагревательный элемент изготовлен из стальной трубы с диаметром алюминия 39 мм, шагом ребра 2,75 мм и диаметром 16 х 1,2 мм.

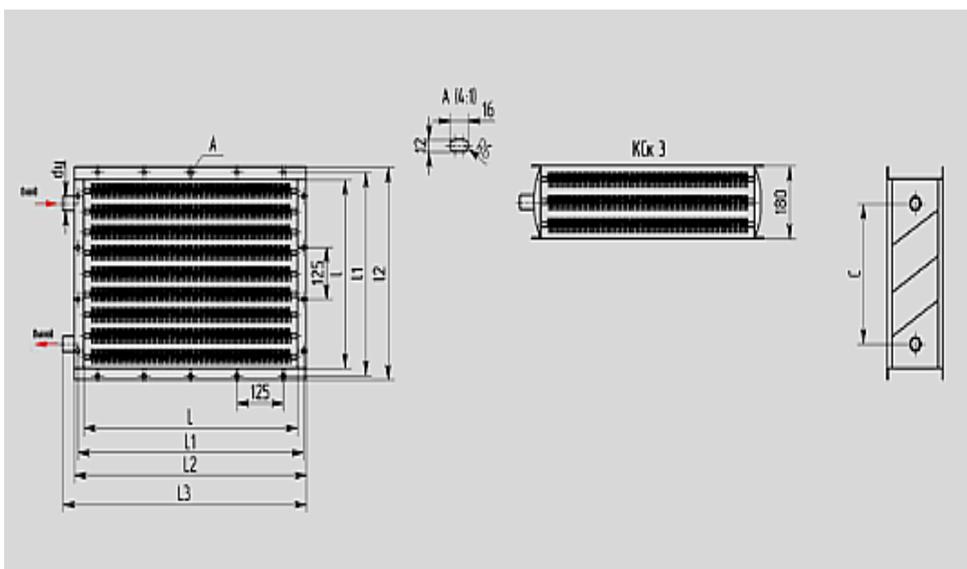


Рис. 1.14. Схема калорифера

Таблица 1.3. Классификация калорифера

Калорифер, марка	Производительность		Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	По воздуху, м <sup>3</sup> /ч	По теплу, кВт			
ККк-3-6	2500	50,7	13,8	602x275x180	34
ККк-3-8	3150	83,2	20,2	852x575x180	45
ККк-3-9	5000	103,5	23,4	977x575x180	50
ККк-3-10	6300	135,6	29,8	1227x575x180	61

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Описание схемы экспериментальной установки

Общий вид установки представлен на рисунке 15. В общем случае плазменный модуль для утилизации нефтяных шламов представляет собой функциональное объединение двух блоков:

- высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 (источник питания);
- технологический блок.

Высокочастотный генератор (ВЧГ) размещён в экранированном металлическом шкафу, обеспечивающем надёжную защиту от электромагнитного излучения, и предназначен для питания установки.

Основные технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13-01 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13-01

Величина	Ед. изм.	Значение
Напряжение питающей сети	В	380
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВт	100
Колебательная мощность	кВт	60±6
Рабочая частота	МГц	13,56±0,13
Коэффициент полезного действия	%	не менее 75
Напряжение анодное	кВ	10,4÷10,5
Ток анодный	А	7,6÷7,7
Ток сеточный	А	1,8
Расход охлаждающей воды	м <sup>3</sup> /ч	не менее 1,4

Технологический блок включает следующие основные узлы:

- ВЧФП - проточный высокочастотный плазмотрон факельного типа, предназначенный для генерирования потоков неравновесной воздушной плазмы с температурой до 4000К и имеющий входную площадь шибера для ввода плазмообразующего газа в разрядную кварцевую камеру  $S_{ш.эл}=25 \text{ см}^2$ , а для ввода охлаждающего разрядную кварцевую камеру  $S_{ш.кп}=7 \text{ см}^2$ ;

- ЦБА - узел «мокрой» очистки в составе центробежно-барботажного аппарата, бака ОТВ под охлаждающую технологическую воду с погружным водяным насосом «ГНОМ» 10-10;

- ВВ – вытяжной вентилятор ВР 240-26 (№4) обеспечивает доочистку отходящих газов от механических примесей (песок, пыль);

- ТМ - термопара для контроля температуры отходящих газов из реактора газов;

- ОЧВ - узел оборотной чистой воды в составе бака ОЧВ ( $V=210\text{л}$ ), погружного водяного насоса «ГНОМ» 10-10 и калориферов КРФ;

- В1...В4 – вентили для регулирования расходов оборотной охлаждающей (чистой) воды;

- Р1...Р4 – расходомеры для контроля расходов оборотной охлаждающей (чистой) воды;

Порядок работы. Система автономного охлаждения состоит из калорифера (КРФ), через который атмосферный воздух всасывается вытяжным вентилятором (ВВ). Вода на калорифер подается из бака охлаждаемой чистой воды (ОЧВ) объемом  $V=210$ л охлажденная вода следует на теплонапряженные элементы высокочастотного генератора (ВЧГ) и плазменного модуля такие как (ВЧФП) охлаждая их и далее обратно в бак (ОЧВ).

### Схема установки на базе ВЧФП

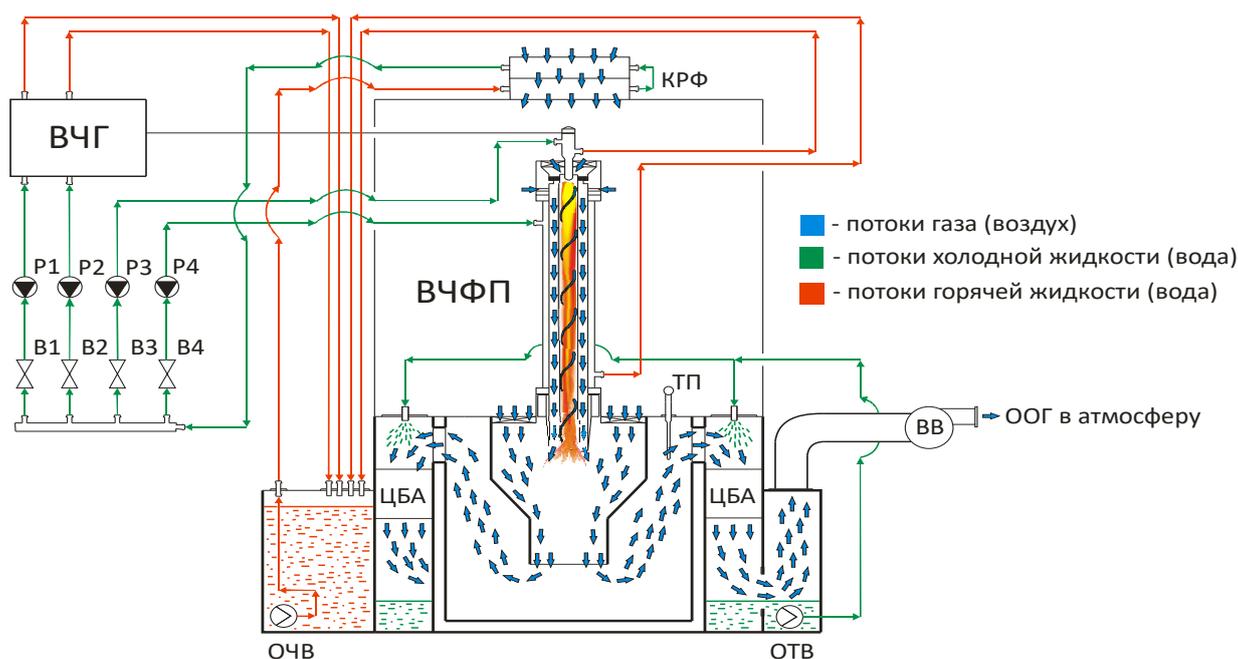


Рис. 2.1. Общий вид установки на базе ВЧФ-плазмотрона: ВЧГ - высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13, КРФ - калорифер, ВЧФП - высокочастотный плазмотрон факельного типа, ОЧВ – бак охлаждаемой чистой воды, ОТВ – бак охлаждаемой технологической воды, ЦБА - центробежно-барботажный аппарат, ВВ - вытяжным вентилятором, ТМ – термомпара.

## 2.2 Порядок проведения экспериментов

1. Отрегулировать уровень заполнения водой бака ОТВ с помощью поплавкового уровнемера.
2. Отрегулировать уровень заполнения водой бака ОЧВ и замерить начальную температуру воды.
3. На питающем щите включить рубильник. Поднять рукоятку пакетного трёхфазного автоматического выключателя и включить пульт управления и контроля за технологическим процессом утилизации (ПКУ ТП), при этом загорится красная сигнальная лампа «Работа».
4. Кнопкой «Насос ОЧВ» на пульте ПКУ включить насос и запустить в работу узел ОЧВ. Давление воды на манометре должно быть равным  $1,4 \text{ кг/см}^2$ .
5. Кнопкой «Насос ОТВ» на пульте ПКУ включить насос и запустить в работу узел ОТВ.
6. Включить в генераторе ВЧГ автоматические выключатели.
7. Закрыть все двери в генераторе ВЧГ.
8. На лицевой стороне генератора ВЧГ поворотом электромеханической блокировки включить трехфазный рубильник генератора.
9. На питающем щите включить рубильник, при этом в генераторе ВЧГ включится вентилятор воздушного охлаждения генераторной лампы, при этом загорится зеленая сигнальная лампа «ОХЛАЖДЕНИЕ».
10. На лицевой стороне генератора ВЧГ кнопкой «Накал» включить первую ступень накала генераторной лампы, а через 40с - включить вторую ступень накала, при этом загорится желтая сигнальная лампа «БЛОКИРОВКА АНОД. НАПРЯЖЕНИЯ».
11. На лицевой стороне генератора ВЧГ тумблер поставить в положение «РУЧНАЯ РАБОТА».

12. У питающего щита кнопкой «Вентилятор» включить вытяжной вентилятор ВВ.
13. Установить входную площадь шибера для ввода и регулирования расхода атмосферного воздуха в плазмотрон, равную  $S_{\Pi}=25 \text{ см}^2$ .
14. Установить входную площадь шибера для охлаждения кварцевой разрядной камеры в корпусе плазмотрона  $S_{РК}=7 \text{ см}^2$ .
15. Установить необходимую входную площадь шибера реактора, предназначенного для ввода и регулирования расхода атмосферного воздуха в реактор  $S_{Р} = 165 \text{ см}^2 \dots 1155 \text{ см}^2$  с шагом  $165 \text{ см}^2$ .
16. Установить крышку кожуха ректора.
17. На лицевой стороне генератора ВЧГ кнопкой «Нагрев » подать высокое напряжение на электрод высокочастотного факельного плазмотрона.
18. Привести в действие узел «поджига» и возбудить ВЧ факельный разряд в плазмотроне ВЧФП. Установить позиционерами необходимый анодный ток  $I_a=3,0\dots 5,0\text{А}$  с шагом  $0,5\text{А}$ . и сеточный ток  $I_a=1,2\text{А}$ . Прогреть установку в течение 5 мин.
19. С интервалом в 5 минут проводить замеры температуры охлаждающей воды в баке ОЧВ (до достижения температуры  $40^{\circ}\text{C}$ ).
20. После завершения опытов кнопкой «Нагрев» на лицевой стороне генератора ВЧГ отключить подачу высокого напряжения на электрод плазмотрона.
21. Кнопкой «Накал» на лицевой стороне генератора ВЧГ отключить накал генераторной лампы.
22. Не менее чем через 10 минут после отключения накала генераторной лампы, отключить вентилятор обдува генераторной лампы поворотом рукоятки электромеханической блокировки (трехфазный рубильник).

23. Не менее чем через 10 минут после отключения накала генераторной лампы кнопкой «Насос ОЧВ» на пульте ПКУ отключить насос узла ОЧВ.
24. Не менее чем через 10 минут после выключения накала генераторной лампы кнопкой «Насос ОТВ» на пульте ПКУ отключить насос узла ОТВ.
25. На питающем щите включить рубильник. Опустить рукоятку пакетного трёхфазного автоматического выключателя и отключить пульт ПКУ.
26. Кнопкой «Вентилятор» у питающего щита отключить вентилятор ВВ.
27. Поставить в исходное положение все переключатели генератора ВЧГ.
25. На питающем щите отключить рубильник.

## Исследование эффективности системы автономного оборотного водоснабжения плазменного модуля

Экспериментальное исследование проводилось при различных режимах работы генератора ВЧГ, реактора и плазмотрона ВЧФП.

При установленном анодном токе и входной площади шиберов реактора определялась температура охлаждающей воды в баке ОЧВ до достижения  $40^{\circ}\text{C}$ . Входная площадь шиберов для охлаждения кварцевой разрядной камеры в корпусе плазмотрона в опытах оставалась постоянной  $S_{\text{РК}}=7 \text{ см}^2$ . Входная площадь шиберов для ввода и регулирования расхода атмосферного воздуха в плазмотрон оставалась постоянной  $S_{\text{П}}=25 \text{ см}^2$ .

Полученные результаты приведены в таблицах 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 и представлены графически на рисунках 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5.

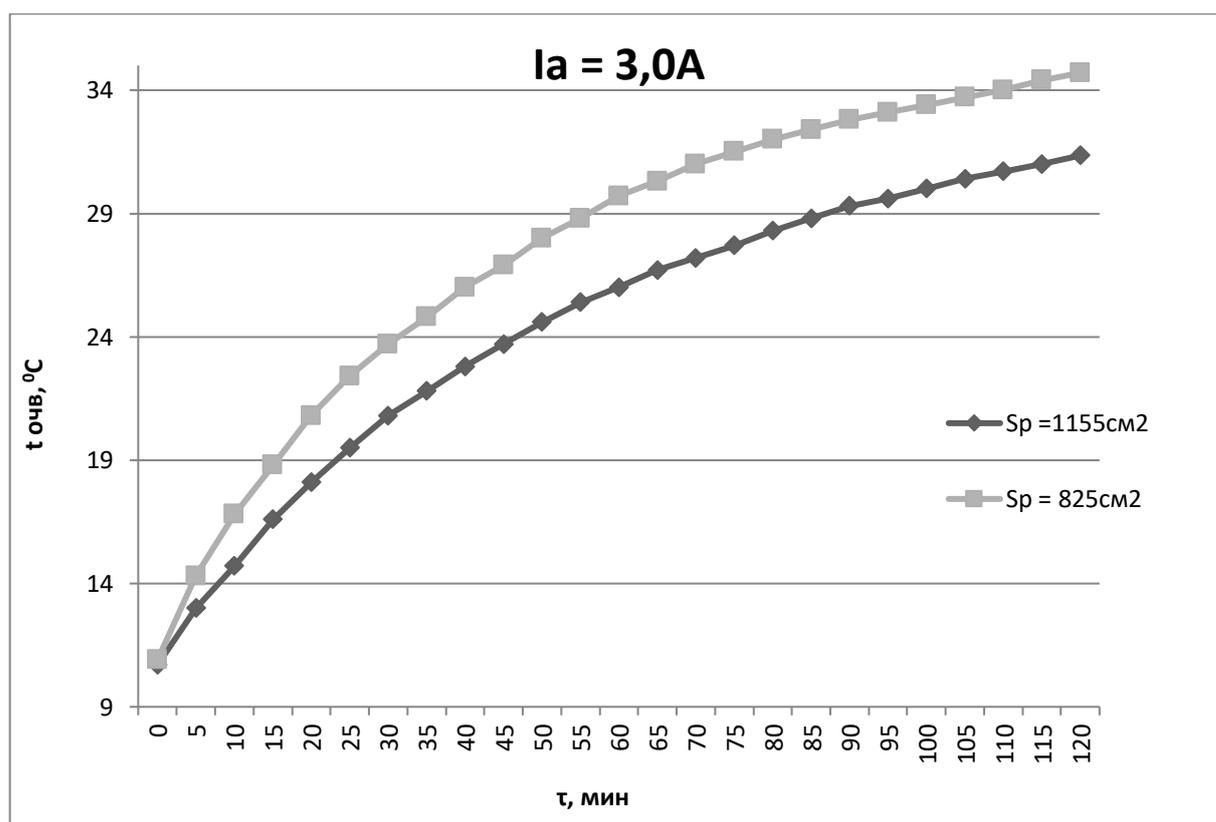


Рис. 3.1. Скорость нагрева охлаждающей воды в баке ОЧВ при следующих условиях:  $I_a=3,0 \text{ A}$  ( $P_{\text{стр}}=11,0 \text{ кВт}$ ),  $S_p = 825 \text{ см}^2$  и  $1155 \text{ см}^2$ .

Таблица 3.1. Результаты эксперимента

<b><math>I_a = 3,0A; S_p = 825\text{см}^2;</math> с КРФ</b>		<b><math>I_a = 3,0A; S_p = 1155\text{см}^2</math> с КРФ</b>	
<b><math>\tau, \text{мин}</math></b>	<b><math>t \text{ очв}</math></b>	<b><math>\tau, \text{мин}</math></b>	<b><math>t \text{ очв}</math></b>
0	10,9	0	10,7
5	14,3	5	13,0
10	16,8	10	14,7
15	18,8	15	16,6
20	20,8	20	18,1
25	22,4	25	19,5
30	23,7	30	20,8
35	24,8	35	21,8
40	26,0	40	22,8
45	26,9	45	23,7
50	28,0	50	24,6
55	28,8	55	25,4
60	29,7	60	26,0
65	30,3	65	26,7
70	31,0	70	27,2
75	31,5	75	27,7
80	32,0	80	28,3
85	32,4	85	28,8
90	32,8	90	29,3
95	33,1	95	29,6
100	33,4	100	30,0
105	33,7	105	30,4
110	34,0	110	30,7
115	34,4	115	31,0
120	34,7	120	31,5

Из анализа полученных зависимостей следует, что скорость нагрева воды с увеличением  $S_p$  падает. При этих режимах температура воды в течение 2 часов растёт, а затем, достигнув максимального значения, стабилизируется.

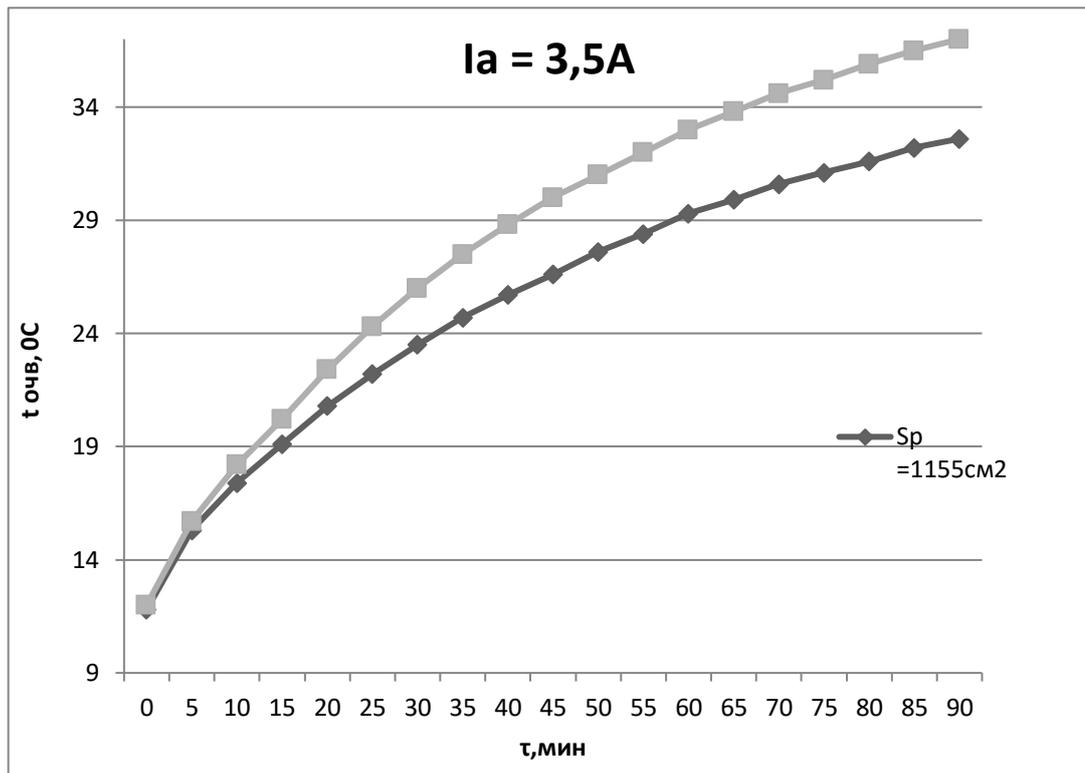


Рис. 3.2. скорость нагрева охлаждающей воды в баке ОЧВ при следующих условиях:  $I_a=3,5A$  ( $P_{стр}=13,0$  кВт),  $S_p=825\text{cm}^2$  и  $1155\text{cm}^2$ .

Таблица 3.2. Результаты эксперимента

$I_a=3,5A; S_p = 825\text{cm}^2;$ с КРФ		$I_a=3,5A; S_p = 1155\text{cm}^2$ с КРФ	
$\tau$ , мин	$t_{очв}$	$\tau$ , мин	$t_{очв}$
0	12,0	0	11,8
5	15,7	5	15,3
10	18,2	10	17,4
15	20,2	15	19,1
20	22,4	20	20,8
25	24,3	25	22,2
30	26,0	30	23,5
35	27,5	35	24,7
40	28,6	40	25,7
45	30,0	45	26,6
50	31,0	50	27,6
55	32,0	55	28,4
60	33,0	60	29,3
65	33,8	65	29,9
70	34,6	70	30,6
75	35,2	75	31,1
80	35,9	80	31,6
85	36,5	85	32,2
90	37,3	90	32,6

Из анализа полученных зависимостей следует, что скорость нагрева воды с увеличением  $S_p$  также падает. При этих режимах температура воды вначале растёт, а затем, достигнув максимального значения, стабилизируется.

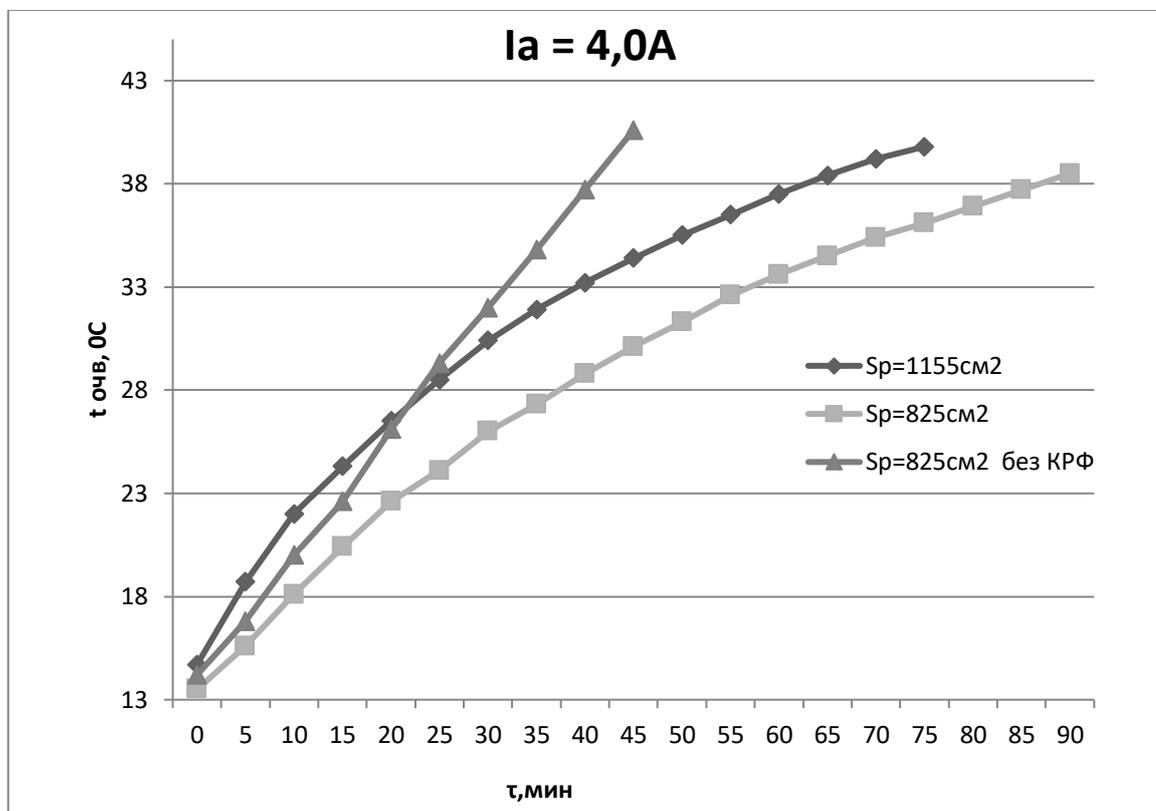


Рис. 3.3. Скорость нагрева охлаждающей воды в баке ОЧВ при следующих условиях:  $I_a=4,0A$  ( $P_{стb}=16,5$  кВт),  $S_b=825 \text{ см}^2$  и  $1155 \text{ см}^2$ .

Таблица 2.4. Результаты эксперимента

$I_a = 4,0A;$ $S_p = 825 \text{ см}^2;$ с КРФ		$I_a = 4,0A;$ $S_p = 1155 \text{ см}^2;$ с КРФ		$I_a = 4,0A;$ $S_p = 825 \text{ см}^2;$ без КРФ	
$\tau, \text{мин}$	$t_{очв}$	$\tau, \text{мин}$	$t_{очв}$	$\tau, \text{мин}$	$t_{очв}$
0	13,5	0	14,7	0	14,2
5	15,6	5	18,7	5	16,8
10	18,1	10	22,0	10	20,0
15	20,4	15	24,3	15	22,6
20	22,6	20	26,5	20	26,1
25	24,1	25	28,5	25	29,3
30	26,0	30	30,4	30	32,0
35	27,3	35	31,9	35	34,8
40	28,8	40	33,2	40	37,7
45	30,1	45	34,4		
50	31,3	50	33,5		
55	32,6	55	36,5		
60	33,6	60	37,5		
65	34,5	65	38,4		

70	35,4	70	39,2		
75	36,1	75	39,8		
80	36,9				
85	37,7				
90	38,5				

Из анализа полученных зависимостей следует, что с увеличением  $S_p$  скорость нагрева воды снижается. Однако, при этих режимах температура воды растёт значительно быстрее, чем при  $I_a=3,0$  и  $3,5$ А. При этом критическая температура воды ( $40\text{ }^\circ\text{C}$ ) достигается соответственно всего за 80 и 90 мин, а без калориферов КРФ (при снятой крышке кожуха) всего за 35 мин, т.е. более чем в 2...3 раза быстрее.

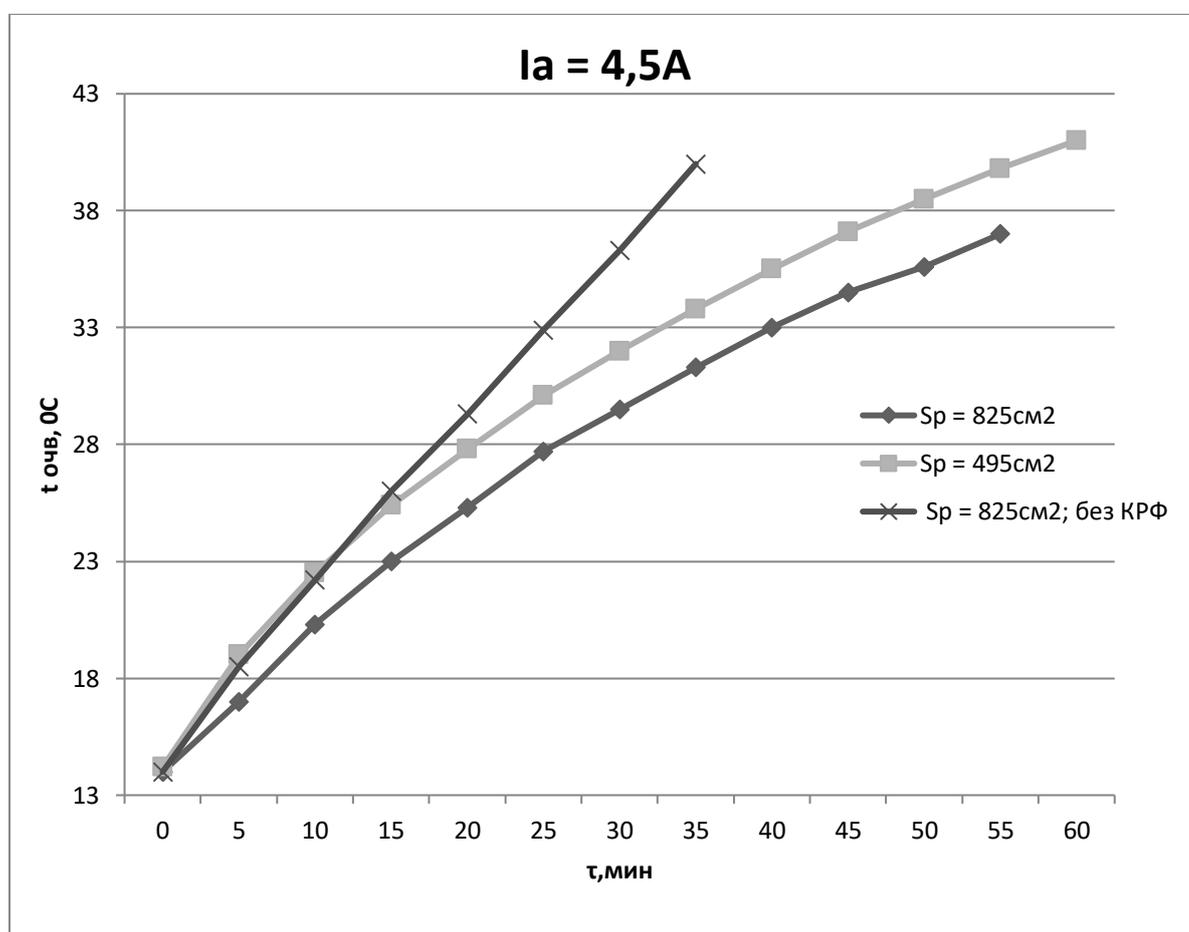


Рис. 3.4 Скорость нагрева охлаждающей воды в баке ОЧВ при следующих условиях:  $I_a=4,5\text{А}$  ( $P_{стр}=18,3\text{ кВт}$ ),  $S_p=825\text{см}^2$  и  $495\text{см}^2$ .

Таблица 3.4. Результаты эксперимента

<b>Ia=4,5A; Sp = 825см<sup>2</sup>; с КРФ</b>		<b>Ia=4,5A; Sp = 495см<sup>2</sup>; с КРФ</b>		<b>Ia=4,5A; Sp = 825см<sup>2</sup>; без КРФ</b>	
<b>τ,МИН</b>	<b>t<sub>очв</sub></b>	<b>τ,МИН</b>	<b>t<sub>очв</sub></b>	<b>τ,МИН</b>	<b>t<sub>очв</sub></b>
0	14,0	0	14,2	0	14,0
5	17,0	5	19,0	5	18,5
10	20,3	10	22,5	10	22,2
15	23,0	15	25,4	15	26,0
20	25,3	20	27,8	20	29,3
25	27,7	25	30,1	25	32,9
30	29,5	30	32,0	30	36,3
35	31,3	35	33,8	35	40,0
40	33,0	40	35,5		
45	34,5	45	37,1		
50	35,6	50	38,5		
55	37,0	55	39,8		
60	38,8	60	41,0		

### 3. Анализ полученных данных

Из анализа полученных зависимостей следует, что с увеличением  $S_p$  скорость нагрева воды снижается. Однако, при этих режимах температурах воды растёт значительно быстрее, чем при  $I_a=3,0$  и  $3,5A$ . При этом критическая температура воды ( $40\text{ }^\circ\text{C}$ ) достигается соответственно всего за 55 и 60 мин, а без калориферов КРФ (при снятой крышке кожуха) всего за 35 мин, т.е. более чем в 2...3 раза быстрее.

Для эффективной работы автономной системы обратного водяного охлаждения следует использовать следующие режимы его работы:

1. Режим «Нагрев» ( $I_a \geq 4,5A$ ,  $S_p=495\text{cm}^2$ ) для кратковременного (5...10 мин) разогрева плазменного реактора до температуры отходящих газов выше температуры вспышки горючих отходов  $t_{ог} \geq t_{всп\text{ нш}}$  ( $\approx 210\text{ }^\circ\text{C}$ ).

2. Режим «Работа» ( $I_a \leq 3,5A$ ,  $S_p=1155\text{cm}^2$ ) для поддержания процесса плазменной обработки горючих отходов в реакторе.

Для обеспечения продолжительной (круглосуточной) непрерывной работы промышленных установок необходимо увеличить ёмкость под обратную охлаждающую воду до  $0,7...1,0\text{ м}^3$  и использовать более эффективные устройства для охлаждения обратной воды (авторадияторы, мини градирни и др.).

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данной научно-исследовательской работе проводится Исследование эффективности разработанной системы автономного оборотного водяного охлаждения теплонапряженных элементов плазменного модуля и ее дальнейшее использование в промышленных плазменных установках для переработки различных нефтяных и других отходов.. Применение таких установок требует создания эффективной системы автономного оборотного водяного охлаждения. На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Однако, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе технологии иммобилизации жидких отходов.

В данном разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения
- научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчет бюджета научно – технического исследования.

#### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В ходе выполнения данной работы были определены оптимальные параметры для создания системы автономного оборотного водяного охлаждения теплонапряженных элементов передвижных и стационарах промышленных установок плазмокаталитической утилизации нефтяных и других отходов. Разработка в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком предприятия нефтяной промышленности.

### 3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Для сравнения выбраны два метода автономного оборотного водяного охлаждения: при помощи калорифера (исследуемый нами) и метод центральной системы отопления и охлаждения. Калорифер водяной с биметаллическим спирально-накатным алюминиевым оребрением теплоотдающих элементов предназначен для нагрева воздуха с предельно-допустимым содержанием химически агрессивных веществ

Таблица 3.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок.

Таблица 3.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>кл</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>кл</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Повышение производительности	0,15	5	5	0,75	0,75
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	5	0,75	0,75
3. Энергоэкономичность	0,15	5	3	0,75	0,45
4. Надежность	0,15	5	5	0,75	0,75
5. Безопасность	0,15	5	4	0,75	0,6

Продолжение таблицы 3.1.

6. Функциональная мощность	0,15	5	4	0,75	0,6
7. Простота эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>31</b>	<b>4,9</b>	<b>4,4</b>

Из представленной таблицы можно сделать вывод, что оба метода охлаждения эффективны, но все же метод центральной системы отопления и охлаждения уступает методу, при помощи калорифера. Основной акцент делается в разнице энергоэкономичности. По этому, с точки зрения производительности исследуемый нами метод охлаждения при помощи калорифера более эффективный. Так же неоспоримым преимуществом выбранного нами процесса является его безопасность и функциональная мощность.

### 3.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта .

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной технологии можно отнести:

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Таблица 3.2 Итоговая матрица SWOT– анализа.

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Мобильность установки.	Сл1. Конкуренция
С2. Легкость в обслуживании.	Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий
С3. Экономия ресурсов.	
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Модернизация действующих стационарных установок.	У1. Изобретение более совершенного метода конкурентами.
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

Таблица 3.3 Итоговая матрица SWOT– анализа.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Мобильность установки. С2. Легкость в обслуживании. С3. Экономия ресурсов.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Конкуренция Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий
Возможности: В1. Модернизация действующих стационарных установок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	В1С1С2С3, В2С1С2С3. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность модернизации действующих стационарных установок по переработке нефтяных отходов и появление дополнительного спроса на продукты, которые появляются после переработки.	В1Сл2, В2Сл1Сл2. Анализ показывает, что Модернизация действующих стационарных установок могут существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, оказывающих инжиниринговые услуги.
Угрозы: У1. Изобретение более совершенного метода конкурентами. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.	У1С1С3, У2С1С3. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования.	

## 3.2 Планирование научно-исследовательской работы

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Экономическая часть настоящей работы включает в себя планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент, выполняющий научно-исследовательскую работу.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ.

Таблица 3.4. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование процесса горения в плазмокаталитическом реакторе	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр Руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ тож используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{minі} + 2t_{maxі}}{5}, \quad (3.1)$$

где тожі – ожидаемая трудоемкость выполнения і-ой работы, чел.-дн.;

t<sub>minі</sub> – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной і-ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t<sub>maxі</sub> – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной і-ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях Т<sub>р</sub>, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (3.2)$$

где Т<sub>р</sub>і – продолжительность одной работы, раб.дн.;

тожі – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

Ч і – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в

качестве основного исполнителя.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округлены до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1,22$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни	$t_{\text{max}}$ , чел-дни	$t_{\text{ожг}}$ , чел-дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	4,64
2	10	15	12	Б	12	14,64
3	5	7	5,8	Б	5,8	7,08
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	2,56
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	2,68

Продолжение таблицы 3.5.

6	10	15	12	Б	12	14,64
---	----	----	----	---	----	-------

7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	2,93
8	5	7	5,8	Б	5,8	7,08
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	1,71
10	6	10	7,6	Б	7,6	9,27
11	4	7	5,2	Б	5,2	6,34
Итого:			66,2		60,3	73,57

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится на основе данных из таблицы 4.5 разбивкой по дням (декадам, месяцам) за период времени дипломирования. Работы на графике выделены различным цветом (штриховкой) в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.6 Календарный план-график работ по теме

№ работы	Наименование работы	Исполнители	$t_{ki}$ дни	Продолжительность выполнения работ, дни												
				Март			Апрель			Май						
				5	14,6	7,1	3	3	14,6	3	7,1	2	9	6		
1	Составление и утверждение ТЗ	Б Р	4,64													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	14,64													
3	Анализ исходных данных	Б	7,08													
4	Выбор направления исследования	Б Р	2,56													
5	Календарное планирование работ по теме	Б	2,68													
6	Моделирование технологического процесса на ПК	Б	14,64													

Продолжение таблицы 3.6.



Рассчитаем те, которые имеются в нашей работе.

### 3.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

К категории материалов относят:

- сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часа (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м<sup>3</sup>/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (3.5)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 100 \cdot 16 = 9280 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (3.6)$$

где  $C_{вд}$  – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м<sup>3</sup>);

$Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>;

$F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 16 = 230,4 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{м} = C_{эл} + C_{вд} , \quad (3.7)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{м} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расч i} , \quad (3.8)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы.

$$З_m = 9280 + 230,4 = 9510,4 \text{ руб.}$$

Транспортно – заготовительные расходы не учитывались, поэтому не было умножения на коэффициент  $k_T$ .

### 3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3.9)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (3.10)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.7.);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (3.11)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада бакалавр берет заработную плату как инженер 1-го уровня, з/п – 9893 руб.; оклад руководителя - 26 300);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.7).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot k_p, \quad (3.12)$$

где  $Z_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента  $Z_{\text{ТС}}$  составляет 26300 руб.);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зтс, руб.	$k_p$	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	1525,60956	12	18307,3147
Инженер	9893	1,3	12860,9	573,872829	62	35580,1154
Итого З <sub>осн</sub>						53887,43012

### 3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (53877,43) = 14603,5 \text{ руб.}$$

### 3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часа (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м<sup>3</sup>/час.

Затраты на электропитание плазматрона считались выше и составляют 9510 руб.

Рассчитаем затраты на электроэнергию, потребляемую компьютером.

Будем считать, что работа за компьютером занимала 62 дня по 4 часа в день.

Мощность, потребляемая компьютером равна примерно 0,4 кВт/ч.

$$C_{\text{комп}} = 5,8 \cdot 0,4 \cdot 4 \cdot 62 = 576 \text{ руб}$$

Итого на накладные расходы:

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{плазм}} + C_{\text{комп}} = 9510 + 576 = 10197 \text{ руб.}$$

### 3.3.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

### 3.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Цена на калорифер модели КпК-3-10 - 13448руб. (с учетом НДС).

Цена на бак объемом 1250литров из нержавеющей стали - 50 820 руб.

В сумме затраты на специальное оборудование составили 64268 руб.

### 3.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

### 3.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы

(темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 3.10.

Таблица 3.10. – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	9510	Пункт 3.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	53887,43	Пункт 3.3.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	14603,5	Пункт 3.3.3
4. Накладные расходы	687	Пункт 3.3.4
5. Контрагентские расходы	0	Пункт 3.3.5
6. Затраты на специальное оборудование для научных работ	64268	Пункт 3.3.6
7. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 3.3.7
8. Бюджет затрат НТИ	142956	Сумма ст. 1–8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 74 календарных дня, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 142956 рублей.

Эта сумма оправдывается перспективами применения плазменного метода, а также установки на его основе для проведения по переработке жидких радиоактивных отходов.

### 3.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования. Данный показатель можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (3.15)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Производительность	0,20	5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4
3. Помехоустойчивость	0,1	4
4. Энергосбережение	0,20	5
5. Надежность	0,15	4
6. Материалоемкость	0,25	5
ИТОГО	1	

$$I_{p-учл} = 5*0,2+4*0,1++4*0,1+5*0,2+4*0,15+0,25*5=4,65$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности и материалоемкости проекта.



#### **4. Социальная ответственность**

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению *безопасных условий и охраны труда* в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно – технические, санитарно – гигиенические, лечебно – профилактические, реабилитационные и иные мероприятия[30].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника[30].

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы[30].

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требуют использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин[31].

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства[31].

Рабочие, служащие, инженерно – технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

#### **4.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Научно – исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а так же использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 4.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

- Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки

анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## 4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

### 4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники

безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте.

Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

#### 4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 4.1.

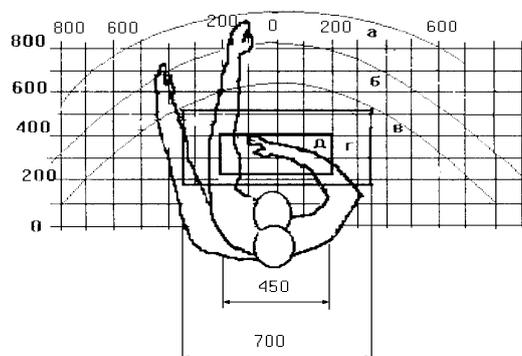


Рис 4.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в

зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её

размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

#### 4.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [32] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при

объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

В таблице 4.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 4.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [32] уровень шума компрессора не превышает 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [33]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ПЭВМ. Уровень шума ПЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [34].

Электро-магнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазmatрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [45], предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля.

Согласно напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на

расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [35] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **4.3 Электробезопасность**

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.

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [35]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и

переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;

- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Действие электрического тока на организм человека

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

Термическое действие тока:

- появление на теле ожогов разных форм;
- перегревание кровеносных сосудов;

- нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие: расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма.

Биологическое действие:

- нарушение нормальной работы мышечной системы;
- возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц;
- нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

- электрические травмы – местное повреждения тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;

- электрические знаки – проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

- металлизация кожи – возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;

- электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами;

- механические повреждения – проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

#### **4.4 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [37], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной

безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем. При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## ВЫВОДЫ

1. На основе результатов проведенного обзора и анализа литературных источников сделан выбор в пользу калориферов трубчатых трёхходовых с теплосъёмом до 50 кВт для охлаждения теплонапряженных элементов плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона.

2. Проведены исследования влияния режимов работы ВЧ-генератора, ВЧФ-плазмотрона и входной площади импеллера реактора на распределения потерь тепловой мощности на теплонапряженных элементах плазменного модуля.

3. С учетом полученных результатов рекомендовано для эффективной работы автономной системы водяного охлаждения осуществлять работу плазменного модуля в двух режимах:

- режим «Нагрев» ( $I_a \geq 4,5\text{А}$ ,  $S_{\text{имп}} = 495\text{ см}^2$ ) для быстрого разогрева реактора и доведения температуры отходящих из реактора газов до рабочей температуры плазменной переработки диспергированных водно-органических растворов  $t_{\text{ог}} \geq t_{\text{всп}}$ ;
- режим «Работа» ( $I_a \leq 3,5\text{А}$ ,  $S_{\text{имп}} = 1155\text{ см}^2$ ) при мощности ВЧФ-разряда, обеспечивающей стабильную и длительную работу плазменного модуля.

4. Для обеспечения продолжительной непрерывной работы плазменного модуля в составе промышленных установок необходимо увеличить ёмкость под оборотную охлаждающую воду с  $0,2\text{ м}^3$  до  $0,7 \dots 1,0\text{ м}^3$  и использовать более эффективные устройства для охлаждения оборотной воды (авторadiаторы, мини градирни и др.).

## **Заключение**

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании передвижных (мобильных) и модернизации действующих стационарных плазменных установок на базе ВЧФ-плазмотронов, предназначенных для плазменной переработки водно-органических растворов и других веществ.

### Список литературы:

1. Lee C. C., Huffman George L., Oberacker Donald A.//J. Air Pollut. Contr. Assoc. V. 36. N 8. P. 1986.
2. Peter Meroth // Kosmos (BRD), N 3 1986.
3. Шурыгин А. П., Черненко Н. А., Бернадинер М. Я.//Хим. пром., № 8. 1975.
4. Исламов М. Ш. Печи химической промышленности. Л.: Химия, 1975.
5. Шурыгин А. Л., Бернадинер М. Н. Огневое обезвреживание промышленных сточных вод. Киев: Техника, 1976.
6. Hallaren Ferrence F. // Mater. Perform., V. 21. N 4. 1982.  
Авласевич А. И., Кривоногое Б. М.//Пром. энергетика, № 10. 1985.
7. Пospelов Д. Н., Олейник В. Н., Рабинович Л. М. и др.//Электр, станции, №12. 1978.
8. Дуплева С. Г.//Пром. энергетика, № 8. 1977.
9. Термические методы обезвреживания отходов/Г. П. Беспамятнов, К. К. Богушевская, Л. А. Зеленская и др. Л.: Химия, 1975.
10. Багрянцев Г. И., Леонтьевский В. Г.//Энергосбережение в хим. пр-вах. Новосибирск, 1986.
11. Бернадинер М. Я., Воронов А. В., Кацнельсон Л. О. Перспективные технологические схемы и оборудование сжигания осадков сточных вод. Обзор информ. Сер. Энерготехнологические процессы в химической промышленности. М.: НИИТЭХИМ, 1981.
12. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. Л.: Химия, 1981.
13. Волков В. И., Шурыгин. А. П.//Сб. научн. трудов № 139. М.: МЭИ, 1987.
14. Dombrowski N., Hooper P. The effect of ambient density on drop formation in sprays. – «Chemical Engineering Science», 1962, v.17
15. Clarc C. J., Dombrowski N. On the formation of drops from the rims of fan spray sheets. – «Aerosol Science», 1972, v.3, №3.
16. Каренгин А.Г., Шабалин А.М. Способ утилизации нефтяных шламов и

плазмокаталитический реактор для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2218378 от 10 декабря 2003 г.

17. Kjaer J., Measurement and calculation of temperature and conversion in Fixed – Bed Catalytic Reactors, Jul. Sjellerups Forlag, Copenhagen, 1958.
18. Теплотехнический справочник./ Под ред. В. Н. Юренева. М.: Энергия, 1975.
19. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
20. Коротеев А.С. и др. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет. – М.: Машиностроение, 1993.
21. Калафати Д.Д., Поналов В.В. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена.- М.: Энергоатомиздат, 1986.
22. Андреев Е.И. Расчет тепло- и массообмена в контактных аппаратах.- Л.: Энергоатомиздат, 1985.
23. Бажан П.И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам.- М.: Машиностроение, 1989.
24. Лыков А.В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
25. Годик Е.И. и Хаскин А.М. Справочное руководство по черчению. Изд.4-е, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1984.
26. Богданов В.И., Малежик И.Ф., Верхола А.П. и др. Справочное руководство по черчению.- М.: Машиностроение, 1989.
27. Батский В.М., Климовский И.И., Лысов Г.В., Троицкий В.И. СВЧ генераторы плазмы: Физика, техника, применение.-М.:Энергоатомиздат, 1987, 320 с.
28. Sennewatd K., Schallus E., Pohl F.- Chem. Ing. Techn., 1963, T. 35.
29. Моссэ А. Л., Печковский В. В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. 216 с.

30. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5/.
31. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие /В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7/.
32. Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. 216с.
33. Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.
34. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
35. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13, 2000 г.
36. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. –Изд. 2-е, доп. И перераб. –М.: Наука, 1972. – 720 с.
37. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.

## Приложение А

### Introduction

Low temperature plasma generators (plasmatrones) are commonly used for the generation of high enthalpy gas flows with a temperature of about some thousands degrees [1,2]. There are two kinds of plasmatrons commonly used for pure and ultrapure material production. They are high frequency (HF) and ultra-high frequency (UHF) plasmatrons.

### Plasma module scheme

Fig. 1 shows the scheme of the plasma module based on high frequency torch (HFT) plasmatron. It is intended for high frequency air plasma generation and application of this plasma to carry out different plasma-chemical processes.

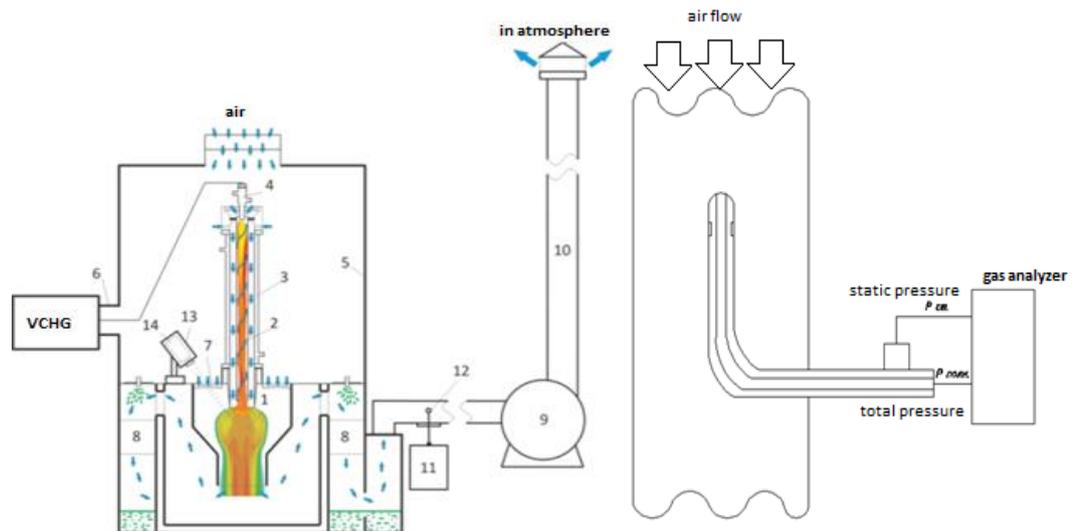


Fig. 1 Scheme of plasma module: 1 – dispersant, 2 – HFT discharge, 3 – HFT plasmatron; 4 – copper electrode, 5 – case; 6 – coaxial output; 7 – reactor impeller; 8 – wet cleaning unit for exhausted gases; 9 – air, 10 – ductwork, 11 – gas analyzer, 12 – sampler; 13 – pyrometer protective cover, 14 – pyrometer Fig. 2 Scheme of dynamic pressure measuring of air flow with pitometer

### Determination of pressure and air flow velocity

To determine plasma gas consumption through the elements of plasma module (HFT plasmatron, reactor, gas duct) the pitometer was used (Fig. 2). It was placed in the middle of gas duct and was oriented strictly towards the air flow.

To determine plasma gas consumption through the HFT plasmatron gas

injection unit was replaced with fluoroplastic pipe with the same input area - 55 mm in diameter and 300 mm long. Also bottom part of the pipe has an 8 mm hole for pitometer setting. The pitometer determines air flow pressure by the formula:

$$\rho V^2 / 2 = P_p - P_{st} , \quad (1)$$

where  $P_p$  – total pressure;  $P_{st}$  – static pressure;  $\rho$  – air density at the temperature  $T$ ;  $P_{st}$  – pressure caused by air flow.

Volumetric plasma flow rate through the HFT plasmatron could be determined by formula:

$$Q_{pg} = S_p \cdot V_{pg} , \quad (2)$$

where  $V_{pg}$  – plasma gas velocity through the fluoroplastic pipe;  $S_p$  – cross sectional area of the fluoroplastic pipe.

Volumetric plasma flow rate through the gas duct could be determined in the same way. Considering these findings air consumption through the reactor was determined by the formula:

$$Q_r = Q_d - Q_{pg} , \quad (3)$$

where  $Q_r$  – air consumption through the reactor;  $Q_d$  – plasma air consumption through the gas duct;  $Q_{pg}$  – plasma gas consumption through the HFT plasmatron.

Plasma gas velocity measuring through the HFT plasmatron during experiments was carried out with different input area of the reactor impeller. The input area of the reactor impeller was changed by impeller segments overlapping with damper.

Fig. 3 shows the influence of input area of the reactor impeller on mass air flow through the reactor, gas duct and HFT plasmatron.

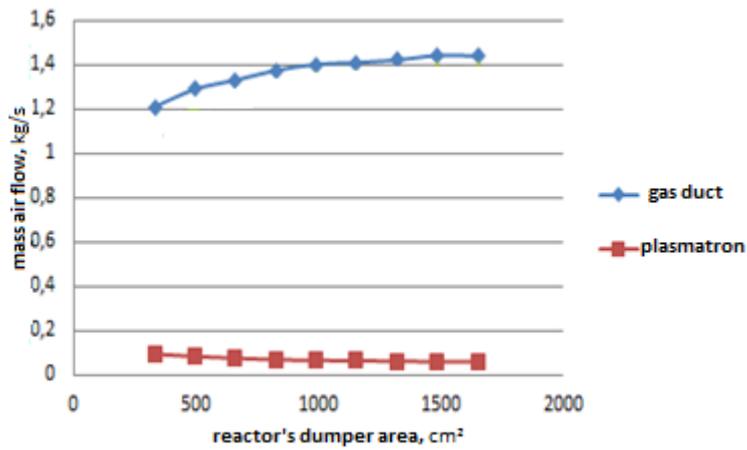


Fig. 3 Influence of input area of the reactor impeller on mass air flow through the reactor, gas duct and HFT plasmatron

Experiments in investigation of plasma module working modes

Fig. 4 and 5 show the influence of plasma flow capacity and input area of the reactor impeller on plasma flow temperature and the coefficient of efficiency of plasma module.

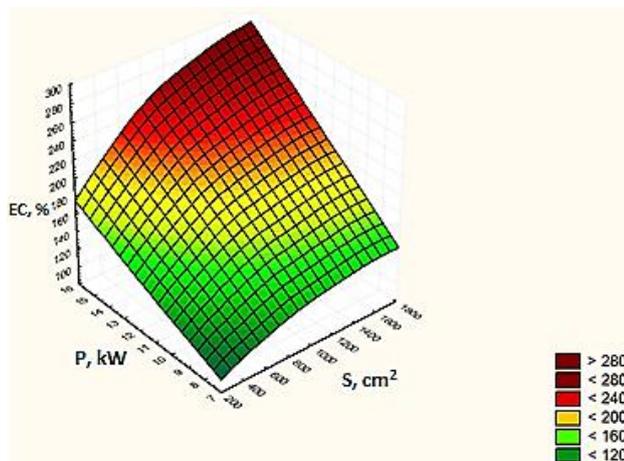


Fig. 4 Influence of plasma flow capacity (P) and input area of the reactor impeller (S) on plasma flow temperature (T)

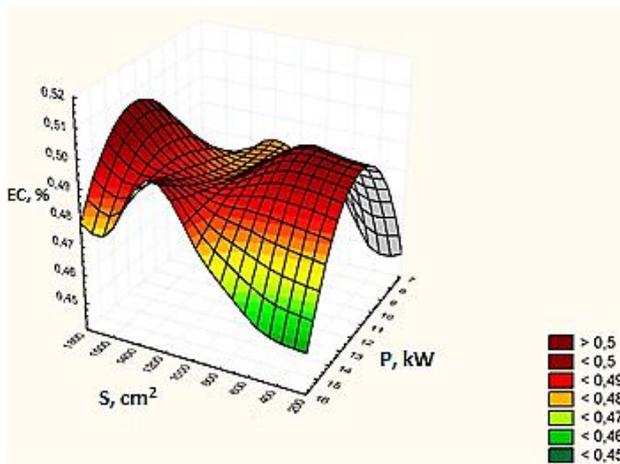


Fig. 5 Influence of plasma flow capacity (P) and input area of the reactor impeller (S) on the coefficient of efficiency of plasma module (EC)

Last graph (Fig.5) shows that the relation is complicated and has obviously expressed maximums. Whereby, it can be feasible to draw conclusions about the possibility of reaching the optimal plasmatron working modes. Most coefficient of efficiency is reached when input area of the reactor impeller takes the value from 1155 to 1650 cm<sup>2</sup> and plasma flow capacity is about 14 kW. Reduction of plasma flow capacity and input area of the reactor impeller leads to the reduction of plasma module coefficient of efficiency to 45.7%.

Table 1 shows the indicators of burning of extractants used for uranium and plutonium extraction from dissolved spent nuclear fuel. These extractants become a burning waste after resource elaboration [3].

Table 1 Indicators of burning of extractants

Name	Flash-point, [°C]	Ignition-point, [°C]	Self-ignition point, [°C]
Tributylphosphate	144	175	345
Hexachlorobutadiene	—	—	580

The comparison of the findings (Fig.3) and the data in Table 1 proves that using the given modes HFT plasmatron can provide inflammation of dispersed burning wastes and reactor ignition which result in the optimal operational mode.

### Conclusion

On the grounds of carried out experiments it is possible to make a conclusion that optimal HFT plasmatron operational mode could be reached with anode current of 4 A, input area of reactor dumper from 1155 to 1485 cm<sup>2</sup>. Wherein

coefficient of efficiency of plasma module reaches 51.6% and maximum plasma flow temperature is 255°C.

All the obtained results could be used in creating commercial plants based on HFT plasmatrom for effective plasma recycling and utilization of different industrial wastes.