

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники (ИШИТР)
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров

УДК 004.896:621.357.1:681.518.52-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Жиронкин С.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н., профессор		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Маркова Наталия Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

**Планируемые результаты освоения направления
27.04.01 «Стандартизация и метрология»**

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности

ПК(У)-1	Способен к разработке и практической реализации систем стандартизации, сертификации и обеспечения единства измерений
ПК(У)-2	Готов обеспечить необходимую эффективность систем обеспечения достоверности измерений при неблагоприятных внешних воздействиях и планирование постоянного улучшения этих систем
ПК(У)-3	Способен анализировать состояние и динамику метрологического и нормативного обеспечения производства, стандартизации и сертификации на основе использования прогрессивных методов и средств
ПК(У)-4	Способен обеспечить выполнение заданий по разработке новых, пересмотру и гармонизации действующих технических регламентов, стандартов и других документов по техническому регулированию, стандартизации, сертификации, метрологическому обеспечению и управлению качеством
ПК(У)-5	Способен разрабатывать процедуры по реализации процесса подтверждения соответствия
ПК(У)-6	Готов обеспечить эффективность измерений при управлении технологическими процессами
ПК(У)-7	Готов обеспечить надежность и безопасность на всех этапах жизненного цикла продукции
ПК(У)-8	Способен к автоматизации процессов измерений, контроля и испытаний в производстве и при научных исследованиях
ПК(У)-29	Готов участвовать в научной и педагогической деятельности в области метрологии, технического регулирования и управления качеством

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники (ИШИТР)
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Муравьев С.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна

Тема работы:

Модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	16.02.2022 №44-12/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является испытательное оборудование разъемный датчик магнита провод для получения фтора. Требования к разработке разъемного датчика тока.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Введение 2 Планирование разработки разъемного датчика тока 3 Обзор датчиков 4 Разработка датчика тока для низковольтных комплексных распределителей 5 Социальная ответственность 6 Финансовый менеджмент 7 Заключение
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Презентация, выполненная в программе MicrosoftPowerPoint</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Профессор ОSGН ШБИП, д.э.н., Жиронкин С.А.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>профессор ОКД ШБИП, д.м.н., Федоренко О.Ю.</p>
<p>Раздел, выполненный на английском языке</p>	<p>старший преподаватель ОИЯ ШБИП, Маркова Н.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: Планирование разработки разъемного датчика тока</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

12.01.2022

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических и человеческих	– стоимость расходных материалов; – оклад исполнителей: научный руководитель, студент
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	– отчисления во внебюджетные фонды; – расчет дополнительной заработной платы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ; – разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования.
3. Определение ресурсной и экономической эффективности исследования	– определение интегрального финансового показателя; – определение интегрального показателя ресурсоэффективности; – определение сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГНШБИП	Жиронкин Сергей Александрович	д.э.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
8ГМ01		Киселева Нина Сергеевна	
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Тема ВКР:

Модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объектом исследования является электролизер для получения фтора. Требования к разработке датчика для получения данных с электролизеров.
Рабочее место – учебная аудитория (S=21,9; a=3,16;b=6,9/отопление –радиаторные батареи 2 шт/вентиляция отсутствует/освещение – 6 потолочных светильников с зеркальными решетками, внутри каждого светильника по 4 лампы/ оборудование –рабочий стол, компьютер).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
- ГОСТ12.03.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов;
- СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности длячеловека факторов среды обитания;
- СП 52.13330.2016Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;
- ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
- МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»;
- ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
- ГОСТР 12.019-2009ССБТ
Электробезопасность.Общие требования и номенклатура видов защиты;
- Федеральный закон Российской Федерации "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от22.07.2008г.№ 123-ФЗ;
- СанПиН2.2.1/2.1.1.1200-03Санитарно-

	<p>защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов;</p> <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. 4.3.04–85 ССОП Охрана природы. Почвы
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда); – статические физические перегрузки. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток; – короткое замыкание; – статическое электричество. <p>К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – изолирующие устройства и покрытия; – устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения; – предохранительные устройства и др. <p>Расчет будет проводиться по недостаточности освещенности рабочей зоны</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на селитебную зону, гидросферу, атмосферу не выявлено.</p> <p>Негативное воздействие на литосферу происходит при утилизации: компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб–камеры, наушники, колонки, телефоны); люминесцентных ламп; макулатуры.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>пожар в здании, грозы, ураганы, оползни.</p> <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <p>пожар.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники (ИШИТР)
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 31.05.2022

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.02.2022	Планирование разработки разъемного датчика тока	10
01.03.2022	Обзор датчиков	10
22.03.2022	Разработка датчика тока для низковольтных комплексных распределительных устройств	30
12.04.2022	Обработка полученных результатов	10
27.05.2022	Финансовый менеджмент	30
14.05.2022	Социальная ответственность	5
03.06.2022	Выполнение раздела на иностранном языке	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 142с., 29 рисунков, 24 таблиц, 22 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: электролиз, датчики тока, разъемные датчики тока, клещи, система контроля.

Объектом исследования является разъемный датчик тока для контроля технологических параметров электролизеров.

Цель работы: состоит в модернизации автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров.

В процессе работы проводилось описание объекта разработки, были выявлены оцениваемые характеристики и их расчетные значения, подробно описаны этапы разработки данного датчика.

В результате исследования был разработан разъемный датчик тока для контроля технологических параметров электролизеров.

По результатам первичной разработанный разъемный датчик тока признан непригодным и отправлено на доработку. После устранения замечаний, испытательное оборудование будет повторно предъявлено создание данного датчика для предприятий.

Область применения: разработанный датчик тока будет применяться инженером по метрологии на предприятиях для, периодических и повторных показаний технологических параметров электролизеров.

Выпускная квалификационная работа выполнена при помощи текстового редактора *MicrosoftWord 2007* и предоставлена на листах А4.

Оглавление

Введение	15
1 Планирование разработки разъемного датчика тока	17
1.1 Получение фтора	17
1.2 Электролиз и электролизер	18
1.3 Устройство и принцип работы	20
1.4 Виды электролизеров	21
1.5 Классификация электролизеров	23
1.6 Метод – электролитическая ванна	30
1.7 Область применения	32
2 Обзор датчиков	33
2.1 Порядок точности измерения	39
2.2 Снижение параметров	40
2.3 Первичный проводник и отверстие датчика	41
2.4 Датчик как средства контроля и измерения постоянных и переменных токов, напряжений и активной мощности	42
2.5 Датчик с увеличенным диаметром отверстия под токовую шину	43
2.6 Разъемные датчики тока	44
2.7 Клещи электроизмерительные КЭИ	45
2.8 Датчик тока российского производства	47
3 Разработка датчика тока для низковольтных комплексных распределительных устройств	52
3.1 Виды и методы измерения	58
3.2 Автоматическая система управления технологическим процессом (АСУТП)	66
3.3 Модернизация	77
3.4 Испытания и техническое обслуживание устройств с шиной обработки данных	83
3.6 Будущие тенденции	83

4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	84
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	84
4.2	Анализ конкурентных технических решений	86
4.3	Оценка готовности проекта к коммерции	89
4.4	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	91
4.5	Планирование управления научно-исследовательского проекта	92
4.6	Организация и планирование работ	95
4.7	Продолжительность этапов работ	95
4.7.1	Расчет основной заработной платы	98
4.7.2	Дополнительная заработная плата исполнителей	99
4.7.3	Расчет отчислений от заработной платы	100
4.7.4	Расчет затрат на электроэнергию	100
4.7.5	Расчет накладных расходов	101
4.7.6	Расчет общей себестоимости разработки	102
4.7.7	Расчет прибыли	102
4.7.8	Расчет налога на добавленную стоимость	102
4.7.9	Полная смета затрат на выполнение НИР	102
4.7.10	Оценка научно-технического уровня НИР	103
4.8	Выводы к разделу	106
5	Социальная ответственность	107
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	108
5.2	Производственная безопасность	108
5.2.1	Анализ вредных факторов	110
5.2.1.1	Недостаточная освещенность рабочей зоны	110
5.2.1.2	Повышенный уровень шума на рабочем месте	112
5.2.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	113
5.2.1.4	Нервно–психические перегрузки	114
5.2.1.5	Статические физические перегрузки	115
5.2.2	Анализ опасных факторов	115

5.2.2.1 Электрический ток	116
5.2.2.2 Короткое замыкание	116
5.2.2.3 Статическое электричество	117
5.3 Экологическая безопасность	118
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	119
5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	120
Заключение	120
Список использованных источников	121
Приложение А(обязательное) Дополнительные виды деятельности при производстве прочих основных неорганических химических веществ и соответствующие им справочники НДТ	124
Приложение В (обязательное) Таблицы с основными техническими характеристиками выпускаемых датчиков напряжения постоянного и переменного токов	125
Приложение С (справочное) Planning the development of a detachable current sensor	127

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

ЭХР- электрохимические реакторы;

ЭХВ – электрохимические (гальванические) ванны;

ЭХП – электрохимические приборы;

ЭХС – электрохимические станки;

НТД – наилучшие доступные технологии;

НИИЭМ – научно-исследовательский институт электромеханики;

ДТХ – датчик токоизмерительных характеристик;

КЭИ – клещи электроизмерительные;

СИ – средство измерения;

ЖКИ – жидкокристаллический дисплей;

КРУНН – комплектное распределительное устройство наружной установки;

ПК – персональный компьютер;

БУ – блоки управления;

С – студент;

И – инженер;

НТИ – научно–техническое исследование;

РФ – Российская Федерация;

ЕСН – единый социальный налог;

НИ ТПУ – Научно Исследовательский университет;

НДС – налог на добавленную стоимость;

НИР – научно–исследовательская работа;

НТЭ – научно–технический эффект;

ЧС – чрезвычайный случай.

Введение

Метрологическое обеспечение производства, основанное на практическом использовании положений метрологии, является составной частью системы управления качеством одной из основных предпосылок достижения требуемого качества выпускаемых изделий.

Метрология включает в себя методы выполнения практически всех измерительных работ на производстве, а также их правовые и теоретические основы.

Политика и цели в области качества устанавливаются, для того, чтобы служить ориентиром для организации. Они определяют желаемые результаты и способствуют использованию организацией ресурсов для достижения этих результатов. Политика в области качества обеспечивает основу для разработки и анализа целей в области качества. Цели в области качества необходимо согласовывать с политикой в области качества и приверженностью к постоянному улучшению, а результаты должны быть измеримыми. Достижение целей в области качества может оказывать позитивное воздействие на качество продукции, эффективность работы и финансовые показатели и, следовательно, на удовлетворенность и уверенность заинтересованных сторон.

Огромная номенклатура выпускаемых изделий требует максимально универсальных средств контроля. Одним из таких средств является разъемный датчик измерения тока. Модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров. Особенностью данного датчика является то, что его рабочий орган (клещей-мультиметров). Что в свою очередь исключает износ этих приводов и влияние на точность показаний, а контроль перемещений рабочего органа осуществляется клещами измерения токов до 3000 А с диаметром отверстия под токовую шину 90 мм и до 5000 А с диаметром 160 мм. Что в свою очередь позволяет теоретически предположить и практически подтвердить использование данного разъемного датчика.

Цель данной работы – практическое обоснование модернизации автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров.

Для достижения вышеуказанной цели решались следующие задачи:

- изучить объект автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров;
- указать условия разработки разъемного датчика тока;
- описать оцениваемые характеристики исследуемого датчика тока;
- сформулировать и описать этапы разработки датчика тока;
- указать требования к разработке разъемного датчика тока.

Методы исследования – разработка системы контроля технологических параметров электролизеров. Сравнение разъемных датчиков измерений тока и анализ этих результатов.

Практическая значимость работы– использование разъемного датчика тока позволит разгрузить метрологическую службу производства, что позволит уменьшить время на измерение технологических параметров, уменьшит транспортные расходы, временные расходы, а также уменьшение экономических издержек.

Реализация и внедрение результатов работы – на основании данного исследования можно в дальнейшем предложить аттестацию разъемного датчика тока.

1 Планирование разработки разъемного датчика тока

В первом разделе работы был проведен анализ характеристик оборудования необходимого для разработки разъемного датчика тока.

1.1 Получение фтора

Фтор — элемент главной подгруппы седьмой группы, второго периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 9. Фтор — чрезвычайно химически активный неметалл и самый сильный окислитель, является самым лёгким элементом из группы галогенов. Простое вещество фтор при нормальных условиях — двухатомный газ (формула F_2) бледно-жёлтого цвета с резким запахом, напоминающим озон или хлор. Очень ядовит.

Способы получения:

1. Лабораторный метод

В лабораторных условиях фтор можно получать с помощью установки. В медный сосуд 1, заполненный расплавом $KF \cdot 3HF$ помещают медный сосуд 2, имеющий отверстия в дне. В сосуд 2 помещают толстый никелевый анод. Катод помещается в сосуд 1. Таким образом, в процессе электролиза газообразный фтор выделяется из трубки 3, а водород из трубки 4. Важным требованием является обеспечение герметичности системы, для этого используют пробки из фторида кальция со смазкой из оксида свинца (II) и глицерина.

2. Промышленный метод

Промышленное производство фтора осуществляется электролизом расплава кислого фторида калия $KF \cdot 3HF$ (часто с добавлениями фторида лития), который образуется при насыщении расплава KF фтористым водородом до содержания (40—41) % HF . Процесс электролиза проводят при

температурах около 100 °С в стальных электролизёрах со стальным катодом и угольным анодом.

1.2 Электролиз и электролизер

Химические реакции, сопровождающиеся переносом электронов (окислительно-восстановительные реакции) делятся на два типа: реакции, протекающие самопроизвольно и реакции, протекающие при прохождении тока через раствор или расплав электролита.

Раствор или расплав электролита помещают в специальную емкость — электролитическую ванну.

Электрический ток— это упорядоченное движение заряженных частиц — ионов, электронов и др. под действием внешнего электрического поля. Электрическое поле в растворе или расплаве электролита создают электроды.

Электроды— это, как правило, стержни из материала, проводящего электрический ток. Их помещают в раствор или расплав электролита, и подключают к электрической цепи с источником питания.

При этом отрицательно заряженный электрод катод — притягивает положительно заряженные ионы — катионы. Положительно заряженный электрод (анод) притягивает отрицательно заряженные частицы (анионы). Катод выступает в качестве восстановителя, а анод — в качестве окислителя.

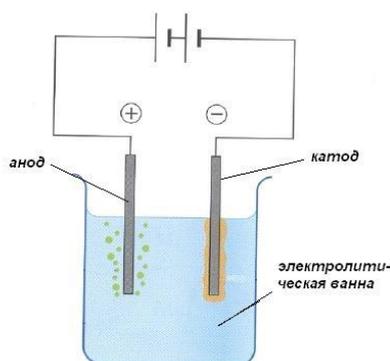


Рисунок 1-Электролитическая ванна

Различают электролиз с активными и инертными электродами. Активные (растворимые) электроды подвергаются химическим превращениям

в процессе электролиза. Обычно их изготавливают из меди, никеля и других металлов. Инертные (нерастворимые) электроды химическим превращениям не подвергаются. Их изготавливают из неактивных металлов, например, платины, или графита.

Электролизер – это специальная установка, применяемая для выделения из раствора или расплава его составляющих.

Основными характеристиками электролизера являются:

- Рабочее напряжение для одного электрода колеблется в интервале от 1,8 до 2,0 В;
- Сила тока – для нормального протекания процесса электролиза на электроды подают ток с значением данной характеристики от 5 до 10 А;
- Количество электродов – минимальное количество электродов – 2, максимальное ограничивается размерами самой установки и ее назначением;
- Габариты электродов – в качестве электродов используют не угольные стержни, а металлические пластины, размер которых определяется назначением установки, вольтамперной характеристикой подаваемого на пластины тока;
- Расстояние между разноименно заряженными поверхностями электродов – минимальное расстояние между пластинами-электродами должно быть не менее 1,5 мм;
- Материал электрода – в современных электролизерах в качестве материала для анода и катода используют листовую нержавеющую сталь с добавкой никеля.

Также еще одной важной характеристикой электролизной установки является использование катализаторов.

Применяются такие установки для следующих целей:

- Получение гремучего газа, состоящего из смеси водорода и кислорода (газ Брауна);
- Выделение чистого алюминия, магния, цинка из расплавов их солей;

- Очистка воды от растворенных в ней солей и примесей;
- Нанесение на поверхность металлических деталей тонкого препятствующего коррозии слоя никеля, цинка;
- Обеззараживание пищевых продуктов;
- Очистка сточных вод от растворенных в них солей тяжелых металлов и других вредных веществ.

Платина-электрод из обычного железа применяется в электролизных установках реже, чем из нержавеющей стали, так как оно быстрее окисляется и приходит в негодность.

1.3 Устройство и принцип работы

Самая простейшая электролизная установка состоит из нескольких «ячеек», каждая из которых включает в себя:

- 2 пластинчатых электрода – катод (отрицательный) и анод (положительный);
- Резиновую прокладку, располагающуюся по периметру двух смежных разноименных электродов.

Крайние ячейки оснащаются специальными патрубками, через которые отводятся выделяющиеся газы.

Несколько соединенных между собой «ячеек» электролизной установки

Электролизер может содержать от 1 до 30-40 и более таких «ячеек», одноименные пластины которых подключены последовательно.

При использовании источников питания с переменным током дополнительно применяют выпрямители, самым простейшим, из которых является диодный мост.

Работает такая установка следующим образом:

1. В пространство между электродами заливают дистиллированную воду с растворенной в ней щелочью или обычной пищевой содой;

2. От источника питания на электроды всех ячеек установки подается напряжение номиналом 1,8-2,0 В;

3. В результате протекания процесса электролиза к отрицательно заряженному катоду притягиваются анионы (положительно заряженные ионы) растворенного в воде вещества, в результате чего на нем образуется тонкая пленка натрия;

4. На положительно заряженном аноде происходит разрушение молекул воды, при этом из каждой образуется 2 атома водорода и 1 атом кислорода;

5. Выделяющийся гремучий газ по отводным патрубкам попадает в предназначенную для него емкость.

Интенсивность процесса электролиза зависит от величины напряжения и силы тока – при малых значениях данных характеристик процесс протекать не будет. Если источник питания будет подавать ток со слишком большими значениями вольтамперной характеристики, заливаемый в электролизер раствор будет сильно нагреваться и выкипать.

1.4 Виды электролизеров

В зависимости от конструкции и принципа работы, различают электролизные установки 5 видов.

1. Сухие

Такие электролизеры состоят из пластинчатых электродов, разделенных между собой герметичными резиновыми прокладками. Часто «ячейки» установки дополнительно помещают в герметичный корпус.

Вырабатываемые в результате электролиза водород и кислород отводятся по специальным патрубкам, находящимся в торце корпуса или крайних пластин установки.

2. Проточные

Электролизные установки такого вида имеют следующее устройство:

– Электролизная ванна (корпус) с двумя патрубками, по одному из которых в нее подается электролит, по второму отводится образующийся в результате электролиза гремучий газ;

– Пластинчатые электроды, отделенные прокладками;

– Бак с электролитом, расположенный выше корпуса с электродами и соединенный шлангами с патрубками электролизной ванны установки и имеющий в верхней части патрубков с газовым клапаном.

При работе подобного устройства выделяющийся газ через патрубков и шланг попадает в бак с электролитом и, создавая в нем определенное давление, через клапан на отводном патрубке выходит за пределы установки.

3. Мембранные

Электролизные ячейки таких установок состоят из двух электродов, разделенных между собой тонкой мембраны, пропускающей продукты электролиза и разделяющей электроды между собой.

4. Диафрагменные

Электролизные установки данного вида состоят из «U» образной колбы с двумя вставленными в нее электродами и 2-3 непроницаемыми диафрагмами. Используются подобные электролизеры для отдельного получения чистого водорода и кислорода.

5. Щелочные

В отличие от других моделей электролизеров, в таких в качестве электролита применяют раствор щелочи – каустическую соду (гидроксид натрия), являющийся не только дополнительным источником водорода и кислорода, но и катализатором для электролиза.

Такие установки, в отличие от аналогов других видов, позволяют применять более дешевые электроды из обычного железа.

1.5 Классификация электролизеров

Электролизером называется аппарат, в котором осуществляют процесс электролиза.

Минимально необходимыми составными частями электролизера являются:

- катод;
- анод;
- корпус (ванна);
- в рабочем состоянии электроды погружены в электролит, заполняющий корпус электролизера.

Все электролизеры, описанные в литературе, образуют четыре группы:

I – электрохимические реакторы (ЭХР) – предназначены для получения товарных продуктов: газов (водорода, хлора, фтора), металлов (меди, никеля, цинка, алюминия, магния и многих других), неорганических и органических продуктов электросинтеза;

II – электрохимические (гальванические) ванны (ЭХВ) – служат для электрохимической обработки поверхности металлических или неметаллических деталей;

III – электрохимические приборы (ЭХП) (их называют также хемотронными приборами или хемо тронами) – образуют группу электрохимических преобразователей информация различных видов. Простейшим и старейшим электрохимическим прибором является кулонометр, а к современным относятся электрохимические диоды, интеграторы, датчики давления скорости, вибрации и многие другие, преобразующие как электрические, так и неэлектрические величины;

IV – электрохимические станки (ЭХС) – представляют собой комплексы агрегатов, с помощью которых осуществляется размерная анодная обработка металлических деталей — электросверление,

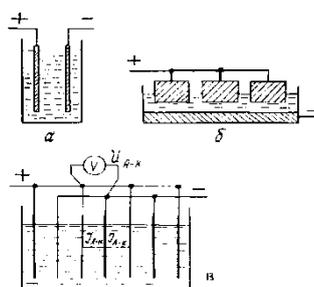
электрофрезерование и другие операции, основанные на избирательном анодном растворении с применением фигурных катодов.

Различаются электролизеры с электродами моно полярными и биполярными (смотри рисунки 2,3).

Первые из них составляют большинство в электрохимической технологии.

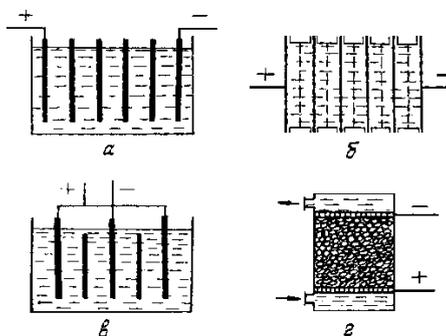
В промышленных электролизерах применяются электроды разнообразной формы и конструкции: плоские, цилиндрические, сетчатые, перфорированные, проволочные, стержневые, шариковые, кусковые и другие.

Условно их можно объединить в три группы электродов (см. рис.4,5,6): сплошные, не сплошные, насыпные.



а – элементарная электролизная ячейка; б – электролизер с параллельным включением анодов; в – электролизер с плоскопараллельными чередующимися электродами

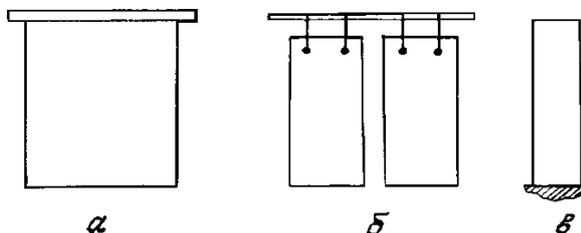
Рисунок 2- Варианты моно полярных электролизеров



а -электролизная ванна для рафинирования меди; б - электролизер для получения водорода и кислорода; в - гальваническая ванна мед-нения; г -

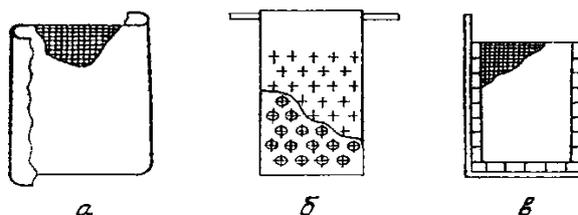
электролизер с насыпными электродами для получения перманганата калия
(стрелками показано направление циркуляции электролита)

Рисунок 3 - Варианты биполярных электролизеров



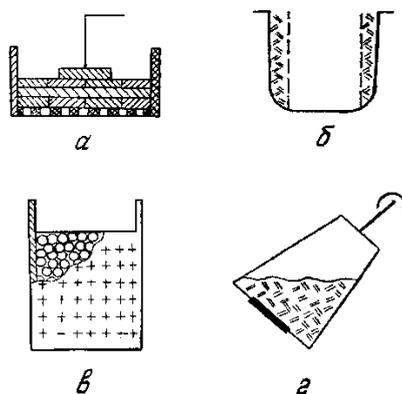
а — катод-матрица для получения катодных основ; б — комплект анодов гальванической ванны; в — графитовый анод хлорного диафрагменного электролизера

Рисунок 4 - Варианты сплошных электродов



а — часть сетчатого катода хлорного электролизера, б — перфорированный анод электролизера для электроэкстракции марганца; в — сетчатый анод электролизера для получения пероксодвусерной кислоты

Рисунок 5 - Варианты несплошных электродов

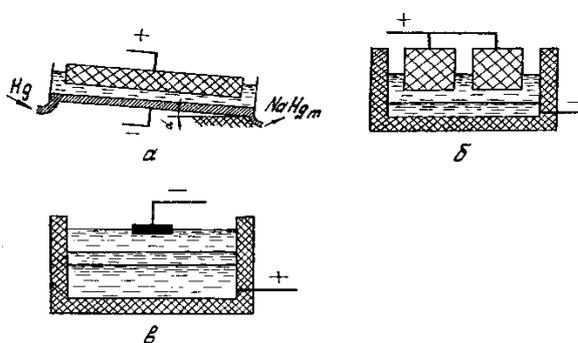


а — анод электролизера для рафинирования серебра; б — анод электролизера для рафинирования металла из расплава; в — анод гальванической ванны; г — катод колокольной гальванической ванны

Рисунок 6 - Варианты насыпных

Электролизеры с жидкими электродами распространены не так широко, как с твердыми электродами. К ним относятся:

- без диафрагменного хлорного электролизера с ртутным катодом (см. рис. 7а);
- электролизная ванна для получения алюминия, в которой катодом служит расплавленный алюминий (смотри рисунок 7б);
- электролизер для электро-рафинирования алюминия, в котором жидкими являются и анод (алюминий-сырец с медным утяжелителем) и катод (чистый расплавленный алюминий) (смотри рисунок 7в).



а — с ртутным катодом для получения хлора; б — с расплавленным алюминиевым катодом для получения алюминия; в — с расплавленными катодом и анодом для рафинирования алюминия

Рисунок 7 - Варианты электролизеров с жидкими электродами

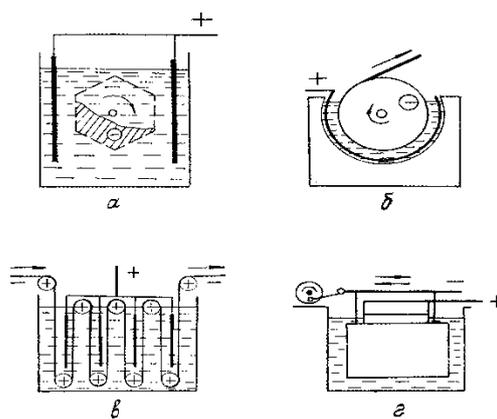
Типичными для прикладной электрохимии являются неподвижные электроды, однако в ряде случаев применение подвижных катодов, которые вращаются, трясутся или перемещаются линейно, позволяет резко интенсифицировать технологический процесс.

Характерными среди них можно считать барабанные и колокольные гальванические ванны, в которых насыпной катод перемещается при вращении барабана, причем детали движутся неравномерно и по сложной траектории (смотри рисунок 8а). Вызывают практический интерес барабанные электролизеры для получения медной или никелевой фольги, товарного цинка с вращающимися вместе катодной основой и осаждаемым металлом, который затем отделяется от барабана (смотри рисунок 8б). Давно известны автоматы для гальванического цинкования стальной проволоки, лужения стальной

ленты и других аналогичных операций. В них «бесконечный» катод перемещается линейно горизонтально или вертикально (смотри рисунок 8в). Существуют гальванические ванны с качающимися или вибрирующими катодными штангами; возвратно-поступательное или осевое движение катодов осуществляется с помощью эксцентриковых устройств (смотри рисунок 8г).

Линейное перемещение ртутного катода наблюдается в хлорном электролизере (смотри рисунок 7а). Ртуть течет самотеком, постепенно обогащаясь амальгамой натрия.

Электролизеры с подвижными электродами достаточно сложны конструктивно и трудны в эксплуатации. Их серьезное преимущество — возможность в той или иной степени интенсифицировать процесс, т. е. вести электролиз при повышенной плотности тока.



а – барабанная гальваническая ванна; б — щелевой электролизер для получения металлической ленты, в — гальваническая ванна для нанесения покрытия на проволоку или ленту; г — гальваническая ванна с качающимся катодом

Рисунок 8 - Варианты электролизеров с подвижным катодом

В промышленности используют без диафрагменные и диафрагменные электролизёры.

В большинстве случаев диафрагма предназначена для разделения жидких и газообразных продуктов, образующихся на катоде и аноде. Иногда назначение диафрагмы — предотвращение обратного восстановления анодного продукта (например, пероксодвухсерной кислоты при электролизе

серной кислоты) или обратного окисления катодного продукта (например, азобензола, получаемого электровосстановлением нитробензола).

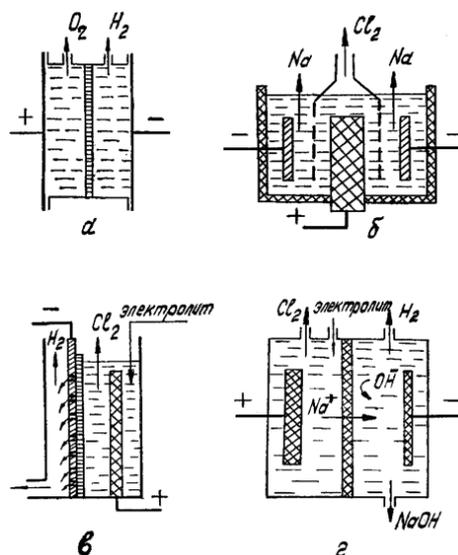
Различаются диафрагмы:

- погруженные (или непроточные),
- фильтрующие (или проточные),
- ионообменные, которые принято называть мембранами.

Задача погруженной диафрагмы, чаще всего, в разделении продуктов электролиза; при этом уровни католита и анолита одинаковы, а питание катодного и анодного пространств осуществляется отдельно. Примером может служить асбестовая диафрагма электролизера для получения водорода и кислорода (смотри рисунок 9а). Иногда диафрагма не полностью перекрывает пространство, занятое электролитом, четкого разделения раствора на католит и анолит нет, как это имеет место в электролизере для получения металлического натрия. Здесь диафрагма— стальная, сетчатая (смотри рисунок 9б).

Фильтрующая диафрагма не только механически разделяет продукты электролиза, но и обеспечивает направленный поток электролита из анодного пространства в катодное, как в хлорном электролизере (смотри рисунок 9в), или из катодного пространства в анодное, как в электролизных ваннах для электрорафинирования никеля или электроэкстракции марганца. Назначение направленного протока — препятствовать диффузии и миграции определенных ионов в противоположном направлении. Уровни католита и анолита в этих случаях неодинаковы и могут различаться на величину от 2 см (диафрагма из льняного брезента в ваннах рафинирования никеля) до 35 см и выше (хлорная ванна, диафрагма из осажденного асбеста).

Электролизеры с ионообменными мембранами весьма перспективны. По своей сущности они непроточны, ток в них переносится определенными ионами, или только катионами, или только анионами. Схема электролизера с катионнообменной диафрагмой для получения хлора и щелочи дана на рис. 9г. Существуют варианты с комбинацией ионообменных и проточных диафрагм.



а — с полностью погруженной диафрагмой для получения водорода и кислорода; б — с частично погруженной сетчатой диафрагмой для получения натрия; в — с фильтрующей диафрагмой для получения хлора и щелочи; г- с ионообменной мембраной для получения хлора и щелочи

Рисунок 9 - Варианты диафрагменных электролизеров

Состояние электролита в значительной степени характеризует уровень интенсивности процесса. Переход от спокойного электролита к перемешиваемому и затем к энергично циркулируемому позволяет резко усилить конвективный массоперенос разряжаемых ионов и этим создать условия для существенного повышения скорости электролиза без заметного ухудшения качества продукта.

Электролизеры с неподвижным электролитом встречаются чаще всего в гальванотехнике, где применяются стационарные ванны с растворимыми анодами для покрытия деталей на подвесках.

Электролизеры с перемешиваемым электролитом многочисленны и разнообразны, как разнообразны способы перемешивания.

Различают следующие способы перемешивания:

- естественные
- принудительные.

Естественное перемешивание происходит за счет газов, образующихся электрохимически (водорода, кислорода, хлора).

Принудительное перемешивание осуществляется при неинтенсивной проточности, с помощью мешалки, с помощью барботирующего воздуха, качающимися или вращающимися катодами.

Электролизеры с очень интенсивной циркуляцией электролита в прикладной электрохимии распространены недостаточно. В качестве примера можно назвать барабанный электролизер для получения медной фольги, условно показанный на рис.8б.

1.6 Метод — электролитическая ванна

Метод электролитической ванны основан на подобии, которое существует между силовыми линиями электростатического поля бег объемного заряда, создаваемого системой электродов в вакууме, и линиями тока в электролите, в который погружены те же электроды, с теми же потенциалами.

Метод электролитической ванны основан на аналогии между электростатическим полем в вакууме и полем токов в однородно-проводящей жидкости.

Существует несколько разновидностей метода электролитической ванны, отличающихся друг от друга способом реализации граничных условий на электродах.

В связи с этим вопрос о точности метода электролитической ванны является тривиальным, хотя в обширной литературе, посвященной обоснованию применению метода электролитического моделирования, указания на это почти отсутствуют.

Картина поля между электродами умножителя, полученная методом электролитической ванны.

Поэтому способ задания этого условия и определяет разновидности метода электролитической ванны.

Таким образом, в ходе работы выяснена возможность применения метода электролитической ванны для исследования электрических полей ионизационных детекторов с целью их сравнения и использования результатов при проектировании.

В электронике широкое распространение нашли два подобных метода, а именно: метод электролитической ванны и метод резиновой модели или мембраны.

Одним из наиболее эффективных способов нахождения распределения электростатического потенциала путем его моделирования является метод электролитической ванны. Он основан на подобии эквипотенциальных поверхностей в однородном электролите и в вакууме (или в воздухе) при сохранении подобия формы электродных систем и при одинаковом относительном распределении потенциалов на электродах. Действительно, в вакууме при отсутствии объемного заряда распределение потенциала задается уравнением Лапласа $\Delta \varphi = 0$ и граничными условиями. Последние в данном случае определяются формой электродов и приложенными к ним потенциалами. Потенциал в электролите также удовлетворяет уравнению Лапласа.

Рассмотрим моделирование полей электрическим полем в проводящей среде: двухмерного — методом проводящего листа и трехмерного — методом электролитической ванны. Необходимо подчеркнуть простоту и доступность метода проводящего листа, позволяющего быстро изготовить модель.

Кроме значительных преимуществ (возможность моделировать практически любые электрические поля, достаточная для практических целей точность) методу электролитической ванны присущи и некоторые недостатки, главным из которых является громоздкость установки, связанная с необходимостью использовать большие объемы электролита. Поэтому наряду с методом электролитической ванны для моделирования электрических полей применяются и некоторые другие методы.

1.7 Область применения

Производства указанных химических продуктов относятся в соответствии с ОК 029—2014 к «производству промышленных газов» и «производству прочих основных неорганических химических веществ».

Наименования прочих основных неорганических веществ с указанием кодов Общероссийского классификатора видов экономической деятельности ОКВЭД (ОК 029— 2014) и кодов общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности ОКПД 2 (ОК 034—2014) представлены в приложении А.

Справочник НДТ также распространяется на технологические процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать или оказывают влияние на количество (массы) эмиссий в окружающую среду или на масштабы загрязнения окружающей среды:

- хранение и подготовка сырья;
- производственные процессы;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- упаковка и хранение продукции.

Справочник НДТ не распространяется на:

- добычу и обработку сырья на месторождениях;
- вопросы, относящиеся исключительно к обеспечению промышленной безопасности или охране труда.

Вопросы охраны труда рассматриваются частично и только в тех случаях, когда они оказывают непосредственное влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего справочник НДТ.

Дополнительные виды деятельности, осуществляемые при производстве прочих основных неорганических химических веществ, и соответствующие им справочники НДТ, определенные распоряжением

Правительства РФ от 31 октября 2014 г. № 2178-р, приведены в приложение А.

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда частично рассматриваются только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего справочника НДТ.

2 Обзор датчиков

Можно утверждать, что именно сегодня направление разработки и производства отечественных датчиков. Это объясняется прежде всего тем, что нынешний уровень развития производства требует не только совершенствования технологических процессов, но и их автоматизации. Кроме того, современное предприятие сегодня немислимо без автоматизированных систем учета, управления производством и т.д. А поскольку базируются все процессы автоматизации на показаниях первичных датчиков, то вполне понятен интерес и повышенные требования, которые предъявляются к конструкции и характеристикам датчиков различных физических величин.

Универсальные датчики тока.

Универсальность датчиков заключается в том, что одним и тем же прибором можно измерять постоянные, переменные и импульсные токи. Для этого в конструкцию датчика кроме концентратора магнитного поля входит так называемый датчик Холла – миниатюрный полупроводниковый прибор, определяющий величину и направление магнитного поля проходящего тока.

Конструктивно датчик тока представляет из себя миниатюрный автономный модуль, электронная начинка которого питается от постоянного напряжения ± 15 В. Потребитель должен только пропустить токовую шину через отверстие в корпусе датчика тока. Выходной сигнал такого датчика строго пропорционален измеряемому току.

Понятно, что в зависимости от величины измеряемого тока и внешних условий эксплуатации датчиков меняется диаметр отверстия и конструкция корпуса этих приборов. На рисунке 10 представлены типовые образцы датчиков тока, серийно выпускаемых. В приложении А приведена классификация универсальных датчиков серии ДТХ в зависимости от величины измеряемого тока.



а - датчики тока для монтажа на печатную плату, б - транспортном варианте

Рисунок 10 – Датчики тока

Из приложения В видно, что диапазон измерения тока датчиков серии ДТХ составляет от десятков миллиампер и до трех тысяч ампер. Наиболее популярными и часто используемыми являются датчики ДТХ-50 ÷ ДТХ-200 (смотри рисунок 10, а). Такие модули имеют минимальные размеры, массу и монтируются, как правило, на печатной плате. Для этого служат выводные ножки датчика, которые впаиваются в металлизированные отверстия печатной платы и изготовлены со стандартным шагом 2,5 мм. Одновременно выводные ножки являются и элементами крепежа датчика. При необходимости использования датчиков ДТХ в более жестких условиях, связанных с внешними механическими воздействиями, предусмотрена более жесткая конструкция датчика (ДТХ-Т на рисунке 10, б). Электрическое соединение датчика ДТХ-Т осуществляется с помощью разъема.

Выходной сигнал стандартного датчика ДТХ или ДТХ-Т – токовый и строго пропорционален мгновенному значению измеряемого тока. Однако по требованию заказчика электронная схема датчика легко трансформируется, и тогда датчик может измерять действующее значение тока (TRUE-RMS) либо обладает стандартным токовым выходом (4–20 мА) ,(0–20 мА). Это создает дополнительные удобства при использовании датчиков в системах автоматизации или связи.

Из приложение В видны основные преимущества датчиков ДТХ и ДТХ-Т: высокая точность измерений (до 1%), гальваническая развязка, малые габаритно-массовые размеры и температурный дрейф характеристик. Диаметр отверстий под токовую шину колеблется от 10 мм (ДТХ-50) и до 40 мм (ДТХ-3000).

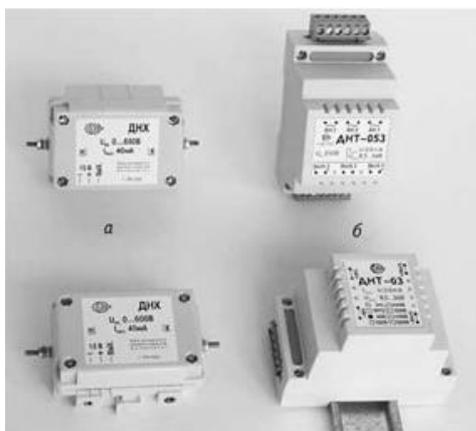


Рисунок 11 - Конструкция датчиков напряжения ДНХ (а) и ДНТ (б)
Разъемные датчики тока.

Большое количество модификаций датчиков обеспечивает свободу выбора пользователям этих приборов. Однако существует целая отрасль измерений, которая принципиально не может использовать вышеописанные стационарные датчики. Это касается вопросов мониторинга токовых цепей, которые давно собраны и функционируют. Кроме того, целый ряд производств с непрерывным циклом работы не допускает длительного отключения токовых цепей и переустановки оборудования. Для таких случаев незаменимыми оказываются разъемные датчики тока серии ДТР-01 и ДТХ-Ж.

Основой таких датчиков является разъемный магнит провод, позволяющий монтировать датчики непосредственно на токовой шине, без разрыва последней и с гальванической изоляцией измеряемого тока от измерительных цепей. При необходимости датчики можно закрепить и на DIN-рейке.

При протекании измеряемого тока по шине, охватываемой магнит проводом, в обмотке датчика наводится ток, пропорциональный измеряемому току. Выходной сигнал с обмотки подается либо на выпрямитель (детектор)

амплитудных значений (маркировка датчика ДТР-01), либо на детектор истинных среднеквадратичных значений (ДТР-01 RMS). Напряжение постоянного тока с выхода детектора преобразуется в сигнал интерфейса «токовая петля 4–20 мА».

Разъемные датчики тока относятся к числу последних разработок НИИЭМ и на сегодняшний день освоено производство только двух модификаций датчиков.

Датчик ДТР-01 рассчитан для монтажа на круглой шине и предназначен для измерения токов в диапазоне от 5 до 300 А с допустимой перегрузкой по входному току в 1,5 раза. Разъемная конструкция датчика ДТХ-1000Ж, ДТХ-1500Ж или ДТХ-3000Ж позволяет закрепить его на плоской шине. Соответственно номинальный измеряемый ток у этих датчиков 1000, 1500 или 3000 А.

Клещи электроизмерительные.

Описанная выше конструкция разъемных датчиков позволяет закрепить их непосредственно на шине без разрыва токовой цепи. Дальше такие датчики функционируют как обычные стационарные приборы. В то же время существует целый ряд задач, которые требуют частых разовых измерений, причем в различных, иногда труднодоступных участках токовых цепей. И часто качество технологического процесса зависит от точности и своевременности этих токовых измерений. Вот для решения таких задач и разрабатывались клещи электроизмерительные серии КЭИ.

Токовые клещи являются автономным контрольным прибором (питание от 2 пальчиковых батареек), предназначенным для измерения действующего значения постоянного и переменного токов без разрыва силовой цепи. Клещи КЭИ введены в Государственный реестр СИ РФ, сертифицированы и выпускаются в различных модификациях.

Базовая модель клещей.

КЭИ-0,6М – это интеллектуальный прибор, в конструкции которого используется микроконтроллер с электрически программируемым ПЗУ

(EEPROM). Благодаря этому клещи кроме ряда стандартных функций (измерение постоянного и переменного токов), содержат еще и ряд функций мультиметра. Они могут использоваться для измерения напряжения постоянного и переменного токов до 600 В, для измерения сопротивления цепи до 2000 Ом и измерения температуры окружающей среды. Выбор пределов измерений, обнуление шкалы в клещах производится автоматически. Кроме того, клещи КЭИ содержат ряд сервисных функций: функцию удержания («память») измеренного значения, способны работать в режиме поиска min или max значения тока за измеряемый промежуток времени. Функция энергосбережения («сон») позволяет свести к минимуму энергозатраты, когда клещи находятся в пассивном режиме (не работают). Малые габаритно-массовые размеры и различный диаметр отверстия под токовую шину создают дополнительные удобства для потребителей. Отечественные клещи марки КЭИ выгодно отличает возможность работы с ними при отрицательных температурах окружающей среды до -20°C .



Рисунок 12 - Датчик больших токов ДБТ, смонтированный на шинопроводе электролизера алюминия

Из широкого перечня предлагаемых сегодня клещей необходимо выделить модификацию этих приборов для измерения больших токов до 3 кА (КЭИ-3) и до 5 кА. Диаметр отверстия клещей под токовую шину с измеряемым током до 5000 А составляет 160 мм. Для сравнения эти клещи представлены на одном рисунке рядом со своим собратом – это клещи-

адаптер, предназначенные для измерения постоянных и переменных токов без индикации измеренных значений на дисплее. Кроме отсутствия ЖКИ, клещи-адаптер отличаются упрощенной электрической схемой и, следовательно, меньшей ценой. В то же время сохраняется возможность выбора таких клещей с размахом губок под токовую шину от 20 и до 64 мм для измерения токов от 20 и до 1500 А.

2.1 Порядок точности измерения

Количество разрядов — это функция точности измерения. Достоверность измерения требует определенной степени точности в точке измерения, чтобы быть уверенным в полученном значении. Отношение 4:1 измеренного значения и ошибки измерения этого значения в точке измерения — необходимый минимум (лучше 10:1). Погрешность коэффициента усиления всегда оценивается в процентах от считанного значения тока в первичной цепи. Погрешность линейности измерения всегда оценивается в процентах от номинального тока датчика. Начальное смещение также определяется в процентах от номинального тока датчика. Обычно все три погрешности не складываются. В противном случае это привело бы к совершенно нереалистичной величине суммарной погрешности. Суммарную погрешность в общем случае получают как квадратный корень от суммы их квадратов. Датчик, имеющий погрешность усиления в 1%, нелинейность 0,5% и погрешность из-за начального смещения 0,2%, обладает погрешностью измерения в 1,14%. Фактическая ошибка в амперах зависит от величины считываемого тока в первичной цепи ввиду того, что от него зависит погрешность коэффициента усиления. Так, датчик, рассчитанный на номинальный ток 100 А с указанной выше погрешностью измерения, для считываемого тока в 10 А будет иметь фактическую ошибку в 0,55 А. Это даже лучше, чем 10:1. Но датчик, рассчитанный на номинальный ток в 100 А, с указанной выше погрешностью измерения, для считываемого тока в 1 А

будет иметь фактическую ошибку, равную 0,54 А. А такая ошибка (0,54 А) означает отношение измеренного тока к ошибке даже хуже, чем 2:1. Таким образом, ток в 1 А уже не может быть достоверно измерен.

Таким образом, обеспечение измерений с точностью в несколько разрядов является трудной задачей. Большинство датчиков обеспечивает измерение токов ниже, чем номинальный, с точностью одного разряда. Обеспечение измерения с точностью в два разряда — это уже серьезная задача. Лучшие из датчиков компенсационного типа обеспечивают отношение примерно 4:1 при точности измерения в два разряда. Еще лучше, если начальное смещение приведено к нулю (скомпенсировано) при подаче питания на датчик, а температурный дрейф начального смещения минимизирован (для датчиков индукционного типа). Но необходимо помнить, что проблема обеспечения точности измерений не ограничивается точностью измерения тока самим датчиком. Требуется учитывать погрешность номинала и дрейф нагрузочного резистора (1% против 0,1%), а кроме того, еще и погрешность аналого-цифрового преобразователя. Проверка системы с использованием осциллографа с пробником в виде разъемного датчика прямого усиления, имеющим погрешность измерения в 2%, не сравнима с использованием датчика тока, имеющего собственную погрешность в 0,5%.

2.2 Снижение параметров

В спецификациях на датчики указаны их номинальный ток, диапазон рабочих температур и частотный диапазон. Максимальные значения всех трех параметров не могут быть обеспечены одновременно. Входящие в состав датчика усилители имеют свои ограничения. Падение напряжения и, следовательно, мощность распределяется между транзисторами выходного каскада усилителя, вторичной обмоткой и нагрузочным резистором. Меньшее сопротивление нагрузочного резистора увеличивает мощность, рассеиваемую выходным каскадом усилителя, что вызывает его больший нагрев. Слишком

большое сопротивление нагрузки приводит к ограничению выходного сигнала датчика. Высокая температура окружающей среды в совокупности с большими измеряемыми токами и малым значением сопротивления нагрузки приводит к большой мощности рассеивания усилителем датчика. Эти факторы должны быть приняты во внимание при разработке схемы включения датчика. В спецификациях обычно приводятся графики, показывающие снижение номинальных параметров датчика с учетом их зависимости от этих факторов. Кроме того, компенсационные датчики не могут полностью компенсировать магнитный поток в сердечнике. Увеличение амплитуды и частоты тока еще больше ухудшает компенсацию магнитного потока. В результате появляются вихревые токи и нагрев сердечника. Из изложенного выше и вытекает потребность учитывать при проектировании неизбежное снижение реальных характеристик датчиков в конкретных условиях их применения.

2.3 Первичный проводник и отверстие датчика

Размещение первичного проводника в отверстии датчика также влияет на точность измерения. Расположение этого проводника по центру отверстия датчика и полное заполнение внутреннего отверстия датчика первичным проводником приводит к повышению точности измерения. Необходимо иметь в виду, что размещение силового проводника первичной цепи близко к краю отверстия может стать причиной локального насыщения сердечника на больших токах. Но это зависит непосредственно от изготовителя датчика. Магнитные сердечники не могут быть совершенно одинаковыми по своим характеристикам. Одни изготовители проектируют свои датчики с запасом по характеристикам сердечников, другие — не делают запаса по параметрам сердечников, тем самым не оставляя возможности нормального функционирования при ошибке позиционирования первичного проводника.

2.4 Датчики как средства контроля и измерения постоянных и переменных токов, напряжений и активной мощности

Современные датчики измерения постоянного и переменного токов, напряжений и датчиков активной мощности. Эти устройства представляют собой автономные модули, которые в процессе измерений обеспечивают гальваническую развязку входных и выходных цепей. Данное свойство, а также малые габаритные размеры, возможность крепежа на печатную плату или DIN-рейку, простота в обращении и многое другое позволяют использовать датчики вместо широко применяемых, но морально устаревших токовых шунтов, магнитных усилителей и трансформаторов тока. Дополнительными преимуществами датчиков являются малое энергопотребление, работа в широком температурном диапазоне, высокая чувствительность и хорошее по сравнению с зарубежными аналогами соотношение цены и качества.

Принцип работы всех датчиков основан на бесконтактном измерении силы протекающего по шине тока с помощью одного или нескольких датчиков Холла, помещенных в зазор магнит провода. Ток, протекающий по шине через отверстие магнит провода, создает в последнем магнитное поле, величину, форму и направление которого фиксируют датчики Холла. Современная электроника позволяет обработать полученный сигнал и обеспечить потребителям необходимый вид выходного сигнала с датчика: мгновенное значение измеряемого тока, действующее, средневыпрямленное или стандартизированное значение (0-20) мА или (4-20) мА.

Далее представлены основные типы и характеристики разработанных датчиков, которые используются как средство измерения и включены в Госреестр средств измерений РФ.

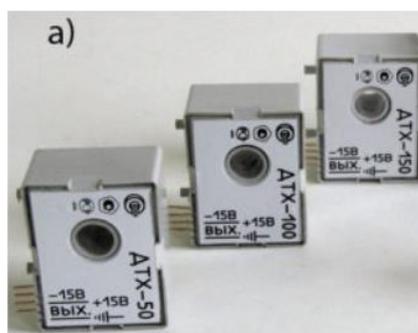


Рисунок 13 - Общий вид датчиков тока ДТХ (а)

2.5 Датчики с увеличенным диаметром отверстия под токовую шину

Серия датчиков измерения тока ДТХ-У (постоянный ток) и ДТХ-П (переменный ток) перекрывает диапазон контролируемых токов от 50 до 4000 А с допустимой перегрузкой по току в 1,5 раза от номинального значения. Пластмассовые корпуса этих устройств удобно крепятся в двух плоскостях или с помощью DIN-рейки, диаметр отверстия под токовую шину составляет от 14 мм в датчиках ДТХ-Т (смотри рисунок 14а) до 30 мм в датчиках ДТХ-300 (рисунок 14б) или 40 мм в ДТХ-1000 (смотри рисунок 14в).

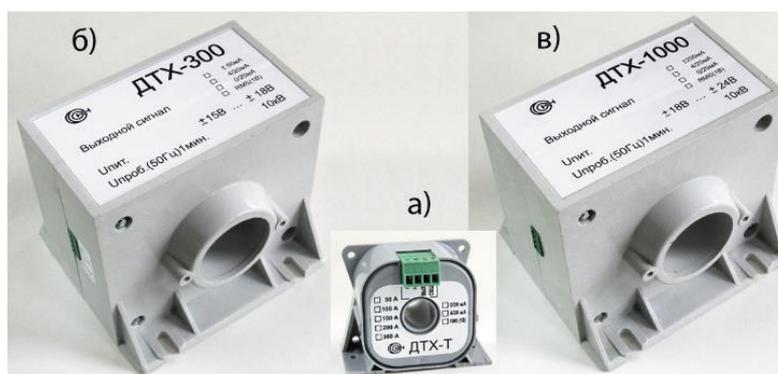


Рисунок 14 - Внешний вид датчиков серии ДТХ

На рис. 15 представлена новинка: разработанный датчик тока ДТХ-5000 способен измерять постоянный и переменный ток до 5000 А. Прибор рассчитан под плоскую токовую шину размером (100-40) мм, электрическая прочность изоляции которой на переменном токе 50 Гц/1 мин составляет не

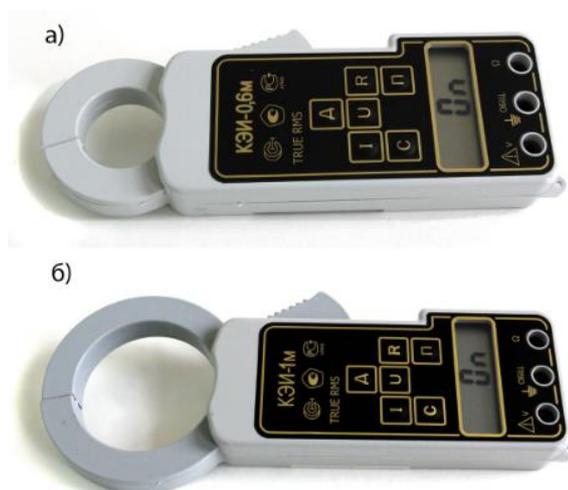


а) ДТР-01; б) ДТР-03; в) ДТР-02

Рисунок 16 - Внешний вид разъемных датчиков

2.7 Клещи электроизмерительные КЭИ

Разъемными датчиками можно назвать и такое средство измерения, как токовые клещи. Кроме стандартных клещей-мультиметров для разовых измерений постоянных и переменных токов до 600 А (КЭИ-0,6М, рисунок 17а) или 1000 А (КЭИ-1,0М, рис. 17б). В частности, в Госреестр включены клещи для измерения токов до 3000 А с диаметром отверстия под токовую шину 90 мм и до 5000 А с диаметром 160 мм (смотри рисунок 18). Последняя разработка — это высоковольтные клещи для измерения токов до 1000 А при потенциале на токовой шине до 10 кВ.



а) КЭИ-0,6М и б) КЭИ-1,0М

Рисунок 17 - Клещи-мультиметры



Рисунок 18 - Клещи больших токов до 5000 А

Клещи КЭИ-1 (10 кВ), показанные на рисунке 19, являются современным средством измерения, снабженным целым рядом функций, делающих их привлекательными для потребителей. Полностью электронные клещи содержат микропроцессор, цифровой светодиодный индикатор, автономный источник питания. При минимальном токе потребления высоковольтные клещи обеспечивают диапазон измеряемых токов (0-100 А) и (0-1000 А) с основной приведенной погрешностью не более 1%. Клещи поддерживают функцию энергосбережения «Сон», содержат светодиод, который упрощает работу в темное время суток. Для удобства эксплуатации предусмотрены съемные 60-см ручки, а сам прибор легко помещается в специальный носимый заплечный чехол.



Рисунок 19 - Электронные высоковольтные клещи КЭИ-1 (10кВ)

Высоковольтные электронные клещи КЭИ-1 (10 кВ) также внесены в Госреестр и успешно заменяют аналогичный, но морально устаревший стрелочный прибор Ц-4502.

2.8 Датчик тока российского производства

Сегодня направление разработки и производства отечественных датчиков переживает своё второе рождение. Это объясняется, прежде всего, тем, что нынешний уровень развития производства требует не только совершенствования технологических процессов, но и их автоматизации. Кроме того, современное предприятие сегодня немислимо без автоматизированных систем учёта и управления производством. А поскольку базируются все процессы автоматизации на показаниях первичных датчиков, то вполне понятен интерес и повышенные требования, которые предъявляются к конструкции и характеристикам датчиков различных физических величин.

В целом продукцию датчиков можно разбить на две группы: датчики измерения тока и напряжения, датчики активной мощности. Датчики измерения тока и напряжения – это самая многочисленная группа приборов, и физические принципы, лежащие в основе этих датчиков, так или иначе повторяются во всех остальных модификациях. Любой ток, протекающий по проводнику, создаёт вокруг этого проводника магнитное поле. Измеряя величину и направление этого магнитного поля, можно определить величину, направление и форму протекающего тока. Отсюда и основное преимущество датчиков тока, реализующих указанный принцип работы: они измеряют любой вид тока без разрыва токовой цепи и с гальванической развязкой выходного сигнала от токовой цепи. Поэтому, даже несмотря на большую стоимость, датчики измерения тока успешно заменяют токовые шунты и трансформаторы тока.

Универсальность датчиков тока заключается в том, что одним и тем же прибором можно измерять постоянные, переменные и импульсные токи. Для этого в конструкцию датчика кроме концентратора магнитного поля, входит так называемый датчик Холла – миниатюрный полупроводниковый прибор, определяющий величину и направление магнитного поля проходящего тока.

Конструктивно датчик тока представляет миниатюрный автономный модуль, электронная начинка которого питается от постоянного напряжения $\pm 15\text{В}$. Потребитель должен только пропустить токовую шину через отверстие в корпусе датчика тока. Выходной сигнал такого датчика строго пропорционален измеряемому току. Понятно, что в зависимости от величины измеряемого тока и внешних условий эксплуатации датчиков, меняется диаметр отверстия и конструкция корпуса этих приборов. Диапазон измерения тока таких датчиков может составлять от десятков миллиампер и до трёх тысяч ампер. Наиболее популярными и часто используемыми являются датчики, имеющие минимальные размеры, массу и монтируемые, как правило, на печатной плате. При необходимости использования датчиков в более жёстких условиях, связанных с внешними механическими воздействиями, предусмотрена более жёсткая конструкция датчика. Электрическое соединение датчика осуществляется с помощью разъёма.

Выходной сигнал стандартного датчика – токовый и строго пропорционален мгновенному значению измеряемого тока. Однако, по требованию заказчика, электронная схема датчика легко трансформируется, и тогда датчик может измерять действующее значение тока, либо обладает стандартным токовым выходом 4-20мА (0-20мА). Это создаёт дополнительные удобства при использовании датчиков в системах автоматизации или связи. Основные преимущества таких датчиков: высокая точность измерений (до 1%), гальваническая развязка, малые габаритно-массовые размеры и температурный дрейф характеристик. Диаметр отверстий под токовую шину колеблется от 10мм и до 40мм.

Датчики измерения переменного тока можно рассматривать как частный случай универсальных датчиков. Анализ рынка показывает, что примерно в 50% случаев потребителям необходимо измерять только переменные токи. Причём в большинстве случаев это токи синусоидальной формы промышленной частоты 50Гц. Именно для таких измерений разработана серия датчиков, имеющих более дешёвую электронную начинку.

Цена таких датчиков приблизительно в 1,5 раза ниже, а уровень технических характеристик весьма высок. Датчики могут работать в широком температурном диапазоне от минус 40°C до плюс 80°C с минимальной температурной погрешностью, линейность амплитудно-частотной характеристики не хуже (1%) в диапазоне частот от 20Гц до 10кГц. Кроме того, потребитель сам выбирает, с каким выходным сигналом датчика ему удобно работать: это может быть потенциальный сигнал или токовый выход 4-20мА (0-20мА).

Если измеряемое напряжение цепи превратить в ток (используя токо-задающее сопротивление), то величина этого тока будет пропорциональна напряжению в измерительной цепи. Именно этот принцип лежит в основе работы датчиков измерения напряжения, а наличие в их конструкции датчика Холла обеспечивает гальваническую развязку силовых цепей и цепей контроля. Датчик напряжения может монтироваться на печатную плату, а токо-задающее сопротивление подключается одним концом к измерительной цепи, а вторым – к винтовому выводу датчика. Второй винтовой вывод датчика соединяется с измерительной цепью. В ряде случаев более удобным является размещение датчика на DIN-рейке. Для этих целей существует специальная переходная планка. В ряде случаев более удобным является клеммное устройство датчика напряжения. Такой датчик напряжения имеет возможность непосредственного монтажа на DIN-рейке.

Датчики напряжения позволяют контролировать постоянное и переменное напряжение до 1 000В в широком температурном диапазоне. Электронная схема датчика предусматривает получение выходного сигнала в виде напряжения или в виде токового сигнала 4-20мА (0-20мА). Этот датчик предназначен для преобразования входного постоянного, импульсного напряжения положительной полярности в стандартное (мгновенное) значение токового выхода 4-20мА. А модификация этого же датчика преобразует входное напряжение в действующее выпрямленное значение стандартного

токового выхода (4-20)мА. Питание датчика осуществляется по токовой петле (4-20)мА, а монтаж – на DIN-рейку.

Большое количество модификаций датчиков тока обеспечивает свободу выбора пользователям этих приборов. Однако существует целая отрасль измерений, которая принципиально не может использовать вышеописанные стационарные датчики. Это касается вопросов мониторинга токовых цепей, которые давно собраны и функционируют. Кроме того, целый ряд производств с непрерывным циклом работы не допускает длительного отключения токовых цепей и переустановки оборудования. Для таких случаев незаменимыми оказываются разъёмные датчики тока. Основой таких датчиков является разъёмный магнитопровод, позволяющий монтировать датчики непосредственно на токовой шине, без разрыва последней и с гальванической изоляцией измеряемого тока от измерительных цепей. При необходимости датчики можно закрепить и на DIN-рейке.

Логическим продолжением описанных выше приборов является датчик измерения мощности (ДИМ). Он предназначен для преобразования активной мощности, потребляемой нагрузкой в цепях переменного тока частоты 50Гц и постоянного тока в пропорциональный сигнал токового интерфейса 0-20мА или 4-20мА, гальванически изолированного от измерительных цепей. Диапазон мощностей, измеряемых ДИМ, составляет от 5 кВт до 200кВт. При этом диапазон входных напряжений колеблется от 20В до 380В, а диапазон входных токов составляет от 20А до 600А. Коэффициент мощности ДИМ на частоте 50Гц составляет (0,3–1)% основная приведённая погрешность (± 2)%, при этом диаметр отверстия под токовую шину можно варьировать или изготовить датчик мощности под плоскую токовую шину. Питается датчик от внешнего источника питания (13,5–16,5)В и выдерживает длительную перегрузку по входу до (120%) от номинальных значений напряжения и тока.

Отдельного описания заслуживает датчик измерения больших токов (ДБТ). Конструктивно ДБТ состоит из двух блоков: измерительного контура и блока питания. Разъёмный измерительный контур массой до 40кг

предназначен для монтажа непосредственно на токоведущей шине. Размеры внутреннего окна контура могут составлять 400x400мм. Удобство монтажа датчика без разрыва токовой шины – это только одно из преимуществ ДБТ по сравнению с традиционно используемыми шунтами. Электрическая связь между измерительным контуром и блоком питания и индикации осуществляется с помощью кабеля длиной до 5м. Блок питания и индикации смонтирован в удобном переносном корпусе и питается от однофазной промышленной сети переменного тока 220В (50Гц) $\pm 10\%$. Блок обеспечивает измерительный контур необходимым питанием и формирует выходной сигнал стандартной токовой петли 0-5мА. Основная приведённая погрешность датчика составляет (0,4%). Датчик ДБТ полностью сохраняет работоспособность при 1,5-кратной перегрузке измеряемого тока. Области использования ДБТ весьма специфичны: это энергоёмкие производства медеплавильной промышленности, предприятия нефтяной промышленности и электрометаллургии с высоким уровнем паразитных магнитных полей, нефтехимия и электроэнергетика. Поэтому в датчике предусмотрена специальная система теплоотвода, повышены изолирующие свойства измерительного контура и предусмотрены меры электромагнитной защиты.

3 Разработка датчика тока для низковольтных комплексных распределительных устройств

Актуальность разработки датчиков тока для комплектных распределительных устройств напряжением (0,4 – 10) кВ возникла в связи с ростом генерируемых мощностей электроустановок низкого напряжения, в частности, в сетях распределенной генерации адаптивных энергетических систем. Так, при мощности электроустановки в несколько мегаватт и напряжении 0,4 кВ, ток короткого замыкания на сборных шинах комплектного распределительного устройства может превышать десятки килоампер.

С целью предотвращения разрушения комплектного распределительного устройства и минимизации ущерба от тока к.з., к релейной защите, действующей на отключение, предъявляются требования абсолютной селективности и максимального быстродействия. Таким требованиям отвечает только защита, выполненная на принципе сравнения токов всех присоединений сборных шин, т.е. дифференциальная защита с установкой датчиков тока на каждом присоединении. В существующих комплектных распределительных устройствах низкого напряжения (КРУНН) расстояние между токоведущими шинами составляет несколько сантиметров, что не позволяет использовать в качестве датчиков тока традиционные тороидальные трансформаторы тока с ферромагнитным сердечником.

Таким образом, возникает задача разработки и исследования малогабаритного, встраиваемого датчика тока, обладающего незначительными погрешностями и линейной характеристикой в широком диапазоне изменения первичного тока. В качестве такого датчика предлагается использовать трансформатор. Для установки на шинпроводах КРУНН предлагается выполнить датчик тока, состоящий из П-образного сердечника, собранного из листов электротехнической стали и двух обмоток, размещаемых на вертикальных стержнях сердечника и соединяемых последовательно.

С целью проведения экспериментальных исследований был изготовлен П-образный транс реактор с числом витков $W_{лев} = W_{прав} = 1000$ в. Размеры датчика и расположение шин показаны на рис. 20.

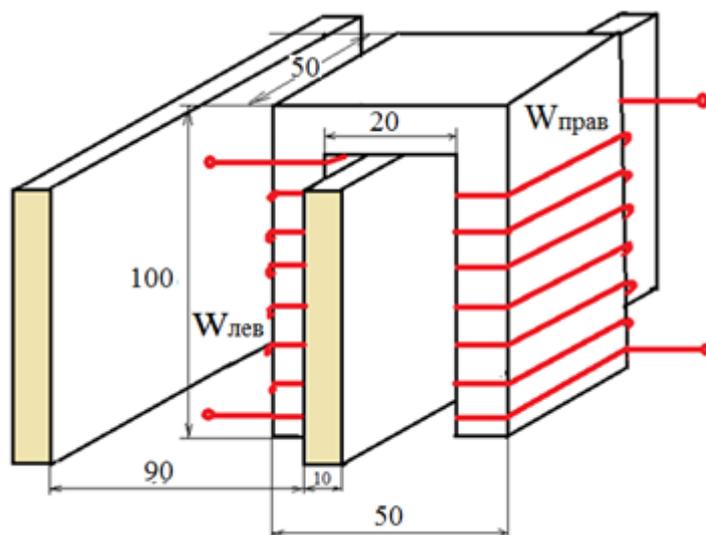


Рисунок 20 – Схематическое изображение трансреакторного датчика тока

Выполненный таким образом датчик тока подвержен влиянию внешних магнитных полей, которое выражается в появлении на выходе обмотки напряжения помехи, приводящей к ложной работе защиты.

Для расчета величины выходного сигнала датчика необходимо иметь описание магнитного поля в пространстве около шин. В первом приближении можно считать, что силовые линии замыкаются только по сердечнику и зазору и выполнить задачу, используя методы расчета нелинейных магнитных цепей. Основная трудность таких расчетов заключается в определении магнитного сопротивления отдельных участков цепи. Приближенная аппроксимация нелинейных характеристик приводит к существенным погрешностям вычислений. В связи с этим, более целесообразно определить выходной сигнал датчика тока, используя физическое моделирование магнитного поля в пространстве около шин. Для упрощения расчетных соотношений примем следующие допущения, незначительно влияющие на результат исследований: поле H в пространстве, окружающем проводник с током, будем считать

плоскопараллельным, а магнитную проницаемость сердечника μ примем равной бесконечности.

Для выяснения картины магнитного поля шины с током можно воспользоваться моделированием его другим полем, а именно полем постоянного тока [6].

Модель магнитного поля шины с током состоит из двух тонких круглых дисков из проводящего материала (меди). Эти диски соединены по периметру с помощью медных заклепок, как показано на рисунке 21.

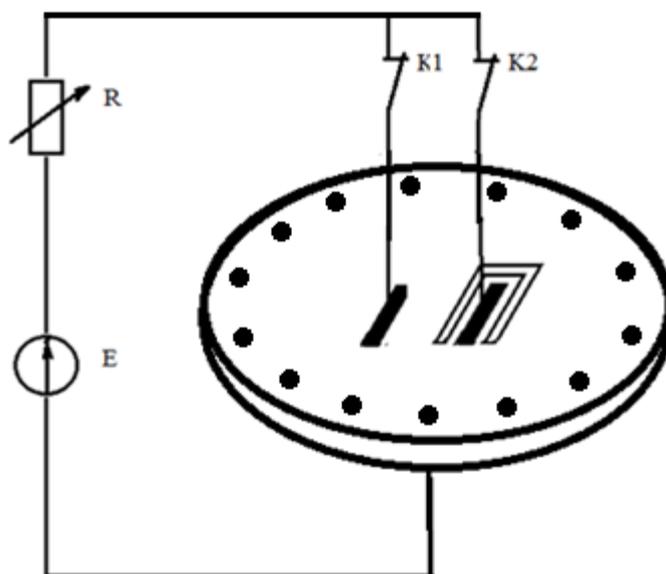


Рисунок 21 – Схематическое изображение физической модели магнитного поля

На верхнем диске вырезана модель магнитопровода, а к месту расположения шины и центру нижнего диска подключены проводники от источника постоянного тока, Центр нижнего диска на основании теоремы Бутройда будет эквивалентен бесконечно-удаленной точке.

Плоскопараллельное магнитное поле выражается функцией потока $V(M)$.

Шину с током можно с некоторыми погрешностями заменить точечным источником, что функция потока будет иметь в окрестности этой точки логарифмическую особенность

$$V(M)_{M \rightarrow N} \rightarrow \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r_{MN}} \quad (1)$$

Поле модели описывается функцией потенциала $U(M)$.

В точке присоединения проводника к модели поле потенциала будет иметь такую же особенность, как и поле потенциала тока утечки удлиненного провода

$$U(M) = \frac{i_{\text{мод}}}{2\pi\gamma d} \ln \frac{1}{r} \quad (2)$$

где d – толщина проводящего слоя модели.

Действительно

$$L_{\text{мод}} = \iint_S \delta \partial s = \iint_S \gamma E ds = d \int_0^{2\pi} \gamma E dl = 2\pi r d \gamma E \quad (3)$$

отсюда

$$E = \frac{I_{\text{мод}}}{2\pi r d \gamma} \quad (4)$$

$$U(M) = \int_{M_0}^M E dl = - \int_1^r \frac{i_{\text{мод}} dr}{2\pi r d \gamma} = \frac{i_{\text{мод}}}{2\pi \gamma d} \ln \frac{1}{r} \quad (5)$$

Наряду с этим обе функции удовлетворяют одинаковым граничным условиям. Теперь воспользуемся тем фактом, что если функции описываются одним и тем же уравнением и удовлетворяют одинаковым граничным условиям, то по теореме единственности они имеют одинаковые решения. Следовательно, в нашем случае функцию потока можно заменить функцией потенциала. Сравнив источники $V(M)$ и $U(M)$, найдем связь между ними

$$V(M):U(M) = i: \frac{i_{\text{мод}}}{\gamma d}, \text{ то есть } V(M) = \frac{i\gamma d}{i_{\text{мод}}} U(M).$$

Следовательно, найти $V(M)$ можно по результатам измерений $\frac{i_{\text{мод}}}{\gamma d}$ предварительно построив картину эквипотенциальных линий $U(M)$. Измерение величины $\frac{i_{\text{мод}}}{\gamma d}$ производилось следующим образом. Из материала модели толщиной d была вырезана тонкая длинная полоска и включена последовательно с моделью к источнику постоянного тока. Затем с помощью двойного щупа, у которого расстояние между щупами Δr равно ширине

полоски m , измерялось напряжение в середине полоски. Можно показать, что это напряжение соответствует величине $\frac{i_{\text{мод}}}{\gamma d}$.

Действительно

$$i_{\text{мод}} = \iint_S \delta ds = \delta s = \delta md = \gamma Emd \frac{\Delta\tau}{\Delta\tau} = \gamma \Delta U \frac{m}{\Delta\tau} d = \gamma d \Delta U, \quad (6)$$

так как $\Delta U = E \Delta\tau$, отсюда $\Delta U = \frac{i_{\text{мод}}}{\gamma d}$.

Следовательно, мы имеем $V(M) = \frac{U_i(M)}{\Delta U}$.

Величина потока в трубке по толщине сердечника z определяется, как $\Phi_j = V_j z$, где j – номер силовой трубки, в соответствии с картиной поля. Суммируем потокосцепление катушек датчика

$$\Psi = \sum_{k=1}^n \Psi_k = \sum_{j=1}^n V_j w_l z \quad (7)$$

где w_l – число витков, которое пронизывает поток j – той силовой трубки (определяется как произведение удельного числа витков на соответствующую часть длины катушки). ЭДС, индуцируемая в обмотках датчика тока, определяется по формуле $e = -\frac{d\Psi}{dt}$.

Для расчета полезного сигнала достаточно вычислить потокосцепление одной из катушек, поскольку силовые линии распределяются симметрично, и обе катушки находятся в одинаковых условиях. Результаты расчета сведены в таблица 1

Таблица 1 – Потокосцепление одной катушки

Номера трубок	$\frac{V_j}{i}$	$\frac{\Phi_j 10^{-3}}{i}$	w_l	Ψ_k / i
1	1,054	52,66	130	0,85
2	1,185	59,2	780	5,06
3	1,317	65,7	1000	19,7
4	1,45	72,4	-	-
5	1,58	78,9	-	-
6	1,71	85,4	960	6,34
7	1,843	92	930	6,24

Продолжение таблицы 1

8	1,984	98,7	752	5,04
9	2,109	105,4	-	-
10	2,24	112	-	-

$$\sum \Psi_k / i = 43,23 \quad (8)$$

Для расчета помехи следует вычислять потокосцепления обеих катушек. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

$$\sum \Psi_{kлев.} / i = 5,324 ; \sum \Psi_{kправ.} / i = 5,324$$

Суммарный полезный сигнал на выходе датчика тока $e_{пол.} = 2 \frac{d\Psi}{dt} = 86,46 \frac{di}{dt}$. Для расчета помехи от соседней шины вычисляются отдельно потокосцепления левой и правой катушек и результат суммируется (с учетом направления эдс).

Отсюда

$$e_{лев.} = 5,324 \frac{di}{dt} ; e_{прав.} = 2,694 \frac{di}{dt} \quad (9)$$

$$e_{пом.} = (5,324 - 2,694) \frac{di}{dt} = 2,63 \frac{di}{dt} \quad (10)$$

Таблица 2 – Потокосцепление двух катушек

Номера трубок	$\frac{\Phi j 10^{-3}}{i}$	w_1	$\Psi_k \text{ лев.} / i$	$\Psi_k \text{ прав} / i$
1	115,7	76	0,0532	-
2	115	511	0,65	-
3	113,8	893	1,16	-
4	112,5	1000	3,1	-
5	111,2	-	-	-
6	110	-	-	-
7	109,4	600	0,36	-
8	108,8	-	-	-
9	107,6	1000	-	-
10	106	881	-	1,4

Продолжение таблицы 2

11	105	291	-	1,058
12	104,2	-	-	0,236

Помехоустойчивость датчика тока можно оценить отношением эдс помехи к эдс полезного сигнала

$$\varepsilon = e_{ном.}/e_{пол.} = 2,63 \frac{di}{dt} / 86,46 \frac{di}{dt} = 0,032 \quad (11)$$

Таким образом, величина помехи, наводимой на описанном датчике, составляет 3,2 % от величины полезного сигнала при одном и том же токе собственной и соседней шин.

В результате экспериментальных исследований макетного образца П-образного транс реакторного датчика тока, была получена величина помехи равная 2,9, что хорошо согласуется с данными, полученными с использованием модели.

Таким образом, использование изложенного выше метода анализа позволяет с достаточной степенью точности оценивать помехоустойчивость датчика тока.

3.1 Модель магнитной цепи

В основу принципа действия датчика зажигания положен эффект Холла, получивший свое название в честь американского физика, открывшего это явление в 1879 году. Подав постоянное напряжение на края прямоугольной пластины (А и В на рисунке 22) и поместив ее в магнитное поле, Эдвин Холл обнаружил разность потенциалов на двух других краях (С и D).

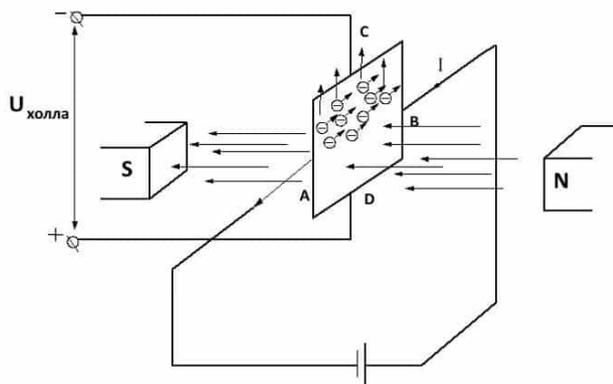


Рисунок 22 - Демонстрация эффекта Холла

В соответствии с законами электродинамики, сила Лоренца воздействует на носители заряда, что и приводит к разности потенциалов. Величина напряжения $U_{\text{холла}}$ довольно мала, в пределах от 10 мкВ до 100 мВ, она зависит как от силы тока, так и напряженности электромагнитного поля.

До середины прошлого века открытие не находило серьезного технического применения, пока не было налажено производство полупроводниковых элементов на основе кремния, сверхчистого германия, арсенида индия и т.д., обладающих необходимыми свойствами. Это открыло возможности для производства малогабаритных датчиков, позволяющих измерять как напряженность поля, так и силу тока, идущего по проводнику.

Типы и сфера применения

Несмотря на разнообразие элементов, применяющих эффект Холла, условно их можно разделить на два вида:

- Аналоговые, использующие принцип преобразования магнитной индукции в напряжение. То есть, полярность, и величина напряжения напрямую зависят от характеристик магнитного поля. На текущий момент этот тип приборов, в основном, применяется в измерительной технике (например, в качестве датчиков тока, вибрации, угла поворота). Датчики тока, использующие эффект Холла, могут измерять как переменный, так и постоянный ток

- Цифровые. В отличие от предыдущего типа датчик имеет всего два устойчивых положения, сигнализирующих о наличии или отсутствии

магнитного поля. То есть, срабатывание происходит в том случае, когда интенсивность магнитного поля достигла определенной величины. Именно этот тип устройств применяется в автомобильной технике в качестве датчика скорости, фазы, положения распределительного, а также коленчатого вала и т.д.

Следует отметить, что цифровой тип включает в себя следующие подвиды:

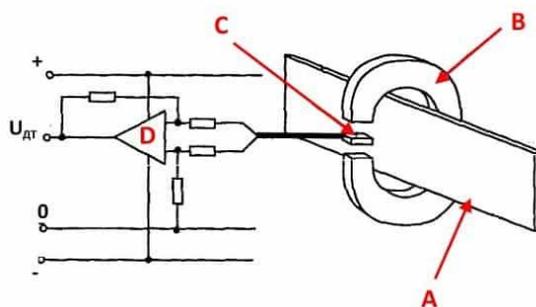
– униполярный – срабатывание происходит при определенной силе поля, и после ее снижения датчик переходит в изначальное состояние;

– биполярный – данный тип реагирует на полярность магнитного поля, то есть один полюс производит включение прибора, а противоположный – выключение.

Внешний вид цифрового датчика Холла.

Как правило, большинство датчиков представляет собой компонент с тремя выводами, на два из которых подается двух- или однополярное питание, а третий является сигнальным.

Примера конструкцию датчика тока на основе работы которого используется эффект Холла.



Обозначения:

А – проводник; В – незамкнутое магнитопроводное кольцо;

С – аналоговый датчик Холла; D – усилитель сигнала.

Рисунок 23 - Упрощенная схема датчика тока на основе эффекта Холла

Принцип работы такого устройства довольно прост: ток, проходящий по проводнику, создает электромагнитное поле, датчик измеряет его величину

и полярность и выдает пропорциональное напряжение УДТ, которое поступает на усилитель и далее на индикатор.

АеТ — Трансформаторы тока с разъемным сердечником, датчик Холла.

Трансформаторы тока с разъемным сердечником АеТ используется для бесконтактного измерения переменного тока в электрических системах. Датчик Холла АеТ преобразовывает входной сигнал переменного тока в выходной сигнал постоянного тока (4 - 20 мА)/ (0-10 В), который можно направить на универсальные измерительные приборы или контроллеры управления.

Трансформаторы тока АеТ изготавливаются на различные диапазоны входящего тока: (0-60) А, (0-400) А, (0-600) А, (0-800) А, (0-1000) А или другие по требованию заказчика.

Разъемные трансформаторы тока АеТ применяют в электроустановках переменного тока для питания токовых обмоток измерительных приборов и реле защиты, расширения пределов измерения приборов, изоляции их и реле от высокого первичного напряжения и решения других задач.

Датчики Хола АеТ также используются в преобразователях частоты, сварочных аппаратах, источниках бесперебойного питания (ИБП).

Основными достоинствами трансформаторов тока с разъемным сердечником АеТ являются:

- Удобство и простота монтажа благодаря разъемному сердечнику;
- Широкий диапазон входящего тока и выходных сигналов;
- Высокая точность и низкая стоимость;
- Доступны индивидуальные конструкции с различными характеристиками.

Как работают датчики и токовые клещи для измерения постоянного и переменного тока.

Для расширения функционала мультиметров, осциллографов и других электроизмерительных инструментов, применяются токовые датчики в форме клещей — токовые клещи. Для проведения измерений клещами, их смыкают в

обхват проводника с током, и таким образом, без разрыва цепи и без необходимости врезания в проводник какого бы то ни было шунта, осуществляют замер.

Это просто и удобно. Результат измерения прибор отображает на своей шкале в виде напряжения или тока пропорциональной измеренному току величины. Достоинство метода заключается еще и в том, что прибор может и не иметь достаточно широкого входного диапазона, тогда как датчик — клещи вполне в состоянии свободно принять проводник даже с очень большим током.

Проводник с измеряемым током не только остается целым, но и всегда гальванически изолирован от цепей измерительного прибора. Сам же прибор может иметь входную цепь с очень высоким импедансом и даже быть заземлен. Здесь нет необходимости как-то регулировать или включать и выключать питание цепи, параметры которой измеряются клещами, а значит в работе питаемого оборудования не будет простоев.

Среднеквадратичное значение тока в диапазоне частотных характеристик датчика можно измерить при совместном использовании токового датчика с мультиметром, способным измерять среднеквадратичные значения. В данном случае диапазон будет ограничен возможностями (шкалой) мультиметра. Лучшие результаты достигаются с датчиками обладающими широкой частотной характеристикой, минимальным фазовым сдвигом и высокой точностью.

Для измерения параметров переменного тока используются датчики, работающие по принципу обычного измерительного токового трансформатора. Любой трансформатор имеет первичную и вторичную обмотки, установленные на общем магнитопроводе. Первичное напряжение подается на первичную обмотку, в сердечнике создается переменный магнитный поток, наводящий во вторичной обмотке соответствующую коэффициенту трансформации ЭДС. Токи первичной и вторичной обмоток соотносятся как количества витков во вторичной и первичной обмотках.

Так и работает токовый датчик для измерения переменного тока. Магнитопровод в форме клещей замыкается вокруг проводника. Проводник — это первичная обмотка, состоящая из одного единственного витка, значение тока в котором необходимо узнать.

Ток во вторичной обмотке будет пропорционален току в проводнике и отличаться от него в число раз, равное коэффициенту трансформации, то есть во столько раз, сколько витков во вторичной обмотке. Количество витков во вторичной обмотке датчика обычно 1000, 500 или 100.

Если датчик имеет 1000 витков, то клещи имеют обозначение 1000:1мА или 1 А — это значит что 1 мА в показаниях прибора тождественен 1А в исследуемом проводнике. Или 1А на приборе — 1000 А в проводнике.

Соотношение может быть в принципе и другим: 3000:5 или 2000:2, в зависимости от назначения прибора. Однако в большинстве случаев клещи работают в паре с обычным мультиметром и соотношение, как правило, 1000:1.

При соотношении 1000:1мА или 1А показания прибора будут такими. При входном токе в 700А выходные показания окажутся 700мА, при 300А — 300мА и т. д. Так происходит потому, что выход датчика присоединяется к цифровому мультиметру в режиме измерения переменного тока с выбранным диапазоном значений.

Для определения действующей величины тока в проводнике, показания мультиметра умножаются на коэффициент датчика. Главное — чтобы измерительный прибор имел требуемое входное сопротивление.

Если измерительный прибор имеет вход только по напряжению (вольтметр или осциллограф), то он также может использоваться с токовым датчиком — клещами. Для этого токовый выход датчика необходимо согласовать с входом прибора, применив принцип измерительного трансформатора тока. Тогда показания переменного напряжения будут пропорциональны измеряемому переменному току.

Существуют токовые клещи, способные измерять не только переменный, но и постоянный ток. В таких клещах принцип их работы основан на эффекте Холла, когда параметры тока выводятся из параметров порождаемого им магнитного поля, воздействующего на полупроводник и инициирующего в нем эффект Холла.

Тонкая пластинка полупроводника устанавливается перпендикулярно магнитному полю тока, который требуется измерить. На пластинку в определенном направлении (допустим вдоль нее) подается ток возбуждения, который отклоняется во внешнем магнитном поле под действием силы Лоренца в поперечном направлении, и тогда в этом направлении на краях пластинки можно измерить ЭДС (напряжение Холла).

При постоянном токе возбуждения через пластинку, ЭДС Холла, как и индукция магнитного поля измеряемого тока, будут пропорциональны измеряемому току. То есть напряжение Холла соответствует току в проводнике, который проходит внутри магнитопровода датчика. Такая схема имеет большие преимущества перед устройствами на базе трансформатора тока.

Поскольку генерация ЭДС Холла не зависит от направления вектора магнитной индукции, а зависит только от его величины, датчик на основе эффекта Холла измеряет как переменный, так и постоянный ток. К тому же датчик абсолютно точно фиксирует фазу изменения (направления) магнитного поля, а значит пригоден для наблюдения формы тока.

Клещи с датчиком Холла бывают с одним либо с двумя встроенными датчиками. Различные модели клещей обладают широким динамическим диапазоном и частотной характеристикой, линейностью сигнала и высокой точностью.

Область применения таких клещей охватывает всё оборудование с постоянным током до 1500 А без необходимости встраивания дорогих шунтов. Переменный ток частотой в десятки килогерц также измерим при помощи

клещей на базе эффекта Холла, причем форма тока может быть самой разной, среднеквадратичное значение будет найдено.

Выходной сигнал в милливольтках, пропорциональный измеренному току, может быть легко воспринят большинством мультиметров, осциллографов и самописцев.

Датчики тока

Современные датчики тока подразделяются на следующие типы:

- резистивные датчики (токовые шунты);
- датчики тока на эффекте Холла;
- трансформаторы тока;
- волоконно-оптические датчики тока (ВОДТ) на эффекте Фарадея;
- пояс Роговского;
- токовые клещи.

Каждый обладает своими достоинствами и недостатками, которые и ограничивают сферу его применения.

Таблица 3- Сравнение по характеристикам

Характеристики	Токоизмерительные резисторы	Трансформаторы тока	Датчики Холла
Измеряемый ток	Постоянный	Переменный	Постоянный и переменный
Диапазон измеряемого тока	До 20 А	До 1000А	До 1000А
Погрешность измерений	(1)%	(5)%	(10)%
Гальваническая развязка	нет	есть	есть
Вносимые потери	есть	есть	Нет
Частотный диапазон	100 кГц	50/60/400 Гц	200 кГц
Требуют внешний источник питания	нет	нет	нет

Главным недостатком резистивного датчика тока является необходимость подключать датчик непосредственно в цепь измерения. Главным недостатком трансформатора тока является измерение только переменных токов промышленной частоты. Датчик тока на основе эффекта Холла обладает рядом преимуществ, которые заключаются в возможности измерения как постоянных, так и переменных токов, и малых размерах. К их главным достоинствам следует отнести отсутствие вносимых с систему потерь мощности, широкий диапазон частот. Недостатком является необходимость внешнего источника питания и зависимость от температуры.

3.2 Автоматическая система управления технологическим процессом (АСУТП)

Основной задачей автоматического управления процессом электролиза является исполнение следующих базовых функций:

- поддержание заданного напряжения на электролизёре путём регулирования междуполюсного расстояния;
- стабилизация криолитового отношения путём автоматизированной корректировки электролита фтористым алюминием.

Соответственно структура управления включает контур стабилизации приведенного напряжения U_{np} , контур поддержания оптимальной концентрации глинозёма и контур поддержания заданного криолитового отношения. Разрабатываются и более сложные системы, позволяющие исполнять не только указанные выше функции, но и поддерживать тепловой баланс и стабильность ванны с учётом объёма электролита, наличия осадка и др.

Другие функции АСУТП включают автоматическое сопровождение основных технологических операций: обработки ванн, выливки металла, гашения анодных эффектов, замены анодов (перестановки штырей) и др. В рамках этой системы производятся технологические измерения, в том числе

температуры электролита, уровней металла и электролита, перепадов напряжения в аноде и подине и др. Информация о текущих значениях этих параметров процесса вводится в состав информационного обеспечения системы и используются в целях контроля и управления технологией.

Современные системы управления строятся многоуровневыми, где все основные функции по стабилизации технологического режима электролизёров должны выполняться на нижнем уровне управления («уровень электролизёров»). Для этих целей используются программируемые логические контроллеры и шкафы управления электролизёрами (ШУЭ) для каждой одного или пары электролизёров, устанавливаемые в непосредственной близости от ванн (смотри рисунок 25). Контроллер, перемещая анод, регулирует МПР, а также управляет работой АПГ без вмешательства головного компьютера верхнего уровня.

Автоматическое сопровождение других операций (выливка металла, замена анодов, перетяжка рамы и др.) также производится на нижнем уровне управления с помощью ШУЭ.

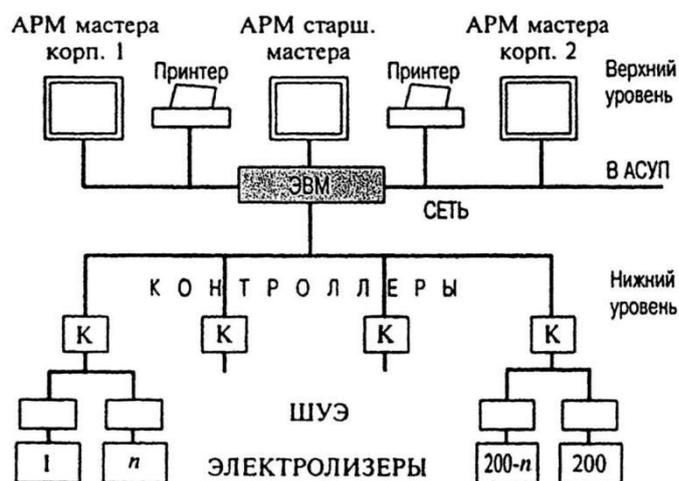


Рисунок 24 - Двухуровневая структура АСУТП электролиза

Таким образом, на нижнем уровне АСУТП строится непосредственное управление работой электролизёра. Здесь же производится индикация основных параметров, контролируется состояние оборудования и в случае необходимости обеспечивается ручное управление электролизёром.

Технические средства нижнего уровня включают панель управления с индикацией, блок приёма входной информации, вычислительный блок, а также блок формирования управляющих действий, способный управлять исполнительными механизмами электролизёра (приводом анодного устройства, катушкой клапанов АПГ, сигнализацией анодных эффектов и др.).

Все вычислительные операции на нижнем уровне выполняются промышленными контроллерами, позволяющими реализовать сложные алгоритмы управления электролизёрами.

Верхний уровень управления («уровень серии») предназначен для контроля и управления процессом электролиза в пределах серии, для ведения базы данных и подготовки сводок для автоматизированных рабочих мест (АРМов). Этот уровень обеспечивается ЭВМ, установленной на центральном пункте управления. Полученная информация используется для принятия решений по изменению технологических режимов и оптимизации процесса электролиза. На верхнем уровне осуществляется также связь АСУТП с системами управления предприятием и диспетчерской службой. Часть этой информации передаётся в вычислительный центр предприятия, являющийся фактически третьим уровнем системы управления производством.

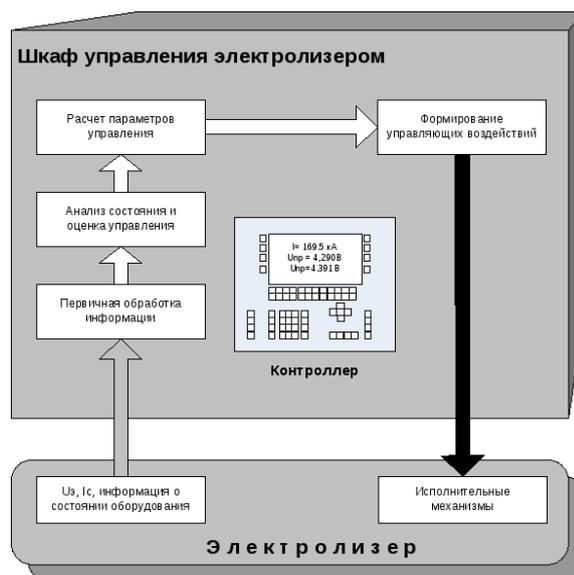


Рисунок 25 - Типовая алгоритмическая структура шкафа управления электролизёром

Использование многоуровневой структуры обеспечивает высокую надёжность функционирования АСУТП – если один шкаф управления вышел из строя, то автоматическое управление теряется только на одном-двух электролизёрах, а остальные продолжают работать в автоматическом режиме.

Одной из конечных целей управления процессом электролиза можно считать повышение выхода по току. Постановка задачи управления, нацеленная на получение максимума выхода по току, предусматривает создание математической модели объекта управления, включающей систему уравнений связи между соответствующими параметрами процесса. К этим параметрам можно отнести, главным образом, температуру электролита, концентрацию глинозёма в электролите, к.о. и междуполусное расстояние.

Со снижением температуры электролита (в том числе перегрева относительно температуры ликвидуса) уменьшаются потери алюминия с обратными реакциями и растёт выход по току. То же самое происходит с увеличением МПР из-за снижения контакта растворённого фтора с анодными газами. Что касается концентрации глинозёма, то задача эта многоплановая и решение её лежит в области малых концентраций глинозёма.

Следовательно, для получения наибольшего выхода по току система должна стабилизировать температуру и перегрев электролита на заданном уровне, поддерживать повышенные значения МПР, а концентрацию глинозёма удерживать в области низких значений. Однако реализация такого управления ограничена тем, что число активно регулирующих воздействий невелико: это перемещение анода, управление подачей глинозёма и фтористого алюминия.

В конечном счёте, общая задача управления электролизом может быть разделена на следующие операции:

- определение оптимальных значений концентрации глинозёма и поддержание их на заданном уровне с помощью программного обеспечения и технических средств управления АПГ;

- стабилизация к.о. на уровне заданного значения с помощью системы АПФ;

– стабилизация приведенного напряжения (напряжения электролизёра, приведенного к номинальному току серии) на уровне заданного значения, что сводится к традиционному управлению перемещением анодного массива; с течением времени в результате накопления металла, расходования анода при электролизе, выливки металла и др. значение МПР изменяется и функция АСУТП заключается в гибком регулировании МПР с учётом вывода напряжения на уровень заданного.

Техническое и программное обеспечение систем АСУТП постоянно обновляется и совершенствуется. В качестве примера можно привести для серии электролиза с обожженными анодами, которая имеет следующий состав уровней.

Состав нижнего уровня:

– блоки управления (БУ) – каждый БУ управляет двумя электролизерами и содержит в своём составе управляющий контроллер, силовую часть (пускатели двигателей) и выходные модули управления механизмами АПГ;

– контроллер тока и напряжения серии (КТНС) – служит для считывания, обработки, хранения и передачи на БУ параметров тока серии;

– концентратор сети корпуса (КСК) – служит для передачи информации от контроллеров на верхние уровни управления;

– технологическая сеть корпуса – объединяет все БУ, КТНС и КСК в корпусе оптоволоконными линиями связи.

Состав верхнего уровня:

– автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора – предназначено для круглосуточного контроля состояния электролизеров, управления технологическим процессом, выдачи звуковых сообщений и для других функций оперативного управления;

– АРМ клиента системы – включает в себя все функции АРМ оператора, а также позволяет анализировать информацию о работе корпуса,

включая просмотр и печать графиков, суммарной информации, стандартных и произвольных сводок;

- сервер базы данных (СБД) – хранит всю архивную (хранимую) информацию о работе электролизеров, позволяет просматривать и печатать графики, сводки за любой период времени (до трёх лет);

- сервер реального времени (СРВ) – хранит всю текущую информацию о работе электролизеров, обеспечивает передачу данных и команд в реальном времени с нижнего уровня на верхний и обратно, обеспечивает занесение поступающих с нижнего уровня данных в СБД.

В процессе работы АСУТП выполняет следующие функции управления производством, взаимодействия с технологическим персоналом, накопления, хранения и обработки информации.

Функции обработки технологической информации:

- сбор и первичная обработка дискретных и аналоговых сигналов;
- расчет технологических параметров работы электролизера (приведенное напряжение, средние значения рабочего и приведенного напряжения за различные периоды, расход электроэнергии по каждому электролизеру).

Функции взаимодействия с персоналом:

- индикация параметров работы электролизера или уставок регулирования на панели БУ и АРМ оператора, АРМ мастера;

- ручное управление оборудованием электролизера (переключение режима управления анодом «ручной»/«автоматический», включение/выключение режимов сопровождения регламентных операций, ручное перемещение анода) как с БУ, так и с АРМа оператора и АРМа мастера;

- изменение уставок и параметров управления электролизером с АРМ оператора, АРМ мастера и панели БУ;

- ввод измененных программ нижнего уровня и изменение их параметров с АРМ оператора.

Функции обмена и хранения информации:

- хранение информации о работе электролизеров в Блоках Управления не менее 3 суток;
- хранение информации на верхнем уровне (в Базе Данных) по всем электролизерам в течение месяца, а в виде архива – не менее 3 лет;
- передача текущей информации о работе системы: значений тока серии от КТНС к БУ, текущих технологических параметров от БУ и КТНС к АРМ оператора корпуса, команд оператора и мастера по управлению и изменению уставок от АРМов к БУ;
- передача суммарной информации о работе системы от БУ и КТНС на верхний уровень по мере накопления и по запросам.

Функции управления анодом:

- управление приводом анода в автоматическом режиме с выдачей определенных алгоритмами дискретных сигналов включения/выключения пускателей;
- ручное управление анодом с клавиатуры БУ и АРМ оператора и мастера;
- автоматическое поддержание МПР.

Функции сопровождения особых ситуаций и регламентных работ:

- прогнозирование и сопровождение анодных эффектов; обнаружение и устранение МГД–нестабильности; сопровождение снижения и отключения тока серии;
- сопровождение выливки металла, сопровождение замены анодов или перестановки штырей; сопровождение перетяжки анодной рамы; ручное устранение перекоса анодной рамы; сопровождение обработки;
- ручной и полуавтоматический режим (таймер) управления АПГ; поддержание концентрации глинозема (автоматический режим АПГ); управление частотой анодных эффектов; управление дозатором AlF₃ по алгоритму поддержания к.о.

Алгоритмы сбора и обработки технологической информации

Система считывает и обрабатывает аналоговые дискретные сигналы, характеризующие параметры работы оборудования электролизера. Все аналоговые сигналы считываются с периодом ≈ 55 мс, производится подавление помех и усреднение сигналов за 1 секунду. Сигнал тока серии передается по технологической сети в Блоки управления 10 раз в секунду.

По значениям рабочего напряжения электролизера, тока серии, уставок номинального тока серии и обратной ЭДС в Блоках Управления производится расчет приведенного напряжения электролизеров с периодом 1 раз в секунду. Значения рабочего и приведенного напряжения усредняются по 3 и 15 секундам, 1 и 3 минутам для использования в алгоритмах управления.

Алгоритмы взаимодействия системы с технологическим персоналом предусмотрены на всех уровнях системы. Блоки Управления предоставляют персоналу цеха электролиза возможность просмотра технологических параметров, ручного управления оборудованием и изменения уставок управления подключенных к ним электролизеров (с паролем ограничением доступа).

Изменение технологических параметров

При помощи клавиш «+», «—», «Ввод», расположенных под индикаторами на Блоках Управления, возможно изменение технологических параметров (уставок) управления электролизерами. С АРМ Оператора и АРМ Старшего Мастера возможно изменение уставок любого электролизера, группы электролизеров или корпуса в целом (например, уставок номинального тока).

Система проверяет соответствие вводимых уставок заданным границам. Перед изменением уставок с панели Блока Управления должен быть введен индивидуальный пароль (паролем защищаются и другие действия с БУ, например включение регламентных режимов). По каждому паролю существует перечень разрешенных/запрещенных действий.

Автоматическое поддержание МПР.

В процессе работы алгоритма автоматического поддержания МПР определяется текущая цель регулирования, состоящая из уставки напряжения и добавок, определяемых алгоритмами выливки, перетяжки, устранения МГД - нестабильности и др., а также отклонения усредненного за 3 минуты приведенного напряжения от заданного.

Если автоматическое поддержание МПР разрешено (не включены режим «Анод Руч.» или режимы сопровождения регламентных операций), нет запрета от алгоритма сопровождения анодного эффекта, а отклонение напряжения от цели выходит за заданные пределы dU , то определяется время и направление работы привода анода (подачи), необходимых для возврата напряжения к цели, и выдается соответствующая команда. После выполнения этой операции определяется ее результат (изменение напряжения) и корректируются расчётные параметры необходимого времени подачи. Параметры выполненной подачи заносятся в список событий и передаются на верхний уровень.

Управление АПГ и АПФ.

Управление питанием работает отдельно для дозатора и пробойника и осуществляется выдачей дискретных сигналов включения пневматических клапанов. Управление позволяет изменить уставку для каждого отдельного питателя при сохранении количества подаваемого глинозёма. Циклограмма срабатывания пневматических клапанов обеспечивает пробивку корки электролита пробойником и засыпку сырья дозатором в заданном количестве.

Алгоритмы, работающие для АПГ, индуцируют выдачу сигналов при помощи управляющих воздействий (команд) «Цикл питания». Текущее значение концентрации глинозёма вычисляется по косвенным данным - характеру изменения приведенного напряжения при изменении периода АПГ, градиенту напряжения, т.е. его изменению в единицу времени. Алгоритм попеременно увеличивает или уменьшает текущий период срабатывания АПГ, поддерживая концентрацию глинозёма в заданных пределах.

Дозатор фтористых солей работает по принципу таймера. Уставка срабатывания рассчитывается на основании сравнения заданного криолитового отношения, вводимого вручную с АРМ Мастера или АРМ Оператора, и реального значения к.о.

Управление частотой анодных эффектов

При работе алгоритма поддержания концентрации глинозема не планируеммые анодные эффекты возникают редко. С периодом, заданным уставкой времени между штатными АЭ, включается алгоритм «Поиск Анодного Эффекта», ставящий своей целью искусственно вызвать на ванне штатный анодный эффект. Работа АПГ до возникновения АЭ при этом запрещается. Время работы алгоритма поиска АЭ ограничивается с верхнего уровня. При превышении заданного времени система сигнализирует о прекращении работы алгоритма. По характеру изменения приведенного напряжения алгоритм прогнозирует наступление анодного эффекта за (1,0-1,5)ч с высокой вероятностью. При прогнозе АЭ запрещается автоматическое поддержание МПР.

При возникновении анодного эффекта включается сигнализация АЭ и система голосового оповещения в корпусе. На ваннах, оснащенных АПГ, выдается заданное количество полных циклов питания. Запрещаются автоматическое поддержание МПР и концентрации, регламентные режимы. После снижения напряжения ниже заданного значения, анодный эффект считается погашенным.

После гашения вычисляются параметры анодного эффекта: максимальное и среднее напряжение, продолжительность анодного эффекта, расход электроэнергии. Эти параметры, а также количество повторных вспышек, тип АЭ (штатный/самопроизвольный) и все действия системы и персонала в течение АЭ протоколируются и передаются на верхний уровень.

По истечении заданного времени после гашения АЭ включается запрещенное при его возникновении автоматическое поддержание МПР и концентрации, разрешаются режимы регламентных работ.

Обнаружение и устранение МГД- нестабильности

При отсутствии на электролизере анодных эффектов и регламентных работ система вычисляет амплитуду и период колебаний приведенного напряжения на электролизере. При превышении в течение заданного времени амплитуды порогового приведенного напряжения фиксируется факт наступления на ванне МГД-нестабильности (шумов), выдается соответствующий сигнал на верхний уровень и, при разрешенном автоматическом поддержании МПР, включается алгоритм устранения МГД-нестабильности.

Устранение МГД-нестабильности производится путем корректировки напряжения на электролизере. Для этого поэтапно (заданными ступенями) увеличивается рабочее напряжение. Если по истечении установленного времени МГД-нестабильность не исчезает, то поступает команда подъёма анода на следующую ступень. Если заданное количество ступеней не приводит к устранению МГД- нестабильности, принимается решение о невозможности дальнейшего выполнения этого алгоритма, включается аварийная сигнализация, выдается соответствующее сообщение на верхний уровень и алгоритм отключается. В таком случае необходимо более детальное обследование электролизёра и установление причин МГД-нестабильности .

Если на какой-либо ступени МГД-нестабильность исчезает, то по истечении определенного времени начинается поэтапное ступенчатое снижение напряжения и приближение его к значению уставки. После этого сведения о МГД-нестабильности и ее устранении протоколируются и передаются на верхний уровень.

Сопровождение регламентных работ

Замена анодов/перестановка штырей

Режим сопровождения этих операций включается нажатием клавиши на панели управления БУ и индицируется загоранием светодиода. На время замены/перестановки запрещаются автоматическое поддержание МПР и концентрации глинозёма, контроль и устранение МГД - нестабильности.

Сообщение о включении режима передается на верхний уровень. По окончании замены/перестановки режим отключается повторным нажатием клавиши, после чего производится изменение уставки напряжения с последующим поэтапным уменьшением её до целевого уровня.

Сопровождение обработки

В соответствии с заданным графиком обработок на электролизерах за определенное время до начала обработки и на заданную продолжительность запрещаются автоматическое поддержание МПР, концентрации глинозема в электролите и работа АППГ в автоматическом режиме.

Перетяжка анодной рамы

+В соответствии с заданным графиком на электролизёрах производится подъём анодной рамы («Перетяжка») с нижнего уровня на верхний. Автоматическое поддержание МПР при этом запрещается.

3.3 Модернизация

Основным требованием данной модернизации является приведение оборудования в полное соответствие международным стандартам, в частности, внедрение шины обработки данных для выборочных аналоговых значений, соответствующей стандарту МЭК 61850-9-2 LE рисунок 26.

Компания Powerlink присудила контракт на модернизацию первой подстанции iPASS концерну АББ. Этот проект представляет собой первое в мире коммерческое применение шины обработки данных, соответствующей стандарту МЭК 61850-9-2 LE. Внедрение такой шины уже идёт полным ходом.

1 Шина электростанции и обработки данных в подстанциях

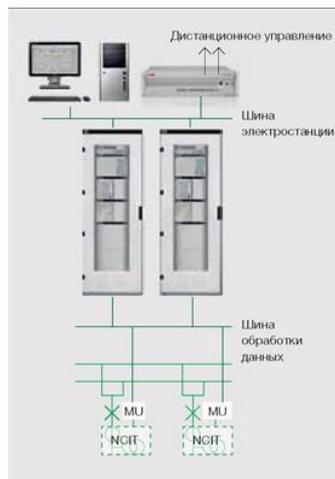


Рисунок 26 - Шина обработки данных, соответствующая стандарту МЭК 61850-9-2 LE

Опубликование международного стандарта МЭК 61850 стало новой главой в описании функциональности и коммуникаций подстанции. Впервые появился стандарт, поддерживающий подлинную совместимость между устройствами различных производителей, обладающий дизайном, соответствующим требованиям даже завтрашнего дня. Этот стандарт быстро завоевал признание на рынке. Оснащённых совместимой с МЭК 61850 шиной электростанции, приблизительно в 70 стран мира.

После успешного введения стандарта МЭК 61850 на уровне электростанции, его важность в горизонтальном обмене данными с использованием шины обработки данных быстро растёт. Дополняя возможность стандарта определять все необходимые обмены критическими по времени сигналами между процессом и устройствами подстанции. Стандартизация характеристик неустойчившегося напряжения и коммуникационных интерфейсов.

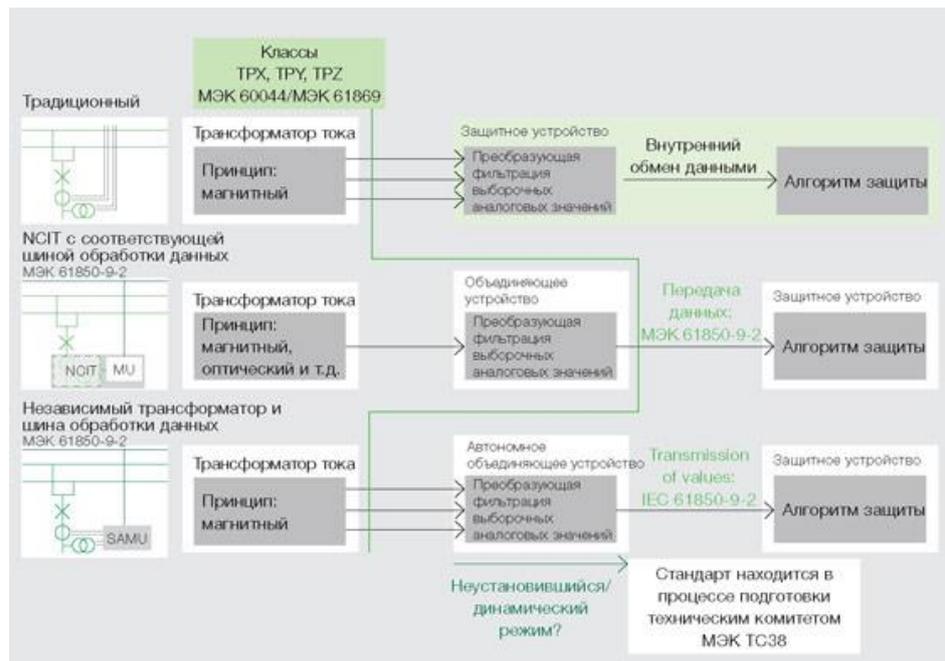


Рисунок 27- Комбинированные NCIT тока и напряжения ELK-CP3 с шиной обработки данных МЭК 61850-9-2 LE

Стандарт МЭК 61850-9-2 требует, чтобы аналоговая выборка передавалась так называемыми объединяющими устройствами (MU). MU коррелирует и объединяет аналоговые данные, поступающие от отдельных фаз или точек измерений в подстанции прежде, чем передать их через Ethernet, откуда доступ к данным могут получать устройства защиты и управления.

Стандарт МЭК 61850-9-2 [11] позволил осуществлять стандартизованный обмен сигналами от NCIT, поддерживая очевидные преимущества технологии NCIT, включающие самый высокий уровень точности по всему диапазону измерений, компактный дизайн и значительно повышенную безопасность по сравнению с традиционным оборудованием.

Международная Группа Пользователей IEC разработала директиву по внедрению стандарта МЭК 61850-9-2. Директива предоставляет собой дополнительную информацию и параметры по внедрению стандарта. Этот документ обозначается как МЭК 61850-92 LE (сокращённая редакция) и является преобладающим среди всех сегодняшних применений.

Поскольку объединяющие устройства NCIT создаются специально под конкретный тип NCIT, они формируют единый блок, который можно

совместно разрабатывать и испытывать на соответствие типу, позволяя определять режим работы всей измерительной цепи на порте МЭК 61850.

Это отличает их от автономных объединяющих устройств (SAMU), взаимодействующих с традиционными СТ 6 и VT 7. SAMU выбирают аналоговые сигналы и передают их на шину обработки данных. Преобразование аналоговых данных в цифровую выборку неизбежно влияет на переходные характеристики измерительной цепи. Этот динамический режим работы SAMU не регламентируется стандартом МЭК 61850. Работа в этом направлении проводится соответствующими техническими комитетами и рабочими группами МЭК и Международного совета по большим электрическим системам (CIGRE). Определение будет внесено в текст будущего международного стандарта для измерительных трансформаторов МЭК 61869.

Совершенствование проверенной на практике технологии датчиков с помощью самой современной шины обработки данных.

Использование оптоволоконных сетей не только устраняет громоздкие медные кабели, но и увеличивает эксплуатационную безопасность.

Footnotes:

– Международная Группа Пользователей USA является некоммерческой организацией, занимающейся оказанием помощи пользователям и продавцам в практическом применении стандартов в различных отраслях промышленности согласно соответствующим требованиям.

– СТ: трансформатор тока

– VT: трансформатор напряжения

Все входящие в состав системы устройства защиты и управления будут подсоединены к шине обработки данных МЭК 61850-9-2 LE . MU будут взаимодействовать с существующим комбинированными датчиками тока и напряжения через новую электронную начинку датчика. Таким образом, можно свести к минимуму необходимые изменения в первичном

оборудовании. Система автоматизации подстанции для полуторной схемы коммутации, схожая с системой, использованной при модернизации вторичной системы в Австралии, изображена на рис. 28. Используя комбинированный дублирующий дизайн NCIT производства АББ, для удовлетворения дополнительных требований заказчика была применена вторая полностью независимая система объединяющих устройств и защитных IED.

Чтобы продемонстрировать пригодность компонентов и доказать верность концепций, которые будут использоваться в проекте Powerlink, были приняты дополнительные меры по проверке новой технологии.

Ряд экспериментальных установок, оснащённых NCIT и IED, соединённых с шиной обработки данных, был запущен в эксплуатацию с целью приобретения опыта в применении новой технологии в условиях работы настоящей подстанции. Среди этих установок был модернизированный фидер в одной из подстанций компании Powerlink на 275 кВ с новой электроникой датчика, объединяющими устройствами и защитными IED серии Relion®. Помимо помощи заказчикам в приобретении важного опыта и уверенности, экспериментальные установки также предоставили жизненно важную информацию о долгосрочной стабильности и рабочих режимах экспериментального оборудования по сравнению с традиционными или нетрадиционными устройствами.

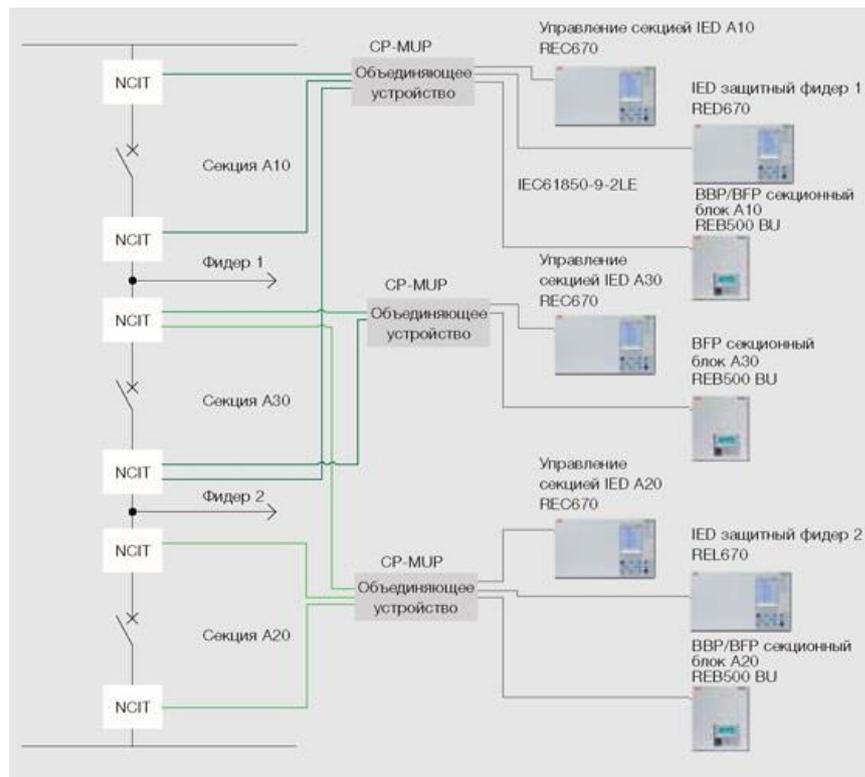


Рисунок 28- Система автоматизации подстанции для распределительных устройств с полуторной схемой коммутации с одной или двумя дублирующими системами защиты

Кроме того, на испытательном полигоне концерна АББ была проведена проверка концепции проекта модернизации вторичной системы компании Powerlink при участии экспертов обеих компаний. Особое внимание было уделено поведению системы при различных сбоях.

Система сработала надёжно, в соответствии со спецификацией; ни при каких условиях не наблюдалось чрезмерной реакции или подачи неверных сигналов на отключение. Такие ошибочные сигналы, произошли они в реальной ситуации, могли привести к аварийному отключению электросети.

Во время моделирования различных возможных условий сбоев постоянное и тщательное наблюдение над всеми компонентами системы доказало свою важность в обеспечении возможности быстрой и точной идентификации ошибок. Непрерывное наблюдение со стороны системы решительно уменьшает потребность в периодических работах по техобслуживанию и чрезвычайно упрощает обслуживание, проводимое

персоналом подстанции, благодаря указанию точного участка, на котором произошёл сбой.

3.4 Испытания и техническое обслуживание устройств с шиной обработки данных

Замена медных проводов на оптоволоконные кабели и описание передаваемой информации согласно стандарту МЭК 61850 открывают новые возможности для интеллектуальных инструментов тестирования, применяемых в целях технической поддержки при вводе в эксплуатацию и обслуживании систем автоматизации подстанции.

На рынке интегрированный инструмент для тестирования ITT600 9, содержащий полный набор инструментов, помогающих пользователям извлечь максимальную выгоду из преимуществ применения стандарта МЭК 61850.

3.6 Будущие тенденции

Используя весь потенциал концепции шины обработки данных и его определения в стандарте МЭК 61850, двоичные данные могут также передаваться через оптическую сеть связи между первичным процессом и IED защиты и управления. Помещая модули двоичного ввода и вывода близко к первичному процессу, можно убрать практически весь медный кабель, что, в свою очередь, даст дополнительные преимущества, такие как возможность электрически изолировать системы на уровнях процесса и устройств, а также непрерывный мониторинг всех сигналов.

Комбинируя самое современное применение стандарта МЭК 61850 на уровне как всей электростанции, так и на уровне процесса с обширным опытом в области технологии NCIT, рассчитанные на требования завтрашнего дня предложения, чтобы удовлетворить спрос на более надёжные,

эффективные и безопасные решения, максимально увеличивая преимущества и стоимость активов заказчика.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ (НИР) проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

Цель диссертации: практическое обоснование модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров. Что в свою очередь позволит разгрузить метрологический отдел возложив обязанность контроля системы отслеживания метрологических данных разъемных датчиков тока.

В ходе выполнения работы были проведены: научный поиск по тематике датчик системы контроля технологических параметров электролизеров, теоретические разработки эксперимента, разработка алгоритма эксперимента.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Сегментировать рынок по разработке эквивалентной нагрузке можно по следующим критериям: тип потребителя и синтез разъемного датчика. Потребителем может выступать научная лаборатория, которой требуется поверенное СИ; машиностроительная организация для проведения контрольных операций; а также юридическое лицо, использующее как рабочее оборудование.

Рисунок 4 – Карта сегментирования рынка

		Синтез разъемного датчика	
		Поверка	Калибровка
Потребитель	Научная лаборатория	+	+
	Юридическое лицо	+	
	Машиностроительные организации	+	

По итогам сегментирования, рисунок, определены основные сегменты данного рынка. Поверка может использоваться научными лабораториями, юридическое лицо, машиностроительные организации. Калибровка подходит для научных лабораторий.

Для разработки разъемного датчика тока было предложено рассмотреть диаграмму Исикавы разработки датчика.



Рисунок 29– Даграмма Исикавы «Разработки датчика»

4.2 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 разрабатываемый объект. Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки и определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5. В таблице представлены следующие показатели конкурентоспособности методов устранения вибрация: (П), контроль вибрации путем установки дополнительных датчиков (З), устранении вибрации путем балансировки роторов (Х), установка дополнительного оборудования по контролю вибрации. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – слабая позиция, а 5 – сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бп	Бз	Бх	Кп	Кз	Кх
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда	0,25	5	5	3	0,65	0,65	0,6
2.Удобство в эксплуатации	0,22	5	5	3	0,5	0,5	0,34
3.Энергоэкономичность	0,25	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Надежность	0,12	3	3	5	0,38	0,38	0,7
5.Простота эксплуатации	0,24	5	5	2	0,6	0,6	0,26

Продолжение таблицы 5

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	2	0,35	0,28	0,14
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	2	5	0,21	0,14	0,35
3. Цена	0,08	5	4	3	0,4	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,55	3	3	5	0,15	0,15	0,25
Итого	2,1	38	35	31	3,64	3,42	3,18

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (12)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_K = \frac{КП}{КЗХ_{ср}} = \frac{3,64}{(3,42+3,18)/2} = 1,10 \quad (13)$$

Так как $k_K > 1$, следовательно, предложенный метод анализа и контроля устранения вибрации конкурентоспособен. Небаланс роторного оборудования является одной из основных проблем возникновения вибрации.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (14)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

Так как $k_K > 1$, следовательно, предложенный метод анализа и контроля разработка разъемного датчика тока конкурентоспособен.

4.3 Оценка готовности проекта к коммерции

Далее была проведена оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня собственных знаний для ее проведения. Для этого была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта. Форма представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	5
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	5

Продолжение таблицы 6

12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	5
ИТОГО БАЛЛОВ		46	57

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (15)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации данного НТИ находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

4.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

- Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

- Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

- Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

- Организация собственного предприятия.

– Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

– Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

– Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как торговля патентными лицензиями. Так как лицензиар не вкладывает собственных средств в производство, следовательно, не несет расходов по сбыту и т.д.

4.5 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР
	3	Изучение материалов по теме вибрации	И
Выбор направления исследований	4	Анализ литературных разработок разъемного датчика тока	И
	5	Выбор вида разъемного датчика тока	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение ряда экспериментов по получению данных с датчика на ПК оператора	И, НР
	7	Анализ полученных результатов	И, НР

Продолжение таблицы 7

Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И
--------------------------------	---	------------------------------	---

В рамках планирования научного проекта был построен календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	1	25.02.2022	26.02.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
2	Календарное планирование работ по теме	2	1.03.2022	2.03.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
3	Изучение материалов по теме разъемного датчика тока	10	3.03.2022	12.03.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
4	Анализ литературных источников по разработке разъемного датчика тока	10	14.03.2022	24.03.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
5	Выбор вида разъемного датчика тока	5	25.03.2022	29.03.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
6	Проведение ряда экспериментов по получению данных	25	30.03.2022	23.04.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
7	Анализ полученных результатов	30	26.04.2022	25.05.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
8	Составление отчета по работе	6	26.05.2022	31.05.2022	Киселева Н.С. Леонов С.В.
ИТОГО:		89			

Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 9 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 9 – Календарный план-график проведения работ

Код работ ы	Вид работ	Исполните ли	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ													
				феврал ь			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, инженер	1			■											
2	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	3			■	■										
3	Изучение материалов по теме разъемного датчика тока	Инженер	10				■	■	■								
4	Анализ литературных источников по разработки разъемного датчика тока	Инженер	10					■	■	■							
5	Выбор вида разъемного датчика тока	Научный руководитель, инженер	5						■	■							
6	Проведение ряда экспериментов по получению данных	Научный руководитель, инженер	25							■	■	■					
7	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, инженер	30										■	■	■		
8	Составление отчета по работе	Инженер	6														■

■ – инженер, ■ – научный руководитель.

Таким образом, был построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

4.6 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта требуется оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 10.

Таблица 10– Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнения
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100 %
Составление и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	НР – 100 % И – 10 %
Подбор и изучение материалов по тематике аттестации	НР, И	НР – 25 % И – 100 %
Разработка календарного плана	НР	НР – 100 %
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 25 % И – 100 %
Разработка теоретических основ метода	НР, И	НР – 100 % И – 100 %
Разработка алгоритма	НР, И	НР – 100 % И – 50 %
Реализация алгоритма, проверка, опробование	И	И – 100 %
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100 %
Оформление графического материала	И	И – 100 %
Подведение итогов	НР, И	НР – 50 % И – 100 %

4.7 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;

– опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- вероятностный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ тож применяется вероятностный метод по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (16)$$

где t_{min} –минимальная трудоемкость работ, чел/дней;

t_{max} –максимальная трудоемкость работ, чел/дней.

Для выполнения перечисленных в таблице 6 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Далее необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (17)$$

где $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (18)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

ТК – коэффициент календарности 1,47.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (19)$$

где ТКАЛ – календарные дни (ТКАЛ = 365);

ТВД– выходные дни (ТВД = 88);

ТПД– праздничные дни (ТПД = 30).

В таблице 11 приведены данные о длительности этапов работ и числе исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 11– Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни				Длительность работ, чел/день			
		tmin	tmax	toж		ТРД		ТКД	
						НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	1	2	1,4		1,68		2,47	
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	2	5	1,4	1,8	1,68	2,16	2,47	3,18
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	30	60	1,4	40,6	1,68	48,72	2,47	71,62
Разработка календарного плана	НР	1	2	1,4		1,68		2,47	
Обсуждение литературы	НР, И	2	5	1,4	1,8	1,68	2,16	2,47	3,18
Разработка теоретических основ датчика	НР, И	15	20	1,4	19,2	1,68	23,04	2,47	33,87
Разработка алгоритма	НР, И	15	25	1,4	19,4	1,68	23,28	2,47	34,22
Реализация алгоритма	И	25	40		31		37,2		54,69
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	20	30		24		28,8		42,34
Оформление графического материала	И	5	10		7		8,4		12,35

Продолжение таблицы 11

Подведение итогов	НР, И	5	10	1,4	5,8	1,68	6,96	2,47	10,23
Итого:				11,2	150,6	13,44	180,72	19,76	265,68

4.7.1 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле (20).

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (20)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 9);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (21).

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad (21)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

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 56 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер – ассистент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни и праздничные дни)	77	118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	232	223

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле (22).

$$З_m = З_{ок} * К_r; \quad (22)$$

где $З_{ок}$ – размер оклада для доцента 35 111 руб, инженер– ассистент 22 695 руб;

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

Таблица 13 –Расчетзаработнойплаты

Исполнитель	$З_{ок}$, руб.	$к_r$	$З_m$, Руб	$З_{дн}$, руб.	$Т_r$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
НР	35 111	1,3	45 644,3	2046,12	13,44	27499,85
И	22 695	1,3	29 503,5	1481,79	180,72	267789,08
Итого:						295288,93

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили

$$З_{осн} = 295288,93 \text{руб.}$$

4.7.2 Дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (23).

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (23)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Результаты расчета дополнительной заработной платы представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3
Научный руководитель	346,6		
Инженер - ассистент	1512,8	1954,3	

4.7.3 Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$\text{ССОЦ} = \text{КСОЦ} \cdot \text{СОСН}, \quad (24)$$

где КСОЦ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30 % от затрат на заработную плату и включает в себя:

- отчисления в пенсионный фонд;
- на социальное страхование;
- на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления из заработной платы составили:

$$\text{ССОЦ} = 0,3 \cdot 295288,93 = 88586,68 \text{ руб.} \quad (25)$$

4.7.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$\text{ЭОБ} = \text{РОБ} \cdot \text{ЦЭ} \cdot t_{\text{ОБ}}, \quad (26)$$

где ЭОБ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

РОБ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тарифная цена за 1 кВт·ч, ЦЭ = 6,59 руб./кВт·ч;

tОБ – время работы оборудования, ч.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для ТРД таблицы 7 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов. Основное использованное оборудование: персональный компьютер (использовался все время).

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$Р_{ОБ} = Р_{УСТ.ОБ} \cdot КС, \quad (27)$$

где Р_{УСТ.ОБ} – установленная мощность оборудования, кВт;

КС – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников.

Для технологического оборудования малой мощности КС = 1.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования tОБ, ч	Потребляемая мощность РОБ, кВт	Затраты ЭОБ, руб.
Персональный компьютер	1922	0,2	2533,2
Итого:			2533,2

Общие затраты на электроэнергию составили 2533,2руб.

4.7.5 Расчет накладных расходов

В статье «Накладные расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Накладные расходы составляют – 16 % от единовременных затрат на выполнение технического продукта и вычисляются по формуле:

$$СНАКЛ = (СОСН + ССОЦ) \cdot 16 \% / 100 \% \quad (28)$$

Накладные затраты составили:

$$СНАКЛ = (295288,93 + 88586,68) \cdot 16 / 100 = 61420,1 \text{руб.} \quad (29)$$

4.7.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта. Смета затрат представлена в таблице 16.

Таблица 16– Смета затрат на разработку проекта

Наименование статьи затрат	Затраты, руб.
Основная заработная плата	295288,93
Отчисления в социальные фонды	88586,68
Расходы на электроэнергию	2533,2
Работы, выполняемые сторонними организациями	0
Накладные расходы	3482,14
Итого:	389891

4.7.7 Расчет прибыли

Прибыль составляет 20 % от расходов на разработку, что равно 78167,978руб.

4.7.8 Расчет налога на добавленную стоимость

Налог на добавленную стоимость (НДС) составляет – 20 % от суммы затрат на разработку. Сумма НДС составила 93801,57 руб.

4.7.9 Полная смета затрат на выполнение НИР

Полная смета затрат приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Полная смета затрат

Наименование статьи затрат	Затраты, руб.
Основная заработная плата	295288,93
Отчисления в социальные фонды	88586,68
Расходы на электроэнергию	2533,2
Накладные расходы	61420,1

Продолжение таблицы 17

Общая себестоимость проекта	390839,89
Прибыль	78167,978
НДС	93801,57
Цена разработки	1011587,288

Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект проекта заключается в следующем:

– снижение затрат на определение характеристик разработки разъемного датчика тока для электролиза вследствие снижения трудоемкости работ;

– снижение стоимости оборудования для проведения эксперимента.

Количественная оценка достигаемого эффекта будет возможна по результатам опытно-промышленной эксплуатации соответствующего оборудования.

4.7.10 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень (НТУ) характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня КНТУ по формуле:

$$K_{HTY} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (30)$$

где R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

p_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Количественно НТУ проекта выражается на основе величин, приведенных в таблицах 17 – 20.

Таблица 17– Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Значение весового коэффициента R_i
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,1
Возможность реализации	0,5

Таблица 18 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 19 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 20 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Количественная оценка признаков НИР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР
Уровень новизны	Новая
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программная реализация)
Возможность реализации	В течение первых лет
Масштабы реализации	Отрасль

Баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$КНТУ = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 2,4 + 0,6 + 5 = 8. \quad (31)$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 13, проект «Модернизация автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров» имеет высокий уровень научно-технического эффекта.

Таблица 22 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Обоснование оценки признаков НИР приводится в таблице 23.

Таблица 23 – Сводная таблица оценки НТУ НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Новая	6	Предложен, реализован и опробован неиспользуемый ранее метод. Подтверждена эффективность метода
Теоретический уровень	0,1	Разработка способа	6	Разработан и программно реализован алгоритм получения и обработки данных
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Проект близок к внедрению в производство

4.8 Выводы к разделу

В данном разделе были рассмотрены такие вопросы как оценка коммерческого потенциала НИ, планирование и формирование бюджета научных исследований, а также определение ресурсной и экономической эффективности исследования.

Были определены потенциальные потребители результатов исследования: научная лаборатория, промышленная компания и физическое лицо. Проанализированы конкурентные технические решения. Научное исследование состоит из 10 работ, которые выполняются двумя исполнителями – научным руководителем и студентом. Определена трудоемкость выполнения работ, которая составила 271 день. Разработан график проведения научного исследования, а также рассчитан бюджет научно-технического исследования.

Определены интегральный финансовый показатель, интегральный показатель ресурсоэффективности и сравнительная эффективность проекта. Несмотря на то, что данное научное исследование оказалось не самым эффективным, необходимо учитывать то, что оборудование, применяемое для данной разработки, используется не только в данном проекте.

5 Социальная ответственность

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий в которых будет реализовываться модернизацию автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров.

Методика разрабатывается для инженера по метрологии, который будет использовать её при аттестации испытательного оборудования. Данная методика позволит аттестовать испытательное оборудование на соответствие предъявляемым требованиям. Аттестованное испытательное оборудование позволит увеличить выпуск программируемых логических контроллеров Элсима.

Рабочим местом для разработки методики является учебная аудитория, которая находится в НИ ТПУ, рабочей зоной является стол с персональным компьютером.

В данном разделе указаны такие вредные факторы, оказывающие негативное влияние на организм человека, как повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенный уровень шума на рабочем месте, умственное перенапряжение, монотонность труда, недостаточная освещённость рабочей зоны, статические физические перегрузки. А так же рассмотрены такие опасные факторы как электрический ток, короткое замыкание и статическое электричество. Так же указан характер вредного воздействия данных факторов на организм и последствия их длительного или чрезмерного воздействия.

Негативное воздействие на литосферу происходит при утилизации: компьютера и периферийных устройств (принтеры, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны); люминесцентных ламп; макулатуры.

Так же были рассмотрены предполагаемые ЧС: пожары, грозы, ураганы, оползни. В данном разделе рассмотрим наиболее вероятное ЧС – пожары, и способы их устранения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно трудовому кодексу РФ [16] следует, что продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 ч при пятидневной неделе. Продолжительность работы за компьютером не должна превышать 6 ч за смену и должны делаться перерывы от 10 до 15 мин через промежутки времени от 45 до 60 мин работы. Перерывы сопровождаются проветриванием и гимнастикой для глаз и тела.

Согласно ТООИ Р–45–084 [17] высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах от 680 до 800 мм. При отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна быть 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм. Рабочий стул должен быть подъемно–поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Рабочее место в учебной аудитории для разработки методики аттестации соответствует заявленным параметрам.

5.2 Производственная безопасность

При разработке установки для моделирования дисбаланса могут возникнуть следующие вредные факторы:

- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда);

- статические физические перегрузки.

При разработке установки для моделирования дисбаланса могут возникнуть следующие опасные факторы:

- электрический ток;
- короткое замыкание;
- статическое электричество.

В таблице 24 приведены опасные и вредные факторы, с которыми может столкнуться студент, при проведении работ.

Таблица 24 – Опасные и вредные факторы, возникающие при разработке документации

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [22]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» [19] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы» [31]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [18]

Продолжение таблицы 24

Умственные нагрузки; Монотонность работы.	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [32] МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [21]
Опасность поражения электрическим током, короткое замыкание; статическое электричество	ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность [25] ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность [29] ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [20]

5.2.1 Анализ вредных факторов

5.2.1.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте.

В учебной аудитории применяется совмещенное освещение. Основным источником освещения – шесть потолочных светильников с зеркальными

решетками, в каждом по четыре люминесцентные лампы типа TL-D с мощностью 60 Вт. Светильники имеют квадратную форму со стороной 0,54 м и создают равномерное освещение всей аудитории.

В соответствии с СП 52.13330.2016[18] в помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк.

Данные для расчета:

- размеры помещения: $A = 3,16$ м; $B = 6,9$ м; $H = 2,9$ м;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;
- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 30$ %;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{пот} = 70$ %;
- коэффициент отражения пола $\rho_{пол} = 20$ %;
- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_z = 1,5$;
- световой поток одной лампы $\Phi_l = 1150$ лм.

Определяем площадь помещения по формуле (32):

$$S = A \cdot B, \quad (32)$$

где S – площадь учебной аудитории, м²;

A – длина учебной аудитории, м, $A=3,16$ м;

B – ширина учебной аудитории, м, $B= 6,9$ м.

Получаем, что площадь учебной аудитории $S=21,9$ м².

Определяем расчётную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью по формуле (33):

$$h=H- h_p-h_c, \quad (33)$$

где H –высота помещения, $H= 2,9$ м;

h_p –расстояние от пола до рабочей поверхности стола, $h_p=0,8$ м;

h_c –расстояние от потолка до светильника, $h_c=0,1$ м.

Получаем, что $h=2$ м.

Далее определяем индекс помещения i по формуле (34):

$$i = S/H \cdot (A + B), \quad (34)$$

Получаем индекс помещения $i=0,75$.

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , рси рппримем $\eta=36\%$.

Рассчитаем световой поток, создаваемый каждой из ламп, по формуле (35):

$$\Phi = E \cdot S \cdot z \cdot k / n \cdot \eta, \quad (35)$$

где Φ – световой поток одной лампы, $\Phi=1150$ лк;

E – минимальная освещенность, лк, $E = 200$ лк;

S – площадь помещения.м², $S= 21,9$ м²;

z – поправочный коэффициент, $z = 1,1$;

k – коэффициент запаса, $k=1,5$;

η – коэффициент использования осветителей, $\eta = 36 \%$;

n – число светильников в помещении.

Из формулы (35) выразим число светильников в помещении и получим формулу (36):

$$n = E \cdot S \cdot z \cdot k / \Phi \cdot \eta \quad (36)$$

Подставив нужные значения в формулу, получаем $n=18$.

18 светильников будет достаточно для обеспечения минимальной требуемой освещенности в соответствии с требованиями СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 в учебной аудитории.

Для расчета электрической мощности установки воспользуемся формулой (37):

$$P = n \times n^* \times w, \quad (37)$$

где n – количество светильников = 18;

n^* – количество ламп в одном светильнике = 4

w = мощность одной лампы = 60 Вт.

Подставив нужные значения в формулу, получаем $P= 4320$ Вт.

5.2.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный уровень шума на рабочем негативно сказывается на человеке: снижается внимания, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, происходит замедление скорости реакций и т.д. Как результат, производительность труда падает и снижается качество выполняемой работы.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83[19]в учебной аудитории, предназначенной для работы с ПЭВМ и для теоретических работ, предельно допустимый уровень звука не должен превышать 50 дБ.

Основные источники шума в аудитории – компьютер и люминесцентные лампы.

Инженер по охране труда НИ ТПУ провел измерения уровня шума в учебной аудитории. Измерения проводились цифровым шумомером Testo 816. Уровень шума не превысил предельно допустимого значения.

5.2.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматривается персональный компьютер.

Степень и характер воздействия электромагнитного поля на организм человека зависят: от интенсивности излучения; частоты колебаний; поверхности тела, облучаемого; индивидуальных особенностей организма; режима облучения (непрерывный или прерывистый) продолжительности воздействия; комбинированного действия других факторов производственной среды.

Ввиду того, что используется жидкокристаллический монитор, то контроль мягкого рентгеновского излучения не осуществляется. Допустимые значения излучения показаны в таблице 4 с учётом ГОСТ 12.1.006-84 [20].

Таблица 25 – Временно допустимые уровни (ВДУ) электромагнитного поля при работе с компьютером

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз. Также должна быть учтена схема размещения рабочих мест с компьютерами: расстояние между рабочими местами – 2 м, между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м. Компьютер, на котором проводилось выполнение исследования, оснащен LCD монитором, напряженность ЭМП которого менее 2,5 В/м, что соответствует норме.

5.2.1.4 Нервно–психические перегрузки

Нервно–психические перегрузки это в первую очередь монотонность работ и умственное перенапряжение.

Разработка методики аттестации испытательного оборудования — это долгая монотонная работа за компьютером. Такая работа приводит к общей усталости, снижению концентрации внимания и снижает работоспособность.

Для того чтобы данный вид вредного фактора не повлиял на работу, необходимо делать перерывы, зарядку для глаз, смену деятельности.

Умственное перенапряжение связано с большим объемом информации, которая необходима для разработки методики аттестации. Умственное перенапряжение приводит к головным болям, общей усталости.

Для того чтобы данный вид вредного фактора не повлиял на работу, необходимо распределить время между работой с информацией и выполнением других работ [21].

5.2.1.5 Статические физические перегрузки

Статические физические перегрузки вызываются длительным пребыванием человека в вынужденной рабочей позе или длительным статическим напряжением отдельных групп мышц при выполнении работ.

При разработке методики аттестации возникают статические физические перегрузки, оказывающие влияние на следующие группы мышц:

- сидя за компьютером – шейный и плечевой пояс;
- сидя с наклоненным туловищем – пояснично–крестцовый отдел;
- с упором на локоть (давление на локтевой сустав);
- кистевой хват (давление на ладонную поверхность кисти).

Физические перегрузки способствуют возникновению производственно обусловленной заболеваемости, которая выражается в виде заболеваний различных систем организма – сердечно–сосудистой (миокардиодистрофия) и дыхательной (эмфизема легких), желудочно–кишечного тракта и других.

Главными мероприятиями по снижению физических перегрузок являются ликвидация ручных операций, уменьшение темпа работы, борьба с другими производственными факторами, а также лечебно–профилактические мероприятия (предварительные перед поступлением на работу и периодические медицинские осмотры) [23].

5.2.2 Анализ опасных факторов

5.2.2.1 Электрический ток

В соответствии с ГОСТ 12.1.030–81[24] и ГОСТ 12.1.038–82[25] учебная аудитория является помещением без повышенной опасности, т.е. отсутствуют какие–либо условия, создающие опасность: оно сухое, хорошо отапливаемое, полы токонепроводящие, температура и влажность соответствуют нормам. В аудитории отсутствуют электроустановки, за исключением компьютера.

Деятельность непосредственно связана с ПЭВМ, токоведущие части изолированы, т.е. случайное прикосновение к токоведущим частям исключено.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление.

Заземление корпуса ПЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно «ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7» для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основное мероприятие по электробезопасности – инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно в выполняемой работе.

5.2.2.2 Короткое замыкание

Короткое замыкание – электрическое соединение разных фаз или потенциалов электроустановки между собой или с землей, не предусмотренное в нормальном режиме работы, при котором в проводниках, в месте контакта, резко возрастает сила тока, превышая максимально

допустимые величины, что представляет большую опасность для электрического оборудования и может вызвать перебои в электроснабжении потребителей. Короткое замыкание может привести к пожару.

Основной и важной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования. Нарушения изоляции могут вызываться: перенапряжениями, прямыми ударами молнии, старением изоляции, механическими повреждениями изоляции и неудовлетворительным уходом за оборудованием.

Мероприятия для предотвращения возникновения короткого замыкания – это своевременное техническое обслуживание, правильная эксплуатации, в соответствии с документацией на оборудование и ограниченное время работы [26].

5.2.2.3 Статическое электричество

Основными причинами, влекущими за собой возникновение статического электричества, являются:

- отдаление или контакт двух материалов;
- быстрые температурные перепады;
- УФ–излучение, радиация, сильные электрические поля;
- операции, производимые путем нарезания (раскроечные станки или бумагорезальные машины);
- наведение, то есть возникновение электрического поля, вызванного статическим зарядом.

Главная опасность заключается в неконтролируемом ударе током.

Мероприятия для устранения возможности возникновения статического электричества:

- следить за температурными показателями в помещении;
- постоянно проветривать помещение;
- проводить влажную уборку;

- снизить электростатическое напряжение, уменьшив скорость работы, используя специальные материалы и заземление [27].

5.3 Экологическая безопасность

Деятельность по разработке методики аттестации связана с работой ПЭВМ. Согласно ГОСТ 17.4.3.04-85[28] неправильная утилизация компьютерной техники может негативно повлиять на окружающую среду (литосферу) – при распаде на тяжелые металлы и ядовитые соединения.

В учебной аудитории АО «Томская Генерация» все отходы, которые образуются в ходе работы, утилизируются специализированным персоналом. Компьютерная техника, при обнаружении неисправности, а также люминесцентные лампы, списываются и утилизируются специализированными организациями.

Утилизация ПК осуществляется следующим образом:

- заполняется технический акт на списание с указанием причины списание и обоснования невозможности дальнейшей эксплуатации.
- передача данного акта с подписью ответственных лиц в бухгалтерию, для списания с баланса предприятия;
- демонтаж устройств с последующей сортировкой деталей и передача их в соответствующие организации.

К отходам, производимым в помещении можно отнести бумажные отходы, то есть макулатуру. Бумажные отходы в компании накапливаются в специальном контейнере, который располагается в общей доступности, и передаются в пункты приема макулатуры для дальнейшей переработки. Дополнительным методом снижения отходов является увеличение доли электронного документооборота.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары, грозы, ураганы, оползни.

Рассмотрим наиболее возможную ЧС при разработке методики аттестации – пожар. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 [29] и ГОСТ 12.1.010 [30]

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- электрические перегрузки;
- выделение тепла, искрение в местах плохих контактов при соединении проводов;
- курение в неположенных местах.

Для предотвращения возникновения пожара в учебной аудитории осуществляется ряд действий:

- помещение содержится в чистоте. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений;
- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте вывешен план эвакуации из помещения с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним, проверяет, выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т. д. и отключение силовой и осветительной электрической сети;
- в аудитории имеются средства тушения пожара (огнетушители).

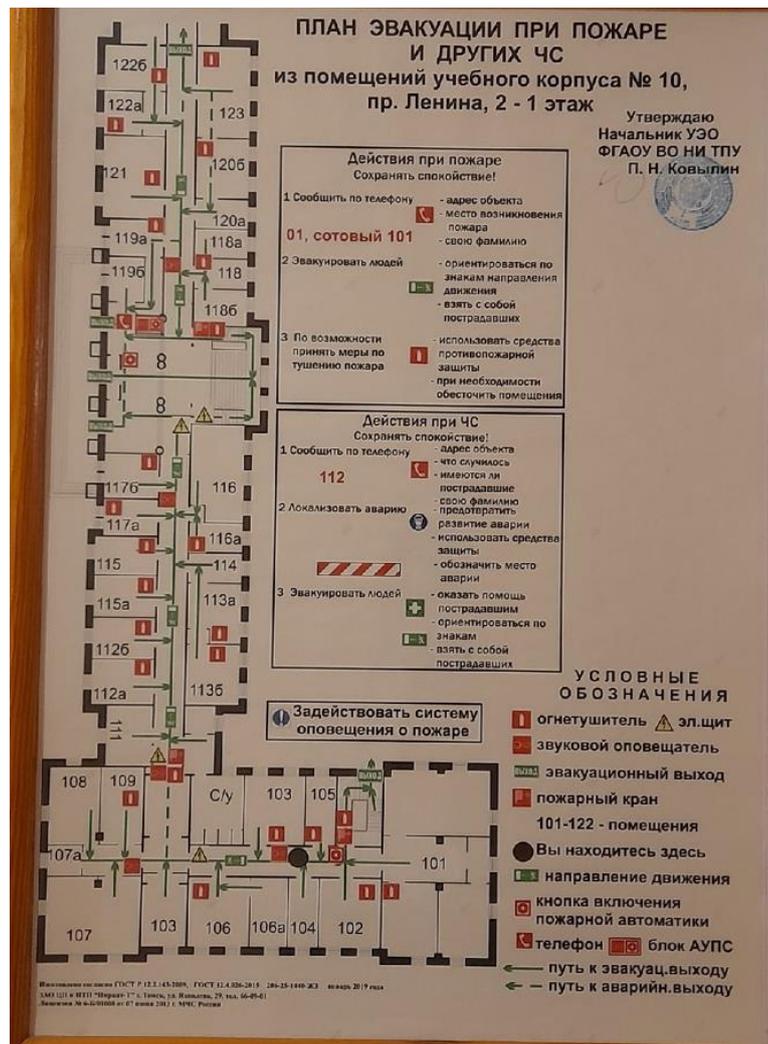


Рисунок 29 – План эвакуации людей при пожаре и других ЧС

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Работы по разработке методики аттестации для испытательного оборудования проводились в учебной аудитории НИ ТПУ. В процессе написания раздела «Социальная ответственность» данная аудитория была проанализирована с разных сторон: выявлены вредные и опасные факторы, предложены мероприятия для их устранения, оценена возможность негативного воздействия на окружающую среду, рассмотрены возможные ЧС и меры их предотвращения.

Заключение

1. Изучила объект автоматизированной системы контроля технологических параметров электролизеров;
2. Описаны условия разработки разъемного датчика тока;
3. Описаны оцениваемые характеристики исследуемого датчика тока;
4. Сформулированы и описаны этапы разработки датчика тока;
5. Разработаны требования к разработке разъемного датчика тока.

Знание специфических особенностей технологии применяемых к датчику тока помимо параметров, указанных в спецификации, позволяет проектировать системы измерения тока с лучшими параметрами, более устойчивые к окружающим условиям. Такие характеристики датчиков, как погрешность измерения, зависимость ее от температуры, снижение параметров в условиях работы на предельно допустимых значениях, выбор сопротивления нагрузочного резистора, имеют весьма важное значение.

Список использованных источников

1. СмартИРиС: Цифровые Датчики Тока и Напряжения Стандарт МЭК SV. Режим доступа: <https://docplayer.com/162136851-Smartiris-cifrovye-datchiki-toka-i-napryazheniya-standart-mek-sv.html> , свободный
2. СТО 56947007-29.240.10.299-2020 «Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС». Стандарт организации. Дата введения: 26.02.2022. ПАО «ФСК ЕЭС», 2020.
3. Комплекс программно-технический измерительный цифровой РЕТОМ-61850. Руководство по эксплуатации БРГА.441461.014 РЭ. Редакция 130617.
4. Техническое описание Профиля SV МЭК 61850-9-2 Binom3. Режим доступа:http://binom3.ru/files/digital_substation/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%20SV%2061850-9-2%20Binom3.pdf , свободный
5. Датчик системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации — М.: Издательство ПГУ, 2012
6. Журнал «ИСУП» (Информатизация и системы управления в промышленности) Режим доступа:<https://isup.ru/articles/109/1195/> , свободный
7. Современные магниточувствительные датчики Холла и приборы на их основе . Режим доступа: <http://www.autex.spb.su/pdf/portnoy-2013.pdf> , свободный
8. Разработка устройства для контроля параметров электрической энергии и распределительной сети. Режим доступа :<https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-ustroystva-dlya-kontrolya-parametrov-elektricheskoy-energii-v-raspredelitelnoy-seti/viewer> , свободный
9. Счетчик и показания . Датчики тока российского производства. Режим доступа: <https://lemzspb.ru/datchik-toka-rossiyskogo-proizvodstva/> , свободный

- 10.ГОСТ 18685-73 –Трансформаторы тока и напряжения
- 11.ГОСТ Р МЭК 61850-7-2-2009 – Сети и системы связи на подстанциях
- 12.ГОСТ 12.1.038 – 82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 13.ГОСТ 30494 – 2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
- 14.СанПиН 1.2.3685 – 21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
- 15.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
- 16.ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
- 17.ГОСТ 12.1.030 – 81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 18.ГОСТ 12.1.004 – 91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Пожарная безопасность.
- 19.ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере.
- 20.ГОСТ 12.0.003 – 2015 Опасные и вредные производственные факторы.
Классификация. Перечень опасных и вредных факторов
- 21.ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 22.ГОСТ Р 55102 – 2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами.
Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутисодержащих устройств и приборов.

Приложение А

(обязательное)

Таблица дополнительных видов деятельности при производстве прочих основных неорганических химических веществ и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Наименование соответствующего справочника НДТ
Добыча сырья	ИТС 16—2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы»
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух	ИТС 22—2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Очистка и утилизация сточных вод	ИТС 8—2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров) выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Утилизация и обезвреживание отходов	ИТС 15—2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))»
Размещение отходов	ИТС 17—2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Хранение и складирование товаров (материалов)	ИТС 46—2017 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Системы охлаждения	ИТС 20—2016 «Промышленные системы охлаждения»
Использование энергии и энергоресурсов	ИТС 48—2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
Обращение со сточными водами и выбросами	ИТС 47—2017 «Системы обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности»
Осуществление производственного экологического контроля	ИТС 22—2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»

Приложение В

(обязательное)

Таблицы с основными техническими характеристиками выпускаемых датчиков напряжения постоянного и переменного токов

Тип датчиков ДТХ, ДТР														
Характеристики	ДТХ				ДТХ-Г	ДТР-01	ДТХ							
	50	100	150	200			500	750	1000	1500	3000	1000Ж	1500Ж	3000Ж
Диапазон измерения тока А(В)	0-10	0-100	0-150	0-200	50-200	5-300	0-500	0-750	0-1000	0-1500	0-3000	0-1000	0-1500	0-3000
Диапазон рабочих температур, С ⁰	-20 +80				-40 +70	0 +70	-20 +70					-20 +80		
Выходной сигнал датчика, В(мА)	(25)	(50)	(75)	(50)	(25-100)	(4/20)	5	7,5	(200)	(300)	(600)	(200)	(300)	(600)
Основ. Погрешность измерения не более,%	1,0				1,0	1,5	1,0	0,7				2,5		
Питание, В	+-15				+-15	+10... +30	+-15	+-18-24						
Диапазон измерения частот, Гц	0-500000				0-500000	40-65	0-500000							

Тип датчиков ДТТ									
Характеристики	ДТТ-02	ДТТ-03	ДТТ-04	ДТТ-04Б	ДТТ-06-Н	ДТТ-07-Н	ДТТ-08	ДТТ09	ДТТ-03Т
Диапазон измеряемых тока, А	00;300	5;10;20; 50;100;2	1;5;10;2 0;50;100	5;10;20; 500	300;500; 750		1500; 2000	300;500; 750;1000	5;10;20; 50;100; 150;200
Номинальный выходной сигнал ,В(мА)	+2	(4/20)	-2		+2	(4/20)	+2	(4/20)	(4/20)
Источник питания,В	+ 8...+ 15	+15...+30	+8...+15		+10...+36	+9...+36	+15...+30		+15...+30
Ток потребления , мА	5	7/24	5		2	-	5	7/24	7/24
Диапазон рабочих температур, С ⁰	-20...80 -40...80				-40...80		-20...80 -40...80		-10...70 -40...70
Допускаемая перегрузка по измеряемому току, разы			1,5			1,3		1,5	
Основная приведенная для частоты 50Гц,%						0,5			
Нелинейность выходной характеристики,%						0,2			
Полоса пропускания,Гц						20-5000			

Характеристики	Тип датчиков ДНХ, ДНТ					
	ДНХ	ДНТ-051	ДНТ-053	ДНХ-01	ДНХ-03RMS	ДНХ-03DC
Диапазон измеряемых напряжений, В	(0-1000)	50;100;250;500	250	60;100;200;300;500	60;100;200;300;500	60;100;200;300;500
Номинальный входной сигнал, мА	40	4/20		40	4/20	4/20
Источник питания, В	±15	8,5...36		±15	8,5...36	
Ток потребления, мА	60	-		50	-	
Диапазон рабочих температур, С0	-20...+70	0...70 (-40...70)		0...50 (-40...50)	0...70 (-40...70)	
Допустимая перегрузка измеряемому току, разы	1,5А	1,3 А		1,5 А	1,3А	
Основная приведенная погрешность для частоты 50Гц, %	1,0	0,5		1,0	1,5	
Нелинейность выходной характеристики, %	0,5	0,3		0,1	0,1	0,3
АЧХ в пределах 1% не более, кГц	-	0,02...10		-	0...1	

Приложение С
(Справочное)
Раздел 1

Planning the development of a detachable current sensor

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Киселева Нина Сергеевна		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Маркова Наталия Александровна			

1. Planning the development of a detachable current sensor

In the second section of the work, an analysis of the equipment characteristics necessary for the development of a detachable current sensor was carried out.

1.1. Fluoride production

Fluorine is an element of the main subgroup of the seventh group, the second period of the periodic system of chemical elements of D. I. Mendeleev, with atomic number 9. Fluorine is an extremely reactive non-metal and the strongest oxidizer, is the lightest element of the halogen group. A simple substance of fluorine under normal conditions is a diatomic gas (formula F_2) of pale yellow color with a sharp smell resembling ozone or chlorine. It is very poisonous.

Methods of preparation.

Laboratory method.

Under laboratory conditions, fluorine can be produced by a plant. A copper vessel 2 having holes in the bottom is placed in a copper vessel 1 filled with melt $KF \cdot 3HF$. A thick nickel anode is placed in the vessel 2. The cathode is placed in the vessel 1. Thus, during electrolysis, fluorine gas is released from tube 3 and hydrogen from tube 4. An important requirement is to ensure the tightness of the system by using calcium fluoride plugs with a lubricant of lead (II) oxide and glycerol.

Industrial method.

The industrial production of fluorine is carried out by electrolysis of the melt of acidic potassium fluoride $KF \cdot 3HF$ (often with the addition of lithium fluoride), which is formed by saturating the melt of KF with hydrogen fluoride to a content of 40-41% HF . The electrolysis process is carried out at temperatures of about $100^\circ C$ in steel electrolyzers with a steel cathode and a carbon anode.

1.2. Electrolysis and Electrolyzer

Chemical reactions accompanied by electron transfer (redox reactions) are divided into two types: reactions that occur spontaneously and reactions that occur when a current passes through an electrolyte solution or melt.

The electrolyte solution or melt is placed in a special container: an electrolytic bath.

Electric current is the ordered movement of charged particles: ions, electrons, etc., under the action of an external electric field. The electric field in the electrolyte solution or melt creates electrodes.

Electrodes are typically rods made of a material conducting an electric current. They are placed in an electrolyte solution or melt and connected to an electrical circuit with a power source.

At the same time, the negatively charged electrode cathode attracts positively charged ions cations. A positively charged electrode (anode) attracts negatively charged particles (anions). The cathode acts as a reducing agent and the anode acts as an oxidizing agent.

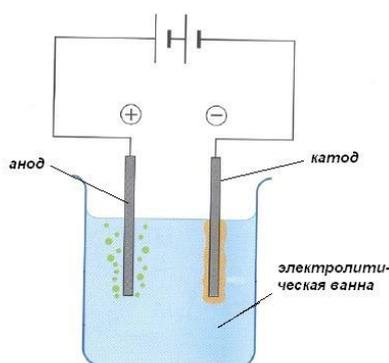


Fig. 1- Electrolytic bath

There is electrolysis with active and inert electrodes. Active (soluble) electrodes undergo chemical transformations during electrolysis. Usually they are made of copper, nickel and other metals. Inert (insoluble) electrochemical transformations are not subjected. They are made from inactive metals such as platinum or graphite.

An electrolyzer is a special installation used to isolate its components from a solution or melt.

The main characteristics of the electrolyzer are:

- Operating voltage for one electrode ranges from 1.8 to 2.0 V;
- Current strength for the normal course of the electrolysis process, current is supplied to the electrodes with the value of this characteristic from 5 to 10 A;
- Number of electrodes the minimum number of electrodes is 2, the maximum is limited by the size of the installation itself and its purpose;

- Dimensions of electrodes not carbon rods are used as electrodes, but metal plates, the size of which is determined by the purpose of the installation, the current-voltage characteristic of the current supplied to the plates;

- The distance between oppositely charged surfaces of the electrodes the minimum distance between the electrode plates must be at least 1.5 mm;

- Electrode material in modern electrolyzers, stainless steel sheet with nickel addition is used as the material for the anode and cathode.

Also, another important characteristic of the electrolysis plant is the use of catalysts.

These settings are used for the following purposes:

- Obtaining explosive gas, consisting of a mixture of hydrogen and oxygen (Brown's gas);

- Allocation of pure aluminum, magnesium, zinc from melts of their salts;

- Purification of water from salts and impurities dissolved in it;

- Drawing on a surface of metal details of the thin layer preventing corrosion of nickel, zinc;

- Disinfection of food products;

- Wastewater treatment from salts of heavy metals and other harmful substances dissolved in them.

Platinum electrode made of ordinary iron is used in electrolysis plants less frequently than stainless steel, as it oxidizes faster and becomes unusable.

1.3. Device and principle of operation.

The simplest electrolysis plant consists of several "cells", each of which includes:

- 2 plate electrodes;

- cathode (negative) and anode (positive);

- A rubber gasket located around the perimeter of two adjacent opposite electrodes.

The extreme cells are equipped with special pipes through which the evolved gases are discharged.

Several interconnected "cells" of the electrolysis plant.

The electrolyzer may contain from 1 to 30-40 or more such "cells", the plates of the same name are connected in series.

When using AC power sources, rectifiers are additionally used, the simplest of which is a diode bridge.

This setup works like this:

1. Distilled water with alkali dissolved in it or ordinary baking soda is poured into the space between the electrodes;
2. A voltage of 1.8-2.0 V is applied from the power source to the electrodes of all cells of the installation;
3. As a result of the electrolysis process, anions (positively charged ions) of a substance dissolved in water are attracted to the negatively charged cathode, as a result of which a thin film of sodium is formed on it;
4. On a positively charged anode, water molecules are destroyed, while each produces 2 hydrogen atoms and 1 oxygen atom;
5. The released explosive gas enters the container intended for it through the outlet pipes.

The intensity of the electrolysis process depends on the magnitude of the voltage and current strength: with small values of these characteristics, the process will not proceed. If the power supply supplies current with too high current-voltage characteristics, the solution poured into the electrolyzer will heat up and boil away.

1.4. Types of electrolyzers.

Depending on the design and principle of operation, there are 5 types of electrolysis plants.

Dry.

Such electrolyzers consist of plate electrodes separated by sealed rubber gaskets. Often the "cells" of the installation are additionally placed in a sealed enclosure.

Hydrogen and oxygen produced as a result of electrolysis are discharged through special pipes located at the end of the body or the end plates of the installation.

Flowing.

Electrolysis plants of this type have the following device:

- An electrolysis bath (housing) with two nozzles, one of which is supplied with electrolyte, the second is used to discharge the detonating gas formed as a result of electrolysis;

- Plate electrodes separated by spacers;

- An electrolyte tank located above the body with electrodes and connected by hoses to the pipes of the electrolysis bath of the installation and having a pipe with a gas valve in the upper part.

During the operation of such a device, the escaping gas enters the electrolyte tank through the pipe and hose and, creating a certain pressure in it, through the valve on the outlet pipe goes outside the unit.

Membrane.

The electrolysis cells of such installations consist of two electrodes separated by a thin membrane that allows the electrolysis products to pass through and separates the electrodes from each other.

Diaphragm.

Electrolysis plants of this type consist of a "U" shaped flask with two electrodes inserted into it and 2-3 impenetrable diaphragms. Similar electrolyzers are used for the separate production of pure hydrogen and oxygen.

Alkaline.

Unlike other models of electrolyzers, in these, an alkali solution is used as an electrolyte caustic soda (sodium hydroxide), which is not only an additional source of hydrogen and oxygen, but also a catalyst for electrolysis.

Such installations, unlike analogues of other types, allow the use of cheaper electrodes made of ordinary iron.

1.5. Classification of electrolyzers.

An electrolyser is a device in which the electrolysis process is carried out.

The minimum required components of the electrolyzer are:

- cathode;
- anode;
- housing (bath);
- in working condition, the electrodes are immersed in an electrolyte that fills

the cell body.

All electrolyzers described in the literature form four groups:

I - electrochemical reactors (ECR) - designed to produce commercial products: gases (hydrogen, chlorine, fluorine), metals (copper, nickel, zinc, aluminum, magnesium and many others), inorganic and organic products of electrosynthesis;

II - electrochemical (galvanic) baths (ECW) - are used for electrochemical surface treatment of metal or non-metal parts;

III - electrochemical devices (ECD) (they are also called chemotronic devices or chemotrons) - form a group of electrochemical converters of information of various types. The simplest and oldest electrochemical device is the coulomb meter, and the modern ones include electrochemical diodes, integrators, speed pressure sensors, vibrations, and many others that convert both electrical and non-electric quantities;

IV - electrochemical machines (ECM) - are complexes of units with the help of which dimensional anode processing of metal parts is carried out - electric drilling, electromilling and other operations based on selective anodic dissolution using figured cathodes.

There are electrolyzers with monopolar and bipolar electrodes (Fig.2,3).

The first of these make up the majority in electrochemical technology.

In industrial electrolyzers, electrodes of various shapes and designs are used: flat, cylindrical, mesh, perforated, wire, rod, ball, lumpy and others.

Conventionally, they can be combined into three groups of electrodes (Fig. 4,5,6): solid, non-solid, bulk.

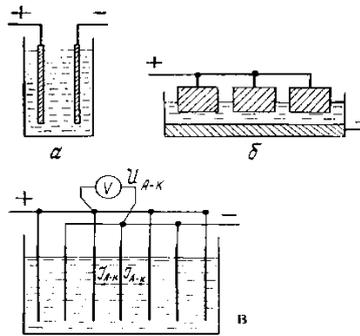


Fig. 2. Variants of monopole electrolyzers: a – elementary electrolysis cell; b – electrolyzer with parallel connection of anodes; c – electrolyzer with plane-parallel alternating electrodes.

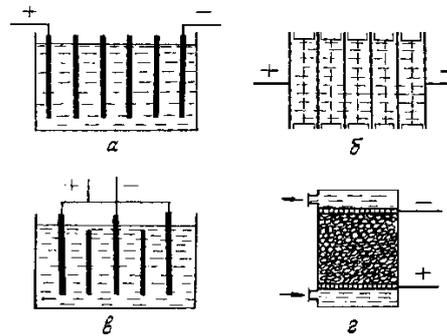


Fig. 3. Variants of bipolar electrolyzers: a - electrolysis bath for copper refining; b - electrolyzer for hydrogen and oxygen production; c - copper plating bath; d - an electrolytic cell with bulk electrodes for the production of potassium permanganate (arrows show the direction of electrolyte circulation).

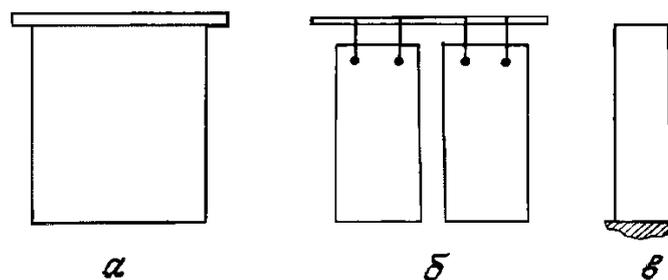


Fig. 4. Variants of solid electrodes: a - cathode-matrix for obtaining cathode bases; b - a set of anodes of a galvanic bath; (c) graphite anode of a chlorine diaphragm electrolyzer.

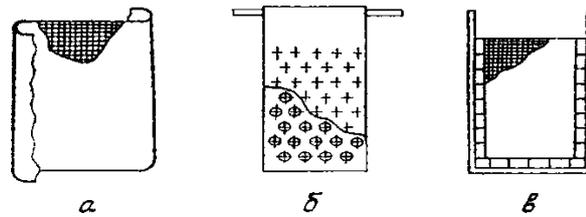


Fig. 5. Variants of non-solid electrodes: a - part of the grid cathode of a chlorine electrolyzer, b - perforated anode of an electrolyzer for manganese electroextraction; c - mesh anode of the electrolytic cell for the production of peroxysulfuric acid.

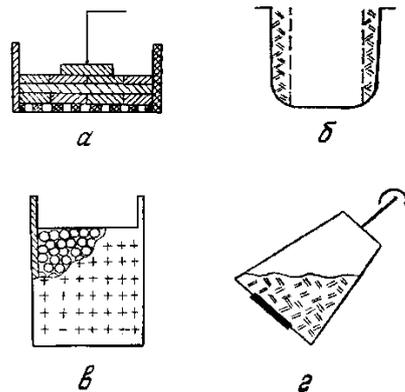


Fig. 6. Variants of bulk electrodes: a - the anode of the electrolytic cell for refining silver; b - electrolyzer anode for refining metal from the melt; c - galvanic bath anode; d - cathode of the bell galvanic bath.

Electrolyzers with liquid electrodes are not as widespread as those with solid electrodes. These include:

- without a diaphragm chlorine cell with a mercury cathode (Figure 7a);
- an electrolysis bath for aluminum production, in which molten aluminum serves as a cathode (see Fig. 7b);
- an electrolytic cell for electro-refining of aluminum, in which both the anode (raw aluminum with copper weighting agent) and the cathode (pure molten aluminum) are liquid (see Fig. 7c).

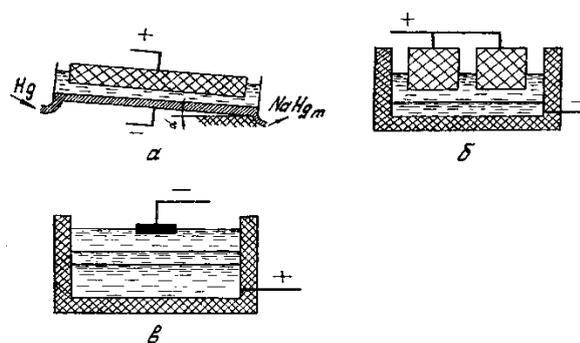


Fig. 7. Variants of electrolyzers with liquid electrodes: a - with a mercury cathode for the production of chlorine; b - with a molten aluminum cathode to produce aluminum; c - with molten cathode and anode for aluminum refining

Stationary electrodes are typical for applied electrochemistry; however, in some cases, the use of movable cathodes that rotate, shake, or move linearly makes it possible to sharply intensify the technological process.

Drum and bell galvanic baths can be considered characteristic among them, in which the bulk cathode moves when the drum rotates, and the parts move unevenly and along a complex trajectory (Fig. 8a). Of practical interest are drum electrolyzers for producing copper or nickel foil, commercial zinc with a cathode base rotating together and a deposited metal, which is then separated from the drum (see Fig. 8b). Automatic machines for galvanizing steel wire, tinning steel strip and other similar operations have long been known. In them, the “endless” cathode moves linearly horizontally or vertically (see Fig. 8c). There are electroplating baths with oscillating or vibrating cathode rods; reciprocating or axial movement of the cathodes is carried out using eccentric devices (see Fig. 8d).

The linear movement of the mercury cathode is observed in a chlorine electrolyzer (see Fig. 7a). Mercury flows by gravity, gradually enriching itself with sodium amalgam.

Electrolyzers with movable electrodes are structurally complex and difficult to operate. Their serious advantage is the possibility to intensify the process to some extent, i.e., to carry out electrolysis at an increased current density.

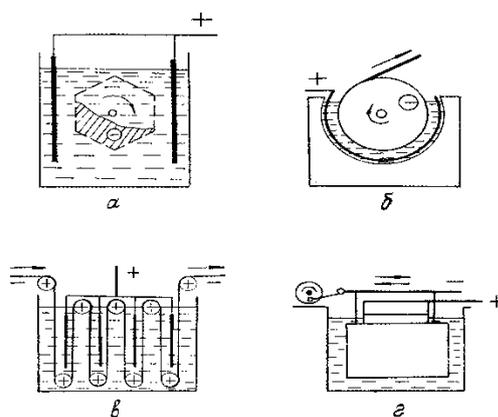


Fig. 8. Variants of electrolyzers with a moving cathode: a - drum galvanic bath; b - slotted electrolyzer for producing a metal tape, c - galvanic bath for coating a wire or tape; d - galvanic bath with a rocking cathode.

In industry, non-diaphragm and diaphragm electrolyzers are used.

In most cases, the diaphragm is designed to separate liquid and gaseous products formed at the cathode and anode. Sometimes the purpose of the diaphragm is to prevent the reverse reduction of the anode product (for example, peroxy sulphuric acid in the electrolysis of sulfuric acid) or the reverse oxidation of the cathode product (for example, azobenzene obtained by electroreduction of nitrobenzene).

Apertures differ:

- submerged (or non-flowing);
- filtering (or flowing);
- ion-exchange, which are commonly called membranes.

The task of the immersed diaphragm, most often, is to separate the products of electrolysis; in this case, the catholyte and anolyte levels are the same, and the cathode and anode spaces are powered separately. An example is the asbestos diaphragm of an electrolytic cell for the production of hydrogen and oxygen (Fig. 9a). Sometimes the diaphragm does not completely cover the space occupied by the electrolyte; there is no clear separation of the solution into catholyte and anolyte, as is the case in an electrolyzer for producing metallic sodium. Here the diaphragm is steel mesh (see Fig. 9b).

The filter diaphragm not only mechanically separates the electrolysis products, but also provides a directed flow of electrolyte from the anode space to the cathode space, as in a chlorine electrolyzer (see Fig. 9c), or from the cathode space to the anode space, as in electrolysis baths for nickel electrorefining or manganese electroextraction . The purpose of the directed flow is to prevent the diffusion and migration of certain ions in the opposite direction. The levels of catholyte and anolyte in these cases are not the same and can vary by 2 cm (flax tarpaulin diaphragm in nickel refining baths) to 35 cm and more (chlorine bath, precipitated asbestos diaphragm).

Electrolyzers with ion-exchange membranes are very promising. By their nature, they are non-flowing, the current in them is carried by certain ions, or only cations, or only anions. The diagram of an electrolytic cell with a cation-exchange diaphragm for the production of chlorine and alkali is given in fig. 9y. There are options with a combination of ion exchange and flow diaphragms.

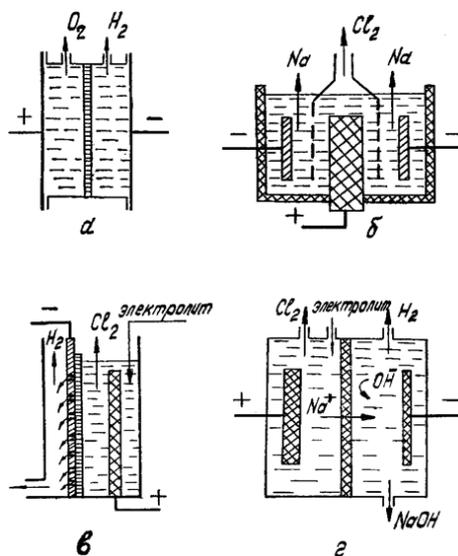


Fig. 9. Variants of diaphragm electrolyzers: a — with a fully submerged diaphragm for producing hydrogen and oxygen; б - with a partially submerged mesh diaphragm to obtain sodium; в - with a filtering diaphragm for the production of chlorine and alkali; г - with an ion-exchange membrane for receiving chlorine and alkali.

The state of the electrolyte largely characterizes the intensity level of the process. The transition from a calm electrolyte to a stirred one and then to a

vigorously circulating one makes it possible to sharply increase the convective mass transfer of discharged ions and thereby create conditions for a significant increase in the electrolysis rate without a noticeable deterioration in the quality of the product.

Electrolyzers with a fixed electrolyte are most often found in electroplating, where stationary baths with soluble anodes are used to coat parts on suspension.

Stirred electrolytic cells are numerous and varied, as are the methods of mixing.

There are the following mixing methods:

- natural;
- compulsory.

Natural mixing occurs due to gases generated electrochemically (hydrogen, oxygen, chlorine).

Forced mixing is carried out with non-intensive flow, with the help of a stirrer, with the help of bubbling air, by oscillating or rotating cathodes.

Electrolyzers with very intensive electrolyte circulation are not widely used in applied electrochemistry. As an example, we can name a drum electrolytic cell for producing copper foil, conditionally shown in Fig. 8b.

1.6. Method - electrolytic bath

The electrolytic bath method is based on the similarity that exists between the lines of force of the electrostatic field, the space charge created by the system of electrodes in vacuum, and the lines of current in the electrolyte, in which the same electrodes are immersed, with the same potentials.

The electrolytic bath method is based on the analogy between the electrostatic field in vacuum and the field of currents in a uniformly conductive liquid.

There are several varieties of the electrolytic bath method, which differ from each other in the way the boundary conditions are implemented on the electrodes.

In this regard, the question of the accuracy of the electrolytic bath method is trivial, although there are almost no indications of this in the extensive literature devoted to justifying the application of the electrolytic simulation method.

The picture of the field between the electrodes of the multiplier, obtained by the electrolytic bath method.

Therefore, the method of setting this condition determines the varieties of the electrolytic bath method.

Thus, in the course of the work, the possibility of using the electrolytic bath method for studying the electric fields of ionization detectors was clarified in order to compare them and use the results in designing.

In electronics, two such methods are widely used, namely, the electrolytic bath method and the rubber model or membrane method.

One of the most effective ways to find the electrostatic potential distribution by modeling it is the electrolytic bath method. It is based on the similarity of equipotential surfaces in a homogeneous electrolyte and in vacuum (or in air) while maintaining the similarity of the shape of the electrode systems and with the same relative distribution of potentials on the electrodes. Indeed, in a vacuum in the absence of a space charge, the distribution of the potential is given by the Laplace equation $\Delta r = 0$ and boundary conditions. The latter in this case are determined by the shape of the electrodes and the potentials applied to them. The potential in the electrolyte also satisfies the Laplace equation.

Let us consider the simulation of fields by an electric field in a conducting medium: two-dimensional is by the method of a conductive sheet and three-dimensional is by the method of an electrolytic bath. It is necessary to emphasize the simplicity and accessibility of the conductive sheet method, which makes it possible to quickly produce a model.

In addition to significant advantages (the ability to simulate almost any electric field, sufficient accuracy for practical purposes), the electrolytic bath method also has some disadvantages, the main of which is the bulkiness of the installation, associated with the need to use large volumes of electrolyte. Therefore, along with the electrolytic bath method, some other methods are also used to simulate electric fields.

1.7. Application area

In accordance with OK 029-2014, the production of these chemical products is classified as “production of industrial gases” and “production of other basic inorganic chemicals”.

The names of other basic inorganic substances, indicating the codes of the All-Russian classifier of types of economic activity OKVED (OK 029-2014) and the codes of the all-Russian classifier of products by type of economic activity OKPD 2 (OK 034-2014) are presented in Appendix A.

The BAT reference book also applies to technological processes associated with the main types of activities that can have or have an impact on the amount (mass) of emissions into the environment or on the scale of environmental pollution:

- storage and preparation of raw materials;
- production processes;
- methods for preventing and reducing emissions and waste generation;
- packaging and storage of products.

The BAT handbook does not apply to:

- extraction and processing of raw materials in the fields;
- issues relating exclusively to ensuring industrial safety or labor protection.

Occupational safety issues are considered partially and only in cases where they have a direct impact on the activities included in the scope of this BAT guide.

Additional types of activities carried out in the production of other basic inorganic chemicals, and the corresponding BAT reference books, determined by the Decree of the Government of the Russian Federation of October 31, 2014 No. 2178-r, are shown in Table 1.

The issues of ensuring industrial safety and labor protection are partially considered only in cases where they affect the types of activities included in the scope of this BAT handbook.