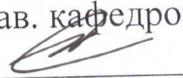


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы
Электроэнергетические системы и сети

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

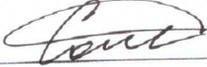
 Н.В. Савина

« 22 » 06 2020 г.

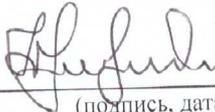
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Повышение эффективности использования аккумуляторных батарей
в электроэнергетических системах

Исполнитель
студент группы 842-ом 1

 12.06.2020 В.С. Сологубов
(подпись, дата)

Руководитель
канд. техн. наук, профессор

 12.06.2020 Ю.В. Мясоедов
(подпись, дата)

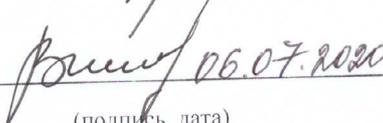
Руководитель
магистерской программы
докт. техн. наук, профессор

 15.06.2020 Н.В. Савина
(подпись, дата)

Нормоконтроль
ст. преподаватель

 16.06.2020 Н.С. Бодруг
(подпись, дата)

Рецензент

 06.07.2020 Н.А. Вишнякова
(подпись, дата)

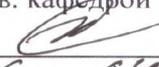
Благовещенск 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

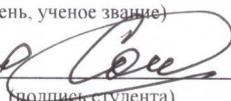

Н.В. Савина
« 06 » 09 2020

ЗАДАНИЕ

- К выпускной квалификационной работе студента Сологубова Вячеслава Сергеевича
1. Тема выпускной квалификационной работы: Повышение эффективности использования аккумуляторных батарей в энергетических системах
(утверждено приказом от 10.03.2020 № 548-уч)
 2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 18.06.2020
 3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: материал, собранный во время прохождения преддипломной практики
 4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): применение аккумуляторных батарей, эксплуатация аккумуляторных батарей, типы и характеристики аккумуляторных батарей, требование по технике безопасности и пожарной безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей
 5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) нет
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) нет
 7. Дата выдачи задания 11.05.2020

Руководитель выпускной квалификационной работы: Мясоедов Юрий Викторович,
профессор, кандидат технических наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 11.05.2020

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 120 с., 31 рисунок, 25 формул, 9 таблиц, 53 источника.

НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ, ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, МИКРОСЕТИ

Магистерская диссертация посвящена поиску методов повышения эффективности использования аккумуляторных батарей в энергосистеме Дальнего Востока. На первоначальном этапе было произведено краткое описание объекта. Затем была рассмотрена конструкция аккумуляторной батареи, а также ее устройство и принцип работы. Рассмотрена охрана труда и пожарная безопасность. В последнем пункте приведены экономические методы оценки повышения эффективности использования АКБ.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1. Применение аккумуляторных батарей на подстанциях высоких классов напряжения	12
1.1 Назначение АБ, устройство и принцип работы АБ	13
1.2 Режимы работы аккумуляторных батарей	19
2. Эксплуатация аккумуляторных батарей	29
3. Типы и характеристики аккумуляторных батарей, установленных в АО «ДРСК» и методы повышения эффективности их использования	34
3.1 Обеспечение эффективной работы в гарантированный срок службы	44
3.2. Повышение срока службы аккумуляторных батарей	57
3.3. Гибридная система накопления энергии	74
4. Требования по технике безопасности и пожарной безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей	99
5. Оценка экономической эффективности	105
Заключение	111
Библиографический список	115

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

C10	- емкость аккумулятора при 10-ти часовом режиме разряда А*часов;
N	- номер аккумулятора;
n	- количество элементов, шт.
ρ	- плотность электролита, г/см ³ ;
t	-температура °С;
U	- напряжение на банке, В;
АБ	- аккумуляторная батарея;
АВ	- автоматический выключатель;
АЭ	- аккумуляторный элемент;
ЗУ	- зарядное устройство;
СК	- стационарный аккумулятор, свинцово-кислотный, открытый, для коротких и длительных режимов;
ЩПТ	- щит постоянного тока;
ДГУ	-дизельная генераторная установка
ГТУ	- газотурбинная установка
УЗУ	- управляемые зарядные устройства

ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

Аккумулятор (элемент) - совокупность положительных и отрицательных электродов, расположенных в баке с электролитом и предназначенных для преобразования накопленной химической энергии в электрическую.

Аккумуляторная батарея - два или больше аккумуляторов (элементов), соединенных между собой.

Газообразование - образование газа в процессе электролиза электролита во время заряда аккумуляторов.

Герметичный аккумулятор - аккумулятор закрытый и не пропускающий газ или жидкость при работе в режимах заряда и температуре, указанных изготовителем. Аккумулятор может быть снабжен предохранительным устройством, предотвращающим опасное внутреннее давление. Аккумулятор не требует дополнительной заливки электролита и предназначен для работы в исходном герметичном состоянии на протяжении всего срока службы (ГОСТ Р МЭК 60622-2002). Иногда аккумуляторы снабженные клапаном называют герметизированными.

Двухступенчатый заряд - процесс заряда, который начинается при установленной величине зарядного тока, а с определенного момента продолжается при меньшей величине.

Емкость батареи - количество электрической энергии (ампер*часов), которую заряженная батарея может полностью отдать при определенных условиях.

Предохранительный клапан - деталь вентиляционной пробки, который удаляет газ, скопившийся внутри аккумуляторного элемента, в случае чрезмерного внутреннего давления, препятствует проникновению воздуха в аккумулятор.

Заряд батареи - процесс получения электрической энергии от внешнего источника с последующим преобразованием в химическую энергию. Заряд

при постоянном значении напряжения - заряд, при котором поддерживается постоянное значение напряжения на выводах батареи. Заряд при постоянном значении тока - заряд, при котором поддерживается постоянное значение тока на выводах батареи.

Конечное напряжение разряда - определенное напряжение, при котором прекращается разряд батареи.

Номинальная емкость (аккумулятора) - количество электрической энергии в ампер*часах, запасенная заряженным аккумулятором.

Открытый аккумулятор - аккумулятор, имеющий крышку с отверстием, через которое могут удаляться газообразные продукты, доливаться, заливаться и сливаться электролит (ГОСТ Р МЭК 60623-2002).

Постоянный подзаряд - непрерывный заряд в продолжительном режиме, который компенсирует саморазряд и поддерживает полностью заряженное состояние батареи.

Разряд батареи - режим, при котором батарея отдает ток во внешние цепи в результате преобразования накопленной химической энергии в электрическую.

Саморазряд батареи - потеря химической энергии, обусловленная самопроизвольными реакциями внутри АБ, когда она не подключена к внешним цепям.

Свинцово-кислотная аккумуляторная батарея - аккумуляторная батарея, электроды которой изготовлены из свинца, а электролит - раствор серной кислоты.

Сульфатация - перекристаллизация мелких кристаллов $PbSO_4$ и Pb в большие, которые имеют меньшую площадь поверхности, относительно к единице массы, и поэтому не принимают достаточного участия в заряде.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования:

Все, кроме самых маленьких подстанций, включают в себя вспомогательные источники питания. Переменный ток используется для питания таких потребителей как: освещение, отопление, вентиляция, некоторые коммуникационные устройства, механизмы управления распределительными устройствами, противоконденсатных нагревателей и двигателей. Постоянный ток используется для питания основных служб, таких как: катушки отключения выключателей и связанных с ними реле, системы диспетчерского управления и сбора данных и телекоммуникационного оборудования.

Для питания цепей постоянного тока на подстанции используются, как правило, кислотные аккумуляторные батареи. Аккумуляторная батарея состоит из отдельных аккумуляторов, соединенных между собой последовательно, и служит для накопления электрической энергии и отдаче ее потребителю. В аварийном режиме аккумуляторная батарея должна обеспечивать требуемую мощность в течение определенного периода времени в определенных пределах напряжения.

Таким образом, при большом количестве аккумуляторных батарей, каждая сетевая организация заинтересована в повышении эффективности работы аккумуляторных батарей на подстанциях.

Объект исследования – аккумуляторные батареи на подстанциях Дальнего Востока.

Предмет исследования – инновационные методы использования аккумуляторных батарей на подстанциях.

Степень изученности проблемы: теоретической основой для диссертации послужили научные работы различных направлений, раскрывающие отдельные аспекты исследуемой темы. К ним относятся следующие группы работ:

- по теории применения аккумуляторных батарей на подстанциях;
- по устройству аккумуляторных батарей;
- по технике безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей;
- по пожарной безопасности по эксплуатации аккумуляторных батарей;
- по способам повышения срока службы аккумуляторных батарей;
- по гибридной системе накопления энергии.

Несмотря на большое количество литературы, посвящённой аккумуляторным батареям, трудно найти современную работу, в которой было бы освещено повышение эффективного использования аккумуляторов на подстанциях. Большинство из них посвящено эффективному использованию аккумуляторных батарей в электромобилях и мобильных устройствах.

Цель исследования – произвести обзор возможных методов повышения эффективности использования аккумуляторных батарей на подстанциях.

Задачи исследования:

1. Сбор и анализ исходной информации аккумуляторным батареям
2. Анализ условий эксплуатации аккумуляторных батарей
3. Обзор инновационных методов повышения эффективности аккумуляторных батарей.
4. Выбор управленческих решений.
5. Оценка экономической эффективности мероприятий.

Задачи, поставленных при выполнении научно-исследовательской работы были решены при использовании следующих программ:

1. Microsoft Office Word 2010 – текстовый процессор, позволяющий автоматизированным способом подготовить информацию в соответствующий вид;
2. Microsoft Office Excel 2010 г – табличный процессор, поддерживающий все необходимые функции для создания электронных таблиц любой сложности;

3. MathType6.0 – программа, содержащая в себе набор различных математических символов и предназначенная для написания формул автоматизированным способом.

Методологической основой работы является комплексный подход. Для решения поставленных задач применялись следующие методы:

- анализ литературных источников;
- графический анализ.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе условий эксплуатации аккумуляторных батарей и поиск методов, повышающих эффективность работы аккумуляторных батарей в энергосистеме Дальнего Востока.

Практическая и научная значимость работы заключается в разработке схемных и технических решений с целью повышения эффективности использования батарей и как следствие – увеличение прибыли.

Границы исследования: основными объектами исследования являются аккумуляторные батареи на подстанциях филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» Благовещенского района

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка используемой литературы.

Первая глава посвящена назначению, устройству и правилам эксплуатации аккумуляторных батарей.

Вторая глава посвящена эксплуатации аккумуляторных батарей.

В третьей рассмотрены типы аккумуляторных батарей на подстанциях Благовещенского РЭС и методы повышения их эффективности использования.

В четвёртой рассмотрены требования по технике безопасности и пожарной безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей.

В пятой рассмотрена экономическая эффективность предложенных методов.

Содержание исследования

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, ставятся цели и задачи работы, выбирается объект исследования, приводятся научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрено применение, назначение, устройство и принцип работы аккумуляторных батарей на подстанциях высоких классов напряжения, которая носит обзорный характер приводятся назначение АКБ, устройство, принцип работы АКБ.

В второй главе, которая так же носит обзорный характер, рассматривается эксплуатация АКБ.

В третьей главе рассмотрены типы АКБ, установленных на подстанциях филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» Благовещенского района, рассмотрены возможные методы повышения эффективности использования АКБ: метод повышения эффективности АКБ за счёт повышения ресурса; метод повышения эффективности АКБ за счёт создания гибридной системы накопления энергии.

В четвёртой главе рассмотрены требования по технике безопасности и требования пожарной безопасности при эксплуатации АКБ.

В пятой главе приведены методики экономической оценки эффективности использования АКБ.

Основные выводы и результаты работы:

- рассмотрены типы аккумуляторных батарей, установленных на подстанциях Благовещенского РЭС СП «Центральные ЭС» филиала АО «ДРСК» «Амурские ЭС»;
- предложены методы повышения эффективности их использования;
- приведены методики расчёта экономической оценки эффективности использования АКБ.

1 ПРИМЕНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ ВЫСОКИХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Трансформаторные подстанции бывают повышающими и понижающими, они могут располагаться в специальных помещениях, на огороженной открытой местности, на мачтовых опорах.

Комплектация трансформаторных подстанций определяется их назначением. В зависимости от количества трансформаторов здание подстанции может включать два или три отсека, в которых устанавливается основное и вспомогательное оборудование. В его состав обычно входят:

- силовые трансформаторы;
- устройства ввода и вывода воздушных и кабельных линий;
- распределительные устройства;
- система электропитания для собственных нужд;
- система защиты и автоматики;
- система заземления и защиты от молний;
- вспомогательные, бытовые, хозяйственные и другие системы.

Главным элементом подстанции является силовой трансформатор, выполняющий непосредственное преобразование электроэнергии для ее транспортировки по линиям электропередачи.

Устройства ввода и вывода высоковольтных цепей представляют собой проходные изоляторы, к которым подключаются шины. Распределительные устройства обеспечивают коммутацию цепей и их защиту. Для обеспечения безопасного режима работы подстанции имеются различные устройства защиты и автоматики.

Для управления средствами обеспечения собственных нужд подстанции применяются комплектные устройства - щиты переменного и постоянного тока. Щит переменного тока обеспечивает, кроме коммутации, защиту цепей переменного тока и автоматический переход на резервную линию электропередачи. Щит постоянного тока предназначен для питания

всевозможной автоматики и работает совместно с аккумуляторной батареей и зарядным устройством для нее.

Для управления режимами работы оборудования подстанции нужно, прежде всего, иметь информацию о токах и напряжениях в различных цепях.

Тенденция всеобщей компьютеризации не обошла и трансформаторные подстанции. Выпускается и делается на заказ большое количество всевозможных электронных устройств, позволяющих в полной мере реализовать автоматизированное управление всем их оборудованием.

В нештатных ситуациях, когда от линии электропередачи не поступает электроэнергия, используются резервные источники питания.

Считается, что самым надежным источником питания вторичных устройств является аккумуляторные батареи. Именно они в большинстве ситуаций обеспечивают независимое (автономное) питание оперативных цепей, например, в случае исчезновения напряжения переменного тока или в случае провала напряжения при коротких замыканиях в сети.

1.1 Назначение АБ, устройство, принцип работы АБ

Аккумуляторные батареи являются резервным источником постоянного оперативного тока на АЭ 110-330-750 кВ. В аварийных режимах АБ должны обеспечить работу оборудования в течение 1 часа с необходимым уровнем напряжения. В качестве постоянно несущих нагрузку источников постоянного оперативного тока применяются выпрямительные устройства. При эксплуатации АБ должна быть обеспечена ее длительная надежная работа и необходимый уровень напряжения на шинах постоянного тока в нормальных и аварийных режимах, а так же необходимо обеспечить уровень напряжения у потребителей (например: напряжение на соленоидах включения и отключения выключателя).

Всех потребителей энергии, получающих питание от АБ, можно разделить на три группы:

1. Постоянно включенная нагрузка: постоянно включенное аварийное освещение, устройства управления, сигнализации и релейной защиты, которые постоянно обтекаются током;

2. Временная нагрузка, появляющаяся при исчезновении переменного тока: аварийное освещение, резервные источники питания связи и т.п. Длительность данной нагрузки определяется длительностью аварии;

3. Кратковременная нагрузка - это нагрузка создаваемая токами включения, отключения приводов коммутационных аппаратов (соленоиды включения выключателей, перепускные клапаны воздушной магистрали), устройств управления, сигнализации, защиты, кратковременно обтекаемых током.

Устройство АБ

Аккумуляторная батарея состоит из основных и концевых элементов. Основная группа элементов питает постоянно включенную нагрузку, концевые элементы последовательно подключены к основной группе и предназначены для покрытия пиковых кратковременных нагрузок. Каждый элемент имеет положительные и отрицательные электроды, выполненные в форме пластин.

Для предотвращения соприкосновения пластин разной полярности между ними устанавливаются сепараторы. Для фиксации положения электродов между крайними электродами и стенками сосуда установлены винилпластовые пружины.

Пластины помещаются в сосуд, который обладает высокой кислотоустойчивостью и не выделяет в электролит веществ, вредных для аккумуляторов. В качестве электролита применяют раствор серной кислоты. Для уменьшения выноса электролита пузырьками газа, который выделяется при зарядке аккумулятора, каждый сосуд закрывается покрывным стеклом. Стекло должно быть установлено под наклоном, для того чтобы электролит стекал в АЭ. Электролит, увлекаемый пузырьками газа, оседает на нижней стороне стекла и стекает обратно в сосуд.

Принцип работы аккумулятора

Принцип работы аккумулятора основан на поляризации свинцовых электродов. Под действием постоянного тока зарядного агрегата электролит разлагается на водород и кислород. Продукты разложения вступают в химическую реакцию со свинцовыми электродами. На положительном электроде, т.е. на электроде, присоединенном к плюсу зарядного агрегата, образуется двуокись свинца, а на отрицательном электроде, присоединенном к минусу зарядного агрегата - губчатый свинец.

При заряде сульфат свинца на отрицательном электроде восстанавливается до губчатого свинца, а на положительном электроде превращается в двуокись свинца. При этом образуется серная кислота и расходуется вода. Плотность электролита повышается.

Общие правила эксплуатации АБ

Эксплуатацию АБ осуществляют:

- работник, ответственный за эксплуатацию АБ (из числа ИТР АЭ, назначается приказом по МЭС);
- работник, ответственный за обслуживание АБ (с группой по электробезопасности не ниже 3, прошедший специализированное обучение, аттестацию и имеющий удостоверение на право производства работ по обслуживанию АБ, который назначается приказом по МЭС);
- ответственный за ремонт (аккумуляторщик СЦРВО);
- дежурные.

Все остальные могут находиться в помещении АБ только в сопровождении вышеперечисленных работников. Приточно-вытяжная вентиляция в помещении АБ должна включаться при заряде АБ выше 2,3 В на элемент и отключаться не ранее чем через 1,5 часа после окончания заряда АБ. А также вентиляция включается при осмотрах и при выполнении огневых работ. АБ должны эксплуатироваться в режиме постоянного подзаряда. Для АБ типа СК напряжение подзаряда должно составлять $2,2 \pm 0,05$ В на элемент.

Для других типов АБ напряжение подзаряда должно соответствовать требованиям завода-изготовителя. Подзаряд осуществляется от зарядных устройств (ЗУ). Зарядные устройства должны обеспечивать стабилизацию уровня напряжения на шинах ЩПТ с отклонениями, не превышающими требований завода-изготовителя, но не выше 2% номинального напряжения. Концевые элементы батареи должны иметь отдельное устройство подзаряда. В том случае, если отдельное устройство для подзаряда концевых элементов отсутствует, то их подзаряжают от общего зарядного устройства, которое включается на всю батарею, концевые элементы шунтируются балластным сопротивлением.

В аварийном режиме балластное сопротивление необходимо отключать. Ток подзаряда зависит от типа аккумулятора, напряжения постоянного подзаряда, температуры аккумулятора. Для свинцово - кислотных аккумуляторов типа СК ток подзаряда должен быть не меньше:

$$I_{\text{подз}} \geq 0,03N, \text{ А} \quad (1)$$

где N- номер аккумулятора

Более точное значение этой величины, обусловленное индивидуальными особенностями АБ, устанавливается в зависимости от плотности электролита. АБ должна эксплуатироваться без тренировочных разрядов и периодических перезарядов.

Для предотвращения сульфатации электродов один раз в год необходимо проводить уравнивающий заряд АБ (исключение составляют АБ с гелеобразным электролитом и электролитом, абсорбированным в сепаратор (технология «dryfit» и «AGM»)).

При выявлении значительного количества отстающих элементов (8-10 %) батарее назначается внеочередной уравнивающий заряд. Для аккумуляторных батарей типа СК не реже одного раза в год проверяется работоспособность АБ по спаду напряжения при толковых токах. Для остальных типов АБ - как определено заводом-изготовителем.

Напряжение полностью заряженного и исправного аккумулятора в момент толчка не должно снижаться более чем на 0,4 В/эл., по сравнению с напряжением перед проведением испытаний. Для АБ других типов следует руководствоваться инструкциями завода-изготовителя. Для обеспечения контроля за состоянием АБ, ежегодно выделяются контрольные элементы в количестве не менее 10% от общего числа АЭ.

По результатам инспекторских осмотров выбираются элементы с заниженной плотностью, напряжением, с отличающимся цветом электролита. Данные элементы должны дополнять список контрольных элементов.

Список контрольных элементов утверждается главным инженером МЭС. Контрольные элементы необходимо периодически менять. Аккумуляторное помещение должно содержаться в чистоте. Пролитый на пол электролит должен немедленно удаляться с помощью 10% раствора кальцинированной соды и сухих опилок. После этого необходимо помыть пол тряпкой, смоченной в растворе 5% кальцинированной соды, а затем смоченной в воде. Аккумуляторные банки, изоляторы ошиновки, стеллажи и их изоляторы во избежание снижения сопротивления изоляции должны систематически (по мере загрязнения и результатов замеров сопротивления изоляции) протираться ветошью, сначала влажной, смоченной в дистиллированной воде, а затем сухой. Температура в аккумуляторном помещении должна поддерживаться в пределах $+15^{\circ}\text{C} \div +25^{\circ}\text{C}$, но не ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

Не допускаются резкие изменения температуры в аккумуляторном помещении, чтобы не вызывать конденсации влаги и снижения сопротивления изоляции батареи.

Снижение температуры воздуха в помещении АБ приводит к снижению емкости АБ, увеличению вязкости и электрического сопротивления электролита. Повышение температуры воздуха в помещении АБ приводит к увеличению саморазряда, сульфатации, износу пластин. Наиболее важным фактором, который влияет на продолжительность работы фирменных АБ,

является температура, так как электрохимические процессы в свинцово-кислотных аккумуляторах в большей степени зависят от ее величины. Особенно это относится к герметичным аккумуляторам. Оптимальная температура в помещении АБ составляет 20°C. При увеличении температуры в помещении АБ выше 20°C - снижается срок службы АБ. Электроды в АЭ должны быть всегда покрыты электролитом. Уровень электролита в аккумуляторах всегда должен быть на 10÷15 мм выше верхнего края электродов. Для контроля уровня электролита необходимо на каждой банке АБ, со стороны прохода, нанести метки верхнего и нижнего уровня электролита.

Нижняя метка должна наноситься на 10 мм выше верхнего края электродов. Расстояние между метками составляет 20 мм. Во время эксплуатации необходимо следить за положением покрывных стекол. Покрывное стекло не должно выходить за стенки баков.

Сопротивление изоляции АБ с номинальным напряжением 220 В должно быть не ниже 100 кОм. В помещении АБ не должно быть посторонних предметов. Материалы, запасные части для ремонта АБ, электролит, концентрированная серная кислота, емкости с дистиллированной водой, бутылки с раствором питьевой соды должны храниться в отдельном помещении, возле помещения АБ. Работы по обслуживанию аккумуляторной батареи должны отражаться в аккумуляторном журнале. Форма журнала указана в приложении №4. В нем должны фиксироваться:

- напряжение и ток подзаряда всей АБ;
- напряжение, плотность и температуру электролита в контрольных элементах;
- температуру воздуха в помещении АБ;
- неисправности, замеченные во время обходов и осмотров.

Ввод АБ в эксплуатацию после ремонта, монтажа производится по специально разработанным программам. Технические характеристики и надежность работы АБ гарантируется при условии соблюдения требований

технической документации на конкретный тип АБ Вход в помещение АБ должен быть из тамбура. Устройство входа из бытовых помещений не допускается. В помещении АБ к сети аварийного освещения должно быть подключено не менее одного светильника.

1.2 Режимы работы аккумуляторных батарей

Режим постоянного подзаряда

Аккумуляторная батарея должна эксплуатироваться в режиме постоянного подзаряда. При данном режиме значительно увеличивается срок службы АБ. Так как аккумуляторная батарея в любой момент времени является полностью заряженной, то при этом обеспечивается полноценный резерв питания сети постоянного тока, таким образом повышается надежность работы электроустановки.

Полностью заряженная батарея включается на шины постоянного тока ЩПТ параллельно с постоянно работающим выпрямительным устройством, которое питает постоянно включенную нагрузку и обеспечивает подзаряд малым током батареи, компенсируя ее саморазряд.

Концевые элементы АБ также должны работать в режиме постоянной подзарядки. В случае аварии на стороне переменного тока, отключения ЗУ, а также при возникновении значительной кратковременной нагрузки (работа соленоидов приводов выключателей) напряжение на выходе ЗУ падает и всю нагрузку принимает на себя АБ. После прекращения скачка нагрузки (или восстановления нормальной работы ЗУ) АБ возвращается в режим постоянного подзаряда.

При постоянном подзаряде нормальный режим полностью заряженной АБ характеризуется напряжением на зажимах АЭ в пределах $2,20 \pm 0,05$ В, плотностью электролита в пределах $1,20 \div 1,21$ г/см³. Точные значения напряжения и тока подзаряда, определяемые индивидуальными свойствами каждой батареи, устанавливаются в зависимости от плотности электролита. Если плотность электролита в элементах АБ снижается против начальной, то это свидетельствует о недостаточной величине тока подзаряда.

На чрезмерный ток подзаряда указывает усиленное выпадение в сосуд шлама коричневого цвета. Для фирменных аккумуляторных батарей (GroE, OGi,) напряжение подзаряда должно составлять 2,23(+0,1В; -0,05В) при температуре окружающей среды 20°C. Для других типов фирменных АБ (LS, Sonnenschein, и др.) напряжение подзаряда должно соответствовать требованиям технической документации завода-изготовителя на конкретный тип АБ.

Температура электролита в АЭ не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 3 °С. При эксплуатации герметичных АБ в буферном режиме напряжение подзаряда и его корректировку, в зависимости от температуры, необходимо производить в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя.

Режим заряда АБ

При условии соблюдения требований эксплуатации, а также в зависимости от состояния АБ, местных условий, типов зарядных устройств допускается применение любых известных методов зарядки и их модификаций:

- при постоянной силе тока;
- при плавно спадающей силе тока;
- при постоянном напряжении.

Во время зарядки, через соответствующие интервалы времени, необходимо измерять и регистрировать необходимые параметры (U, ρ, t) для контроля состояния АБ, а также должны быть исключены условия возникновения недопустимых уровней напряжения и тока зарядки, температуры электролита и процессов интенсивного газообразования.

Заряды при постоянной силе тока и при плавно спадающей силе тока рекомендуется проводить после аварийных разрядов, когда необходимо быстро сообщить АБ емкость не менее 90% от номинальной не позднее чем через 8 ч. после разряда.

Это объясняется тем, что заряды при постоянной силе и при плавно спадающей силе тока сопровождаются сильным «кипением» и напряжение на элементе в конце заряда может достигать значений $2,6 \div 2,7$ В, что вызывает усиленный износ электродов.

В остальных случаях, когда нет ограничений по времени зарядки АБ, рекомендуется зарядку АБ проводить при постоянном напряжении. Заряд АБ при постоянной силе тока проводится в одну или две ступени.

При двухступенчатом заряде зарядный ток (далее $I_{зар}$) первой ступени для аккумуляторов типа СК не должен превышать $0,25 \cdot C_{10}$, для фирменных аккумуляторов (в зависимости от типа) - $0,7 \cdot C_{10}$ (до достижения на аккумуляторе напряжения 2,4 В). При достижении напряжения $2,3 \div 2,35$ В на аккумулятор (для АБ типа СК) и 2,4 В для фирменных АБ заряд переводится на вторую ступень. При этом ток заряда не должен превышать: для АБ типа СК $I_{зар} = 0,12 \cdot C_{10}$ для некоторых типов фирменных АБ- $0,35 \cdot C_{10}$. Заряд в одну ступень ведется током не более $I_{зар} = 0,12 \cdot C_{10}$ для АБ типа СК, и $0,15 \cdot C_{10}$ для фирменных АБ. Заряд ведется до тех пор, пока напряжение и плотность электролита установится, и не будет снижаться в течение одного часа ($U = 2,30 \div 2,35$, $\rho = 1,20 \div 1,21$ г/см³) - для АБ типа СК.

Заряд фирменных АБ продолжается до тех пор, пока напряжение и плотность электролита установится, и не будет снижаться в течение двух часов ($U = 2,60 \div 2,8$; $\rho = 1,24 \pm 0,01$ г/см³). Зарядка при постоянном напряжении $2,15 \div 2,35$ В на АЭ. При этом ток может превышать значение $I_{зар} = 0,25 \cdot C_{10}$, но затем автоматически понижается до $I_{зар} = 0,05 \cdot C_{10}$. Заряд в две ступени производится следующим образом: максимальный ток заряда первой ступени не должен превышать значение $I_{зар} = 0,25 \cdot C_{10}$. Заряд ведется до напряжения $2,15 \div 2,35$ В на АЭ. Затем при переходе на вторую ступень заряд ведется при постоянном напряжении от 2,15 до 2,35 В на АЭ.

Признаки окончания заряда те же, что фирменных АБ проводится при постоянном напряжении (2,25-2,30 В) при этом начальный ток заряда будет $(0,1-0,3) \cdot C_{10}$. Заряд в две ступени производится так: ток первой ступени

заряда не должен превышать значение $I_{зар}=(0,1-0,15)*C10$. Заряд ведется до напряжения 2,35 В на АЭ, а затем поддерживается постоянное напряжение заряда $(2,23\pm 1\%)$ В на АЭ, при этом ток заряда автоматически постепенно снижается. При заряде АБ сообщается не менее 115% емкости от снятой при предшествующем разряде.

Во время заряда АБ температура электролита не должна превышать 40°C. При температуре электролита более 40°C необходимо снизить зарядный ток до значения, обеспечивающего необходимую температуру. При заряде фирменных аккумуляторов не допускается повышение температуры электролита больше чем 55 °С. При проведении заряда необходимо фиксировать параметры.

Объем необходимых измерений при заряде АБ. Периодичность измерения. Фиксируемые параметры

Перед зарядом U, ρ, во всех элементах; t электролита в контрольных элементах; U на шинах АБ; время замера.

Через 10 мин. после начала заряда U, во всех элементах; t электролита в контрольных элементах; U на шинах АБ; время замера; Ток заряда. Через 1 час. Ток заряда; U на шинах АБ; время замера; t электролита в контрольных элементах; Емкость, полученную нарастающим итогом. Каждые 2 часа U, ρ, в контрольных элементах; t электролита в контрольных элементах; U на шинах АБ; время замера; Ток заряда; Емкость, полученную нарастающим итогом.

Перед переходом на вторую ступень U, ρ, во всех элементах; t электролита в контрольных элементах; U на шинах АБ; время замера; Ток заряда; Емкость, полученную нарастающим итогом. Через 30 минут после перехода на вторую ступень t электролита в контрольных элементах; U на шинах АБ; время замера; Ток заряда; Емкость, полученную нарастающим итогом.

Каждые 3 часа U, ρ, во всех элементах; U на шинах АБ; t электролита в контрольных элементах; время замера; Ток заряда; Емкость, полученную нарастающим итогом. При заметной стабилизации роста плотности и

напряжения каждый час U , ρ , во всех элементах; U на шинах АБ; t электролита в контрольных элементах; время замера; Ток заряда; Емкость, полученную нарастающим итогом. По окончании заряда (перед переводом ЗУ в режим постоянного подзаряда)

Во время заряда необходимо нарастающим итогом фиксировать емкость, сообщаемую АБ.

Например:

время замера - 1 час от начала заряда.

Сообщенная емкость:

$$C_1 = I_{зар} \cdot t_{зар} = I_{зар} \cdot 1(A \cdot ч); \quad (2)$$

$$C_{итоговая} = I_{зар} \cdot 1(A \cdot ч) \quad (3)$$

Время замера - 2 часа

после предыдущего снятия параметров:

$$C_2 = I_{зар} \cdot t_{зар} = I_{зар} \cdot 2(A \cdot ч); \quad (4)$$

$$C_{итоговая} = C_1 + C_2 (A \cdot ч). \quad (5)$$

Наиболее подходящим режимом заряда является заряд при постоянном напряжении, т.к. при напряжении 2,15÷2,35 В на АЭ обеспечивается возможность поддержания на шинах питания устройств РЗА напряжения в пределах допустимых значений путем перевода их на 100й элемент, что позволяет вести заряд при $U = 2,35$ В на АЭ. При переводе АБ в режим заряда необходимо контролировать величину тока заряда (не более $0,25 \cdot C_{10}$) регулировкой напряжения на зарядных устройствах. Т.е. в начале заряда устанавливается напряжение, обеспечивающее ток заряда не более $0,25 \cdot C_{10}$ и по мере уменьшения тока зарядное напряжение повышается до 2,15÷2,35 В на АЭ.

После аварийного разряда аккумуляторной батареи последующий ее заряд до емкости равной 90% от номинальной, должен быть осуществлен не позднее чем через 8 часов после разряда. Первую стадию заряда ведут максимальным током заряда для данного типа батареи ($I = 9 \cdot N$) при помощи ЗУ. Если ток одного ЗУ не достаточный, то параллельно подключается второй ЗУ.

Такой ток поддерживается до тех пор, пока напряжение на батарее не достигнет значения $2,3 \div 2,4$ В на АЭ и не начнется заметное газовыделение. Ток заряда снижают в 2 раза, и этим током заряжают батарею до тех пор, пока напряжение не достигнет опять $2,4$ В на элемент.

Ток заряда еще раз снижают в 2 раза и этим током доводят заряд до конца. Окончание заряда устанавливают по совокупности трех параметров:

- напряжение батареи достигло $2,5 \div 2,7$ В на элемент и в течение 1 часа держится неизменным;
- плотность электролита достигла $1,20 \div 1,21$ г/см³ и в течение 1 часа держится неизменной;
- сильное газообразование, пузырьки газа крупные, выделяются с электродов обеих полярностей.

Уравнительный заряд АБ

Одинаковый ток подзаряда даже при оптимальном напряжении подзаряда батареи может быть недостаточным для поддержания всех элементов батареи в полностью заряженном состоянии. Это происходит из-за различий в саморазряде отдельных элементов.

Для приведения всех элементов АБ в полностью заряженное состояние и для предупреждения сульфатации электродов необходимо проводить уравнительные заряды напряжением $2,30 \div 2,35$ В на элемент до достижения установившегося значения плотности электролита во всех элементах $1,20 \div 1,21$ г/см³ при температуре 20 °С. Уравнительный заряд проводят по программе.

Производить уравнильный заряд батареи должен работник, ответственный за эксплуатацию АБ. Для фирменных батарей необходимость, периодичность и условия выполнения уравнильных зарядов определяют в соответствии с технической документацией фирм-поставщиков или заводоизготовителей.

Частота проведения уравнильных зарядов и их продолжительность зависят от состояния батареи и должны быть не реже одного раза в год с продолжительностью не менее 6 часов. На тех АБ, где по условию работы электроустановки напряжение подзаряда может поддерживаться только на уровне 2,15 В на элемент, уравнильные заряды необходимо проводить ежеквартально. Если во время контроля отклонение напряжения на АЭ превышает среднее значение на $\pm 0,05$ В, то необходимо дополнительно проконтролировать плотность электролита в этом элементе (и при необходимости скорректировать ее).

Если в АБ имеются единичные элементы с пониженным напряжением и сниженной плотностью электролита (отстающие аккумуляторы), то для них необходимо проводить дополнительный уравнильный заряд от отдельного выпрямительного устройства. Уравнильный заряд производится без вывода АБ из работы. Зарядное устройство включается по схеме заряда на все элементы (основные и концевые). Номинальное напряжение на шинах постоянного тока поддерживается при помощи переключения шинок управления в положение 100го элемента. Для выравнивания тока заряда необходимо подключить дополнительное разрядное сопротивление между 100м и последним элементом (R_{H1}).

В том случае, если аккумуляторная батарея имеет дополнительные элементы, то необходимо подключить дополнительное разрядное сопротивление параллельно этим элементам (R_{H2}).

Возможен вариант использования одного регулируемого сопротивления, в нормальном режиме подключенного между 108-120 эл., которое при уравнильном заряде подключается к 100 - 120 эл.

Контрольный разряд АБ

Контрольный разряд АБ на АЭ производится с целью определения ее фактической емкости током 10ти или 3х часового режима разряда. Решение о проведении контрольного разряда оформляется после анализа ее состояния и работоспособности по результатам инспекторских осмотров, проверки толчковым током, наличии значительного количества отстающих элементов, наличии невыясненных причин отказов включения масляных выключателей.

Контрольный разряд выполняет лицо, ответственное за эксплуатацию АБ, при наличии разрешенной заявки и в соответствии с утвержденной главным инженером МЭС программой. Перед контрольным разрядом АБ необходимо произвести уравнивающий заряд АБ. Перед началом разряда необходимо зафиксировать дату разряда, напряжение, плотность электролита каждого АЭ и температуру в контрольных элементах.

Глубина разряда должна строго контролироваться по двум параметрам:

- по напряжению;
- плотности электролита.

Если контрольный разряд проводится током 3х или 10ти часового режима разряда, то в этом случае разряд должен прекращаться при достижении хотя бы на одном элементе напряжения 1,8 В.

При разряде малыми токами разряд должен прекращаться:

- при снижении напряжения до 1,8 В хотя бы на одном элементе;
- при снижении плотности электролита до значения $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ (на $0,03 \div 0,05 \text{ г/см}^3$ против первоначальной плотности в начале разряда);
- при снятии номинальной емкости 10ти часового режима разряда.

При разряде не допускается отнимать от АБ емкость, большую гарантированной для данного режима разряда. Во время разряда на контрольных и отстающих АЭ следует измерять температуру и плотность электролита.

Объем необходимых измерений при разряде АБ

Перед включением на разряд U, t, ρ

Через 10 мин. после начала разряда U

Каждые 2 часа (отсчитывая от включения) для 10- часового режима разряда U, t

Ежечасно (отсчитывая от включения) для трех часового режима разряда U, t

В конце разряда U, t, ρ

В конце разряда на всех элементах АБ необходимо измерить и записать напряжение, температуру и плотность электролита, а также напряжение между полюсами АБ и между каждым полюсом и «землей».

Отобрать пробы электролита из контрольных элементов для химического анализа и проверки содержания примесей в электролите. После первого года эксплуатации анализ электролита необходимо выполнить из всех элементов АБ. Значение тока разряда каждый раз должно быть одно и то же. Результаты измерений при контрольных разрядах должны сравниваться с результатом измерений предыдущих разрядов. Их значения не должны отличаться более чем на 10 %. Если при контрольном разряде выяснится, что емкость АБ значительно отличается от номинальной, необходимо проверить емкость электродов при помощи кадмиевого электрода и в зависимости от результатов проверки наметить мероприятия по восстановлению емкости АБ.

Проверка АБ толчковым током

На подстанциях не меньше одного раза в год необходимо проверять работоспособность АБ типа СК по падению напряжения при толковых токах. Для других типов АБ - как определено заводом - изготовителем. Проверка АБ толчковым током проводится на основании разработанной программы, при наличии разрешенной заявки на проведение испытаний. Программа испытаний АБ толчковым током должна утверждаться главным инженером МЭС и согласована со службами САЭ и СРЗА Северной ЭС.

В программе четко описывается порядок проведения испытаний, и назначаются ответственные лица. Перед проведением проверки АБ толчковым током, необходимо провести ее уравнительный заряд. Проверка АБ

толчковым током осуществляется с применением специальной установки УВАБ-1.

Проверка ведется током, превышающим ток одночасового режима разряда, но не более чем в 2,5 раза ($I_{толчка} = 46 * N_{\text{аб}}$, где $N_{\text{аб}}$ - номер АБ). Длительность толчка не должна превышать 5 сек. Напряжение полностью заряженного исправного АЭ при этом не должно снизиться более чем на 0,4 В от исходного (перед толчком) напряжения.

Полученные значения тока и напряжения должны сравниваться с результатами предыдущих измерений. При снижении напряжения больше чем на 10% от предыдущих испытаний следует проанализировать необходимость замены отдельных АЭ или необходимость проведения уравнивающего заряда.

2 ЭКСПЛУАТАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

При эксплуатации аккумуляторных установок должны обеспечиваться их длительная, надежная работа и необходимый уровень напряжения на шинах постоянного тока в нормальных и аварийных режимах.

- Для аккумуляторных батарей наиболее важными показателями их состояния являются: напряжение и плотность электролита каждого элемента. Поэтому не реже 1 раза в месяц необходимо проверять напряжение, плотность и температуру электролита каждого элемента с записью в специальный журнал.

- Аккумуляторная батарея должна эксплуатироваться в режиме постоянного подзаряда, напряжение подзаряда должно соответствовать заводской инструкции.

- Для заряда и подзаряда аккумуляторной батареи на подстанции установлены и используются выпрямительные установки типа УЗВ.

- Не реже одного раза в год должен производиться уравнивающий заряд батареи до достижения установившегося наличия плотности электролита во всех элементах 1,24 г/см³ при температуре +20°С.

- Следует иметь в виду, что если при измерении плотности электролита не учитывать его температуру, то могут возникнуть ошибки. При повышении температуры электролита его плотность понижается, при понижении температуры плотность повышается.

- Температура электролита не должна превышать + 40° С.

- Не менее одного раза в год должна проверяться работоспособность батареи по падению напряжения при толковых токах.

- Кратковременные толчки батарею практически не разряжают, и после снятия толчка напряжение батареи должно восстанавливаться.

- Сопротивление изоляции новой батареи напряжением 220 В должно соответствовать заводской инструкции, находящейся в эксплуатации

- не менее 100 кОм.

- Анализ электролита аккумуляторной батареи должен производиться ежегодно по пробам, взятым из контрольных элементов, количество которых устанавливается главным инженером предприятия магистральных электрических сетей (ПМЭС) в зависимости от состояния батареи.

- На подстанции, в помещении аккумуляторных батарей установлена принудительная приточно-вытяжная вентиляция, которая включается перед проведением работ.

- Летом для проветривания и при зарядах разрешается открывать окна, если наружный воздух не запылен и отсутствуют прямые солнечные лучи, направленные на элементы аккумуляторной батареи.

- Температура в помещении аккумуляторной должна поддерживаться не ниже +10 °С. Не допускаются резкие изменения температуры в аккумуляторном помещении, так как это может вызвать конденсацию влаги на сосудах и изоляторах, что приведет к снижению изоляции батареи.

- Емкость аккумуляторной батареи, приведенная к температуре + 20 °С, должна соответствовать заводским данным.

- Должно вестись постоянное наблюдение за состоянием кислотоупорной покраски стен, вентиляционных коробов, металлоконструкций и стеллажей.

- Все дефектные места должны подкрашиваться. При покраске стеллажей не допускается закрашивать стеклянные изоляторы под аккумуляторными банками.

- Смазка контактов вазелином должна периодически возобновляться.

- Аккумуляторные баки, изоляторы, ошиновки, изоляторы под сосудами, стеллажи во избежание снижения изоляции батареи должны систематически протираться ветошью, сначала влажной, смоченной в растворе соды, а затем сухой.

- Аккумуляторное помещение должно содержаться в чистоте. Пролитый на пол электролит должен немедленно удаляться с помощью сухих опилок,

после этого пол должен протираться тряпками, смоченными в растворе кальцинированной соды.

- В аккумуляторном помещении не должны находиться какие-либо посторонние предметы. Допускается только хранение бутылей с электролитом, дистиллированной водой и с раствором пищевой соды. Концентрированная серная кислота должна храниться в отдельном помещении, «кислотной».

- Ремонт и устранение неисправностей осуществляет аккумуляторщик. Приемкой аккумуляторных батарей после монтажа и ремонта, ее эксплуатацией и техническим обслуживанием должно руководить лицо, ответственное за эксплуатацию электрооборудования подстанции.

Доливка электролита в аккумуляторные батареи

- Во всех аккумуляторах независимо от режима их работы имеет место испарение воды из электролита. Во избежание сульфатации верхних кромок аккумуляторных пластин их контакт с открытым воздухом не допускается ни в коем случае. Стандартно в аккумуляторах уровень электролита должен поддерживаться на 10-15 мм выше кромки пластин. В случае снижения уровня электролита до отметки «тт», аккумуляторы должны немедленно доливаться дистиллированной водой.

- Доливку следует производить в придонную часть сосуда с помощью резиновой, стеклянной, хлорвиниловой трубки с воронкой или с помощью резинового шланга со стеклянной трубкой на конус. Трубка вводится в сосуд, не достигая дна 5-7 см.

- Доливка электролита требуется очень редко и без предварительной проверки плотности электролита, не допускается.

- Если измерения покажут, что плотность электролита в большинстве элементов ниже $1,2 \text{ г/см}^3$ и, что это не вызвано коротким замыканием или другими неисправностями, эти элементы можно долить электролитом с удельным весом $1,18 \text{ г/см}^3$ при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Вода и кислота, применяемые для доливки аккумуляторов должны

быть предварительно проверены в химической лаборатории на отсутствие вредных примесей (хлора, железа и других).

Оперативное обслуживание аккумуляторной батареи

1. Осмотры аккумуляторных батарей делятся на текущие и инспекционные.

2. Текущие осмотры аккумуляторных батарей проводятся по графику персоналом, обслуживающим батарею.

3. Инспекционные осмотры проводятся двумя лицами: работником, обслуживающим батарею и лицом, ответственным за эксплуатацию электрооборудования подстанции.

4. Текущий осмотр проводится 1 раз в сутки, при этом проверяется:

- уровень электролита в банках;
- чистота банок, стеллажей и пола;
- раз в неделю: напряжение, плотность и температура электролита в контрольных элементах (напряжение, плотность электролита в каждом аккумуляторе - не реже 1 раза в месяц);

- напряжение на шинах и ток подзаряда;
- вентиляция и отопление (зимой);
- наличие небольшого выделения пузырьков газа во всех элементах;
- уровень и цвет шлама в прозрачных баках.

5. Во время инспекционного осмотра проверяются:

- напряжение и плотность электролита во всех аккумуляторах батареи;

- состояние ошиновки, контактов;
- отсутствие дефектов, приводящих к коротким замыканиям;
- состояние электродов (коробление, чрезвычайный рост положительных электродов, наросты на отрицательных электродах, сульфатация электродов;

- сопротивление изоляции.

6. Если в процессе осмотра оперативным персоналом выявлены

дефекты, то производится запись в «Журнале дефектов и неполадок с оборудованием» и докладывается об этом начальнику подстанции или лицу, исполняющему его обязанности. Способ и срок устранения дефекта определяется начальником подстанции или лицом исполняющего его обязанности.

7. Сопротивление изоляции измеряется с помощью устройства контроля изоляции на шинах щита постоянного тока. Сопротивление изоляции аккумуляторной батареи должно быть не менее 100 кОм при напряжении 220 В.

8. В процессе эксплуатации необходимо вести периодический контроль за системой вентиляции аккумуляторной. В режиме постоянного подзаряда и уравнивающего заряда до 2,3 В на элемент в помещении должна осуществляться вентиляция, обеспечивающая не менее чем однократный обмен воздуха в час.

9. При обслуживании аккумуляторной батареи оперативным персоналом, согласно графику технического обслуживания, проводить визуальный осмотр работ вентиляции. При осмотре проверять:

- засоренность приточной и вытяжной вентиляционных камер мусором, пылью и т.п.;
- отсутствие посторонних предметов в помещении вентиляционных камер;
- исправное состояние коробов, вентиляционных решеток;
- рабочее состояние двигателей системы вентиляции подачей рабочего напряжения.

3 ТИПЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ, УСТАНОВЛЕННЫХ В АО «ДРСК» И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Доля промышленных АКБ в продажах на мировом рынке химических источников тока, включающем непerezаряжаемые или первичные элементы и батареи, составляет около 17% [1]. Если отдельно рассматривать сектор рынка перезаряжаемых или аккумуляторных батарей, то здесь доля промышленных АКБ оценивается более чем 25%. В настоящее время, по оценке различных экспертов, от 80 до 90% промышленных батарей свинцово-кислотные. Почти все остальное занимают батареи на основе аккумуляторов со щелочным электролитом никель-кадмиевой электрохимической системы. Применяемость как промышленных аккумуляторов относительно новых электрохимических систем никель-металлогидридных, где так же применяется щелочной электролит, так и литий-ионных (электролит органический) достаточно мала.

Ситуация на российском и ряда стран СНГ рынке промышленных батарей отличается большей долей (в отдельных сегментах до 50% и более) применения щелочных АКБ.

Регулярных поставок в Россию никель-металлогидридных и литий-ионных электрохимических систем, в описанные выше традиционные зоны использования промышленных АКБ с емкостью более 100 Ач источников, не зафиксировано. Имеют место поставки новых батарей небольшой емкости (менее 50 Ач) в относительно новый и растущий рыночный сегмент источников бесперебойного питания (ИБП) малой мощности. Такие ИБП используются в системах охранной сигнализации и специальной связи, технологического контроля и тому подобных устройствах. В этом сегменте литий-ионные АКБ находят применение, конкурируя с герметичными свинцово-кислотными, никель-металлогидридными и герметичными никель-кадмиевыми батареями.

При выборе батарей или согласовании требований к ним в отдельных случаях, в зависимости от реальных условий эксплуатации, учитываются следующие параметры:

- стойкость к воздействию внешних механических факторов или механическая прочность;
- способность к быстрому заряду, когда заряд проводится большими токами, но за меньшее время;
- мощность, то есть способность к разряду большими токами.

1. Низкая первичная стоимость АКБ (Цена)

2. Большая энергоёмкость аккумуляторов (Ёмкость)

3. АКБ легкая и меньшая по размерам (Большая удельная энергия)

4. Большой срок службы (годы) или ресурс АКБ (циклы)

5. АКБ необслуживаемая (Мал объем работ по обслуживанию)

6. Батарея хорошо сохраняема (Низкий саморазряд)

7. АКБ работоспособна в широком диапазоне температур (или только при низких или высоких температурах)

8. Батарея безопасная при эксплуатации

9. АКБ легко утилизируема

Рисунок 1 – Факторы влияющие на выбор АКБ

У отдельных потребителей промышленных АКБ отмечается стремление иметь батареи, требующие меньшего объема работ по уходу за ними при эксплуатации, в то же время придавая большее значение показателю «необслуживаемости».

В филиале АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» по Благовещенскому РЭС в настоящее время используются следующие виды АКБ: из 26 подстанций на 9 установлены свинцово-кислотные открытые обслуживаемые, на остальных 17 установлены свинцово-кислотные герметичные необслуживаемые АКБ.

Сравним данные о сроках службы и ресурсах применяемых в филиале АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» по Благовещенскому РЭС.

Таблица 1 – Сравнение характеристик АКБ

Электрохимическая система, конструктивное исполнение аккумуляторов	Удельная энергия		Характерная удельная мощность	Относительная стоимость единицы энергии
	Вт ч/кг	Вт ч/л		
Свинцово-кислотная, герметичный	20-50	50-150	от умеренной до высокой	0,8-1,8
Свинцово-кислотная, открытый				0,4-1,5

Режим постоянного подзаряда батарей характерен для стационарных систем аварийного электроснабжения. В этом режиме использования АКБ полный разряд аккумуляторов с последующим зарядом крайне редок, но батарея постоянно подзаряжается для компенсации потери емкости от саморазряда.

Зависимость параметров от электрохимической системы также ярко выражена, как и колебания параметров, иногда в широком диапазоне, зависящие от примененных конструктивно-технологических решений. Нельзя не отметить зависимость ресурса работы аккумуляторов от глубины разряда в режиме постоянного циклирования.

Основной упор делается на исключение операций связанных с электролитом: замена и корректировка электролита, контроль уровня и качества электролита. Окончательно решить эту проблему позволяет герметизация аккумуляторов. Способы частичной или полной герметизации аккумуляторов производителям АКБ известны [5; 7; 8]. Вполне очевидно, что герметизация аккумуляторов в той или иной мере увеличит стоимость батарей. Кроме того, полная или частичная герметизация аккумулятора

потребуется применение «умных» зарядных устройств, обеспечивающих многоступенчатый и контролируемый режим заряда [6; 7; 8]. Отказ от таких автоматически управляемых зарядных устройств (УЗУ) и (или) контроллеров, сведет на нет все усилия и затраты изготовителя малоуходного аккумулятора или даст резкое сокращение срока эксплуатации батарей.

Задачу по укомплектованию мало-уходной аккумуляторной батареи УЗУ можно решать различными способами, например:

1. изготовитель батареи поставляет УЗУ (и коллекторы) вместе с батареей, как отдельный элемент, или батарея поставляется собранной в одном корпусе с УЗУ;
2. изготовитель батареи поставляет ее изготовителю изделия, а изготовитель изделия (вагона, системы аварийного электроснабжения, блока бесперебойного питания и тому подобного) устанавливает АКБ в своем изделии, имеющем необходимое УЗУ;
3. батарея поставляется потребителю, а он сам решает вопрос приобретения УЗУ.

В любом случае, стоимость реализации функции малоуходной батареи увеличивается еще на стоимость УЗУ.

Работоспособность при различных температурах

Данные, характеризующие относительную работоспособность различных аккумуляторов от температурных условий приведены в Таблице 3.

В части, характеризующей влияние температуры на работоспособность щелочных никель кадмиевых и свинцово-кислотных аккумуляторов, необходимо учитывать следующее [2]:

1. повышение температуры на 10°C сверх нормальной температуры эксплуатации 25°C срок службы никель-кадмиевых батарей снижается на 20%, а свинцово-кислотной на 50%. При температуре эксплуатации 50°C свинцово-кислотная батарея сокращает свой срок службы примерно в 7 раз по сравнению с эксплуатацией при нормальной температуре;

2. при минус 20°С емкость никель-кадмиевых аккумуляторов снижается до 80% от номинальной. Свинцово-кислотные аккумуляторы при минус 20°С теряют 50% номинальной емкости.

Таблица 2 – Ресурсы работы АКБ

Электрохимическая система, конструктивное исполнение аккумуляторов	Ресурс в стандартном* режиме постоянного циклирования, циклы	Срок службы в режиме постоянного подзаряда, годы	Потеря емкости при хранении в заряженном состоянии, % / месяц
Свинцово-кислотная, герметичный	500	3-10	10-15
Свинцово-кислотная, открытый	500-2000	10-25	15-20

Примечание:

** При стандартном режиме циклирования, рекомендуемом для стендовых ресурсных испытаний, принято разряжать аккумуляторы с отбором 80% номинальной емкости.*

Трудно представить абсолютно безопасную аккумуляторную батарею, являющуюся по определению, накопителем энергии. Тем более, это относится к АКБ промышленного назначения, когда накапливается весьма значительная энергия. Безопасность батарей обеспечивается реализуемыми мерами, как внутреннего, так и внешнего характера, исключая воздействие на человека и окружающую среду возможных вредных факторов (электрическое напряжение, вредные выделения и подобного), а так же исключая возгорание и взрыв АКБ. При этом должна обеспечиваться безопасность, как при нормальном с ней обращении, так и в нештатных ситуациях. К мерам внутреннего характера относятся конструктивные и другие реализуемые в аккумуляторах или батарее решения в процессе их изготовления. Внешние меры реализуются установкой дополнительных

устройств вне батареи и выполнением определенных мероприятий у потребителя, рекомендуемых, как правило, в передаваемых изготовителем пользователю батарей руководствах по эксплуатации.

Таблица 3 – Диапазоны рабочих температур АКБ

Электрохимическая система, конструктивное исполнение	Диапазон рабочих температур, рекомендуемый изготовителями	Относительная работоспособность при низкой температуре*	Относительная работоспособность при высокой температуре*
Свинцово-кислотная, герметичный	-20 - +40	неработоспособен	низкая
Свинцово-кислотная, открытый	-20 - +50	неработоспособен	низкая или умеренная

Примечание:

** За работоспособность принимается способность отдавать емкость при указанной в скобках температуре окружающей среды.*

Технологии утилизации свинцово-кислотных батарей с возвратом свинца вновь в аккумуляторное производство широко используются во всем мире, включая Россию.

Стойкость АКБ к воздействию внешних механических факторов определяется преимущественно конструкцией изделий и технологическими приемами изготовления. В настоящее время производители батарей могут обеспечить соответствие изделия требованиям условий эксплуатации по механической прочности. Свинцово-кислотные аккумуляторы имеют специальные исполнения рассчитанные на различные механические воздействия.

В условиях интенсивной эксплуатации батарей может приобретать важное значение такой показатель как скорость заряда. Маловероятно, что задача сокращения времени заряда АКБ будет решена для «старых» изделий.

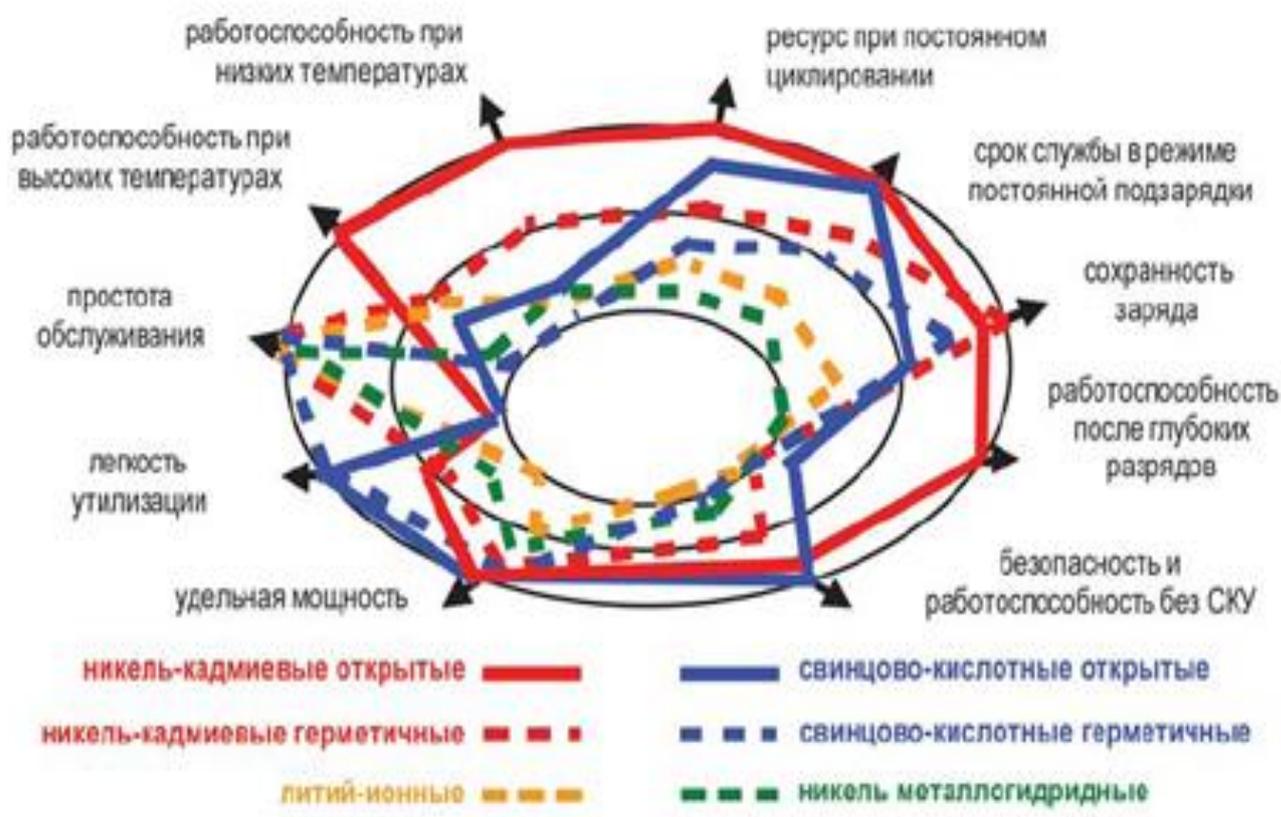


Рисунок 2 – Сравнение показателей АКБ различных электрохимических систем исполнения

На рисунке приведено сравнение рассмотренных выше технических и эксплуатационных характеристик батарей. Вполне очевидно, что нет одной электрохимической системы или конструктивного исполнения, абсолютно превосходящего другие по всем оцениваемым параметрам.

Таблица 4 – Сравнение ресурсов АКБ

Электрохимическая система, конструктивное исполнение аккумуляторов	Ресурс в стандартном режиме постоянного циклирования, циклы	Срок службы в режиме постоянного подзаряда, годы	Потеря емкости при хранении в заряженном состоянии, % / месяц
1	2	3	4
Литий-ионная	500-1000	до 5	5-25

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Никель-металлогидридная	400-700	до 5	15-25
Никель-кадмиевая, герметичный	700-800	до 20	до 10
Никель-кадмиевая, открытый	1000-2500	до 25	10-15
Свинцово-кислотная, герметичный	500	3-10	10-15
Свинцово-кислотная, открытый	500-2000	10-25	15-20

Трудно ожидать прорывного результата по повышению параметров, в большой мере зависящих от электрохимической системы, то есть, от физической и химической природы, например, таких как удельная энергия. Особенно для относительно «старых» систем — свинцово-кислотной и никель-кадмиевой.

Есть перспективы по улучшению потребительских свойств и свинцово-кислотных батарей и без того превалирующих сегодня на рынке промышленных АКБ.

Применение при решении задач повышения безопасности, сокращения затрат на обслуживание и повышения срока службы батарей «умных» зарядных устройств и систем контроля управления батареями, будет способствовать изменению самого образа АКБ. Аккумуляторная батарея все больше станет походить на некий «черный ящик» имеющий несколько

контактных выводов, когда потребителю останется только и забот что установить и подключить его. Во всяком случае, неизбежно расширение объемов комплектной поставки АКБ, когда с аккумуляторами будут поставляться зарядные устройства, а также блоки контроля и управления батареями.



Рисунок 3 – Соотношение стоимости и энергетических параметров для АКБ различных электрохимических систем

Не следует ожидать, что на рынке промышленных АКБ будет безраздельно представлена какая либо одна электрохимическая система. Более чем столетняя история промышленного производства и широкого использования химических источников тока тому подтверждение [2; 5]. Еще долго выражение, приведенное в известной монографии о химических источниках тока [5] будет верным: «хороший источник тока с приемлемыми показателями является хорошо сбалансированным компромиссом». Создание универсального или идеального аккумулятора остается неразрешимой задачей.

Аккумуляторы все еще имеют множество ограничений: необходимость частой перезарядки, ограниченная удельная мощность. Максимальным является 1й цикл работы аккумулятора, при последующих циклах он начинает терять свою эффективность.

Рассмотрим факторы, определяющие эффективность аккумуляторных батарей. Такими факторами являются:

- удельная энергоёмкость – это количество энергии, которую батареи могут аккумулировать;

- удельная мощность – это количество тока, которое может выдавать аккумулятор на единицу веса/объёма.

Характеристики аккумуляторных батарей, которые позволяют оценить их пригодность использования на подстанциях:

- удельная энергоёмкость – это количество энергии, которую батареи способны аккумулировать. Чем выше удельная энергоёмкость аккумулятора, тем дольше он может работать;

- удельная мощность – это количество тока, которое может выдавать аккумулятор на единицу веса/объёма;

- доступная цена;

- длительность жизненного цикла. Так как химический состав батареи не идеален, аккумуляторы имеют лимитированное количество циклов заряда/разряда – их малое количество приводит к ограниченному использованию аккумуляторов;

- высокий уровень безопасности;

- широкий рабочий диапазон - некоторые химические реакции плохо протекают при низких или высоких температурах, поэтому аккумуляторам важно иметь широкий температурный диапазон работы;

- низкая токсичность;

- быстрая зарядка;

- низкий уровень саморазряда - все аккумуляторы в состоянии покоя разряжаются в небольших количествах.

Рассмотрим методы повышения эффективности использования аккумуляторных батарей на подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети».

Первый метод заключается в обеспечении эффективной работы в гарантированный срок службы аккумуляторных батарей, путём использования системы постоянного контроля состояния аккумуляторов.

Второй метод заключается в повышении срока службы аккумуляторных батарей.

Третий метод заключается в создании гибридного накопителя.

Рассмотрим более подробно каждый из методов повышения эффективности использования аккумуляторов в энергосистеме.

3.1 Обеспечение эффективной работы в гарантированный срок службы

Одним из параметров, которыми характеризуются аккумуляторные батареи является время автономного питания нагрузки или, как еще говорят, «время резервирования». Данная величина зависит от емкости установленных в ней аккумуляторных батарей.

Следует отметить, что аккумуляторные батареи – это один из самых дорогостоящих элементов системы гарантированного электроснабжения, поскольку на практике за время срока службы аккумуляторные батареи меняются один, два, а то и три раза.

Для уменьшения затрат на обслуживание систем гарантированного электроснабжения сегодня применяются и широко используются выпрямители с высоким КПД, выпрямители с конвекционным охлаждением, удаленный мониторинг и управление. Но наиболее действенными, с точки зрения экономической эффективности, являются действия, направленные на увеличения срока службы аккумуляторных батарей до заявленного производителем.

Срок службы аккумуляторных батарей зависит от многих факторов. Но самым основным является правильное применение и обслуживание. Чтобы аккумуляторные батареи выдержали заявленный срок службы, не следует допускать их перегрева, недозаряда, глубокого разряда. Но не менее важно вовремя определить «слабое звено» в группе аккумуляторов и по возможности заменить его.

Определение «слабого звена» на ранней стадии позволит, как минимум, провести профилактические мероприятия, направленные на восстановление емкости аккумуляторного моноблока, как максимум избежать дорогостоящих простоев оборудования.

Задача выявления аккумулятора с ухудшенными характеристиками на ранней стадии – это комплексный процесс. Современные технологии, которые позволяют решить эту задачу с минимальными ресурсами и временными затратами – это технология измерения полной проводимости аккумуляторных батарей Midtronics.

Внутренняя проводимость аккумуляторных батарей

Внутренняя проводимость – это электрическая величина, которая определяет способность батареи проводить и отдавать электрический ток через свою внутреннюю структуру.

1. Измеряемая на низких частотах (20-100 Гц), проводимость является индикатором состояния годности и надежным прогнозным показателем окончания срока службы аккумуляторной батареи.

2. Может быть использована для определения дефектов ячеек, внутреннего замыкания пластин АКБ, которые могут привести к выходу аккумулятора из строя.

3. Линейно связана с остаточной ёмкостью аккумуляторной батареи, полученной измерением емкости методом нагрузочного тестирования (уровень корреляции не менее 95 %), 60 % проводимости соответствует 80 % емкости АКБ.

Ключевые факторы при использовании технологии:

1. Измерение проводимости не разряжает АКБ в процессе тестирования, тем самым не оказывает влияния на ее состояние;

2. Проводимость падает с уменьшением емкости аккумулятора, образуя четкую взаимосвязь между двумя параметрами.

3. Не требуется отключения полезной нагрузки;

Классическая эквивалентная схема аккумуляторного элемента представлена на рисунке.

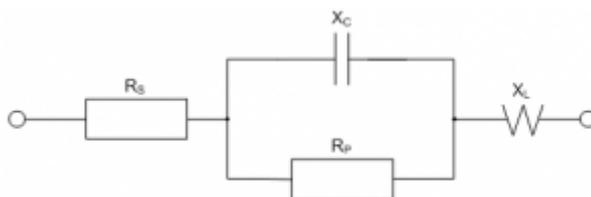


Рисунок 4 - Эквивалентная схема элемента аккумуляторной батареи

Классический метод расчета проводимости основан на методе расчете полного внутреннего сопротивления АКБ. Полное внутреннее сопротивление будет определяться как сумма составляющих сопротивлений:

$$R_z = R_s + jX_L + \left(\frac{R_p \cdot (-jX_c)}{R_p - jX_c} \right) \quad (6)$$

где R_s – сопротивление металлических частей аккумуляторной батареи, а также сопротивление сепараторной пластины и электролита;

R_p – омическое сопротивление пластин аккумуляторной батареи;

X_c – сопротивление эквивалентной электростатической емкости;

X_L – сопротивление эквивалентной индуктивности (пренебрежимо мало и в расчетах может не учитываться).

Полная внутренняя проводимость является обратной величиной от полного внутреннего сопротивления:

$$G = \frac{1}{R_z} \quad (7)$$

Следует отметить, что для нахождения проводимости необходимо знать значения всех составляющих, что в случае аккумуляторных батарей является невозможным.

Метод измерения проводимости, применяемый в оборудовании Midtronics:

1. Приборы и системы мониторинга Midtronics в процессе тестирования посылают в аккумулятор тестовый сигнал тока известной амплитуды и частоты
2. Затем автоматически измеряет отклик аккумулятора на этот сигнал.
3. Полученный сигнал обрабатывается прибором и пересчитывается в проводимость по формуле:

$$G = \frac{I_{AC}}{V_{AC}} \quad (8)$$

Метод, применяемый в оборудовании Midtronics, с точки зрения физики является методом проводимости и не является классическим измерением проводимости.

Данный метод учитывает проводимость тестируемых аккумуляторных моноблоков на частоте 22 Гц.

Вся процедура тестирования выполняется автоматически, таким образом тест одного элемента АКБ занимает не более 10 секунд)

При эксплуатации аккумуляторных батарей, перед многими компаниями возникают следующие задачи:

1. Входной контроль аккумуляторных батарей
2. Контроль монтажа
3. Управление гарантийными обязательствами поставщика
4. Ввод в эксплуатацию и последующее обслуживание
5. Возможность отбраковки аккумуляторов и подбор Б/У аккумуляторов для повторного использования/

При этом руководство компании нередко ставит условия уменьшения затрат на обслуживание.

Входной контроль аккумуляторных батарей, контроль монтажа и управление гарантийными обязательствами поставщика аккумуляторов

Следует принимать во внимание следующие факты:

1. Производители аккумуляторных батарей не гарантируют постоянство значений внутренней проводимости аккумуляторных батарей для одного и того же типа аккумуляторов в зависимости от номера партии. Это обусловлено несколькими факторами: стоимостью свинца на рынке, наличием добавок в сплаве свинца при производстве, сроком хранения свинца до передачи в производство (окисление свинца), сроком хранения без подзаряда и тд.

2. Поставляемые аккумуляторные батареи не имеют 100% емкости, а набирают ее после ввода в эксплуатацию при работе в буферном режиме в течение последующих 3-х месяцев.

Таким образом, при осуществлении входного контроля и контроля аккумуляторной батареи в течение гарантийного срока эксплуатации, проводят как минимум 2-3 измерения в течении 3 месяцев с момента поставки АКБ.

Первый контрольный замер проводится при поставке, на предмет соответствия значений проводимости 30% коридору, относительно среднего для данной партии или опорного для аккумуляторных батарей уже находящихся в эксплуатации.

Второй контрольный замер, проводится по факту монтажа АКБ, на предмет контроля качества монтажа с целью выявления неисправных борнов, в случае, если монтажная организация «перекрутила» болтовые соединения и «свернула» борн. А также производится контрольный замер межэлементных соединений.

Третье контрольное измерение проводимости аккумуляторных батарей, проводится через 3 месяца после ввода в эксплуатацию. Все отдельные аккумуляторы должны «подтянуться» до 5-10% разброса относительно

среднего значения. В противном случае, аккумуляторных моноблок будет иметь меньшей срок службы.

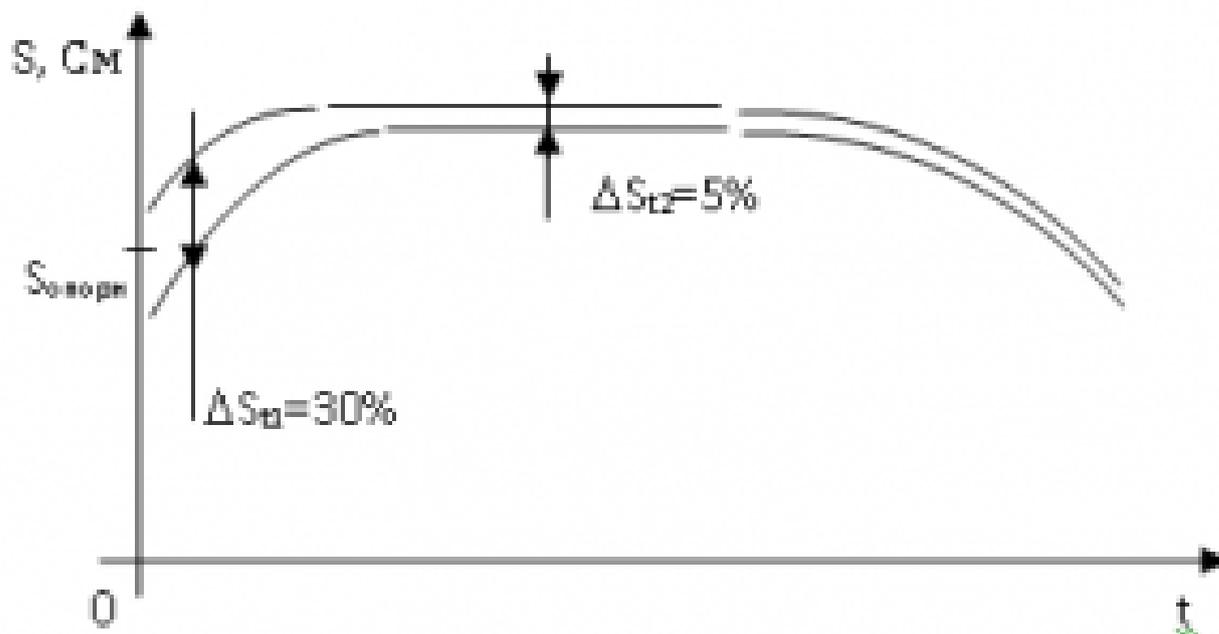


Рисунок 5 – График проведения замеров



Рисунок 6 – Внешний вид оборудования Midtronics

Для решения целого спектра задач связанного с обслуживанием аккумуляторных батарей в настоящий момент оправдано применение тестеров анализаторов состояния аккумуляторных батарей производства MIDTRONICS (США) и систем поэлементного мониторинга аккумуляторных батарей, которые помимо всего прочего, еще и позволяют уменьшить влияние человеческого фактора. Компания Midtronics более 25 лет выпускает модели ручных тестеров и системы мониторинга, предназначенные для разных сфер применения.



Рисунок 7 - Тестер аккумуляторных батарей Celltron Ultra STU-6000

Так, для проверки АКБ в маломощных источниках бесперебойного питания и системах охранно-пожарной сигнализации, аварийного освещения и т.д. , там где требуется проверка стационарных свинцово- кислотных батарей емкостью до 50 Ач напряжением 6, 12 В, незаменим компактный и бюджетный тестер Secure Power (SCP-100).

Для применения в телекоммуникациях и связи, т.е. для тестирования 2,6,12 и 16В аккумуляторов используется устройство тестер аккумуляторных батарей Celltron Ultra STU-6000, который позволяет тестировать моноблоки емкостью до 6000 Ач.

В энергетике и промышленности так-же широко применяется универсальный тестер аккумуляторных батарей Celltron Ultra (STU-6000) с защитой 600 В. Прибор тестирует все типы батарей номиналом от 2 до 16 В емкостью до 6000 Ач, хранит на карте памяти до 10 000 измерений.



Рисунок 8 – Мультчастотный тестер аккумуляторных батарей Celltron Advantage 5500

Недавно выпущена новинка – мультчастотный тестер аккумуляторных батарей Celltron Advantage 5500, способный тестировать как все виды стационарных, так и стартерных аккумуляторных батарей и измерять внутреннюю проводимость в диапазоне от 100 до 19990 Сименс.

Данная технология, позволяет более качественно оценить состояние аккумуляторных батарей.

Для отслеживания состояния больших, особо важных и труднодоступных объектов, цена простоя которых превышает себестоимость, применяется универсальная беспроводная система мониторинга Cellguard System.



Рисунок 9 - Универсальная беспроводная система мониторинга Cellguard System.

Измерения по каждому элементу с заданным интервалом поступают на сервер данных, позволяя оперативно реагировать на изменения.

Для хранения и обработки результатов измерений используется клиент-серверное программное обеспечение Celltraq, которое позволяет хранить, обрабатывать и анализировать данные измерений от большого количества объектов с разграничением прав доступа и просмотра информации.

Данные технологии и продукты нашли широкое применение у таких компаний, как ОАО «МегаФон», ОАО «МТС», ОАО «ВымпелКом», ОАО «Ростелеком», ОАО «Связьтранснефть», ОАО «Газпром». Каждая компания решает разные задачи с помощью оборудования MIDTRONICS.

Одни организуют входной контроль аккумуляторов на складе, другие планируют бюджеты на закупку новых аккумуляторных батарей, третьи сокращают затраты на обслуживание, четвертые решают задачу повышения надежности гарантированного энергоснабжения.

Ввод в эксплуатацию и последующее обслуживание невозможно без применения разрядно-диагностических устройств аккумуляторных батарей или, как их еще называют, «нагрузочные устройства» аккумуляторов

Возможность отбраковки аккумуляторов и подбор Б/У аккумуляторов для повторного использования, например, на базовых станциях.



Рисунок 10 - Универсальная беспроводная система мониторинга Cellguard System

Основным параметром, характеризующим качество аккумулятора, является его емкость, определяемая по числу ампер-часов электричества, которое он может отдать при разряде от начального до конечного напряжения

при определенном режиме разряда. По классификации ГОСТ Р МЭК 896-1-95 емкость аккумулятора (Сн) определяется по времени его разряда током десятичасового режима разряда до конечного напряжения 1,8В/эл при средней температуре при разряде 20°С. Контрольный разряд АКБ следует проводить раз в 1-2 года, в результате которого определяется ее остаточная емкость.

Компания «Логический Элемент» основываясь на многолетнем опыте обслуживания аккумуляторных батарей, а так же на основе всестороннего анализа достоинств и недостатков существующего оборудования, выпустила собственную линейку разрядно – диагностических устройств аккумуляторных батарей «КОНБАТ»/«CONBAT».

Данные устройства позволяют проводить измерение остаточной емкости до 4-х групп аккумуляторных батарей путем проведения зарядно-разрядных циклов в режиме разряда стабилизированным значением тока или мощности до конечного напряжения с непосредственным контролем каждой аккумуляторной батареи или аккумулятора в группе.

Для групп аккумуляторных батарей состоящих из нескольких последовательно соединённых аккумуляторных батарей или аккумуляторов, фактическая емкость будет рассчитываться по емкости самого «слабого» аккумулятора. Основная цель процесса тестирования групп аккумуляторных батарей методом заряда-разряда — определение остаточной емкости всей группы аккумуляторных батарей и аккумуляторов по отдельности. Выявление» отстающего» аккумулятора и его замена, позволит увеличить емкость и срок службы всей группы аккумуляторной батареи.

Как правило, при проведении классического зарядно-разрядного цикла для группы аккумуляторных батарей необходимо приложить нагрузку позволяющую стабилизировать ток разряда для тестируемой группы на уровне 10% от номинальной емкости C_{10} и осуществлять измерения напряжения каждого аккумулятора или аккумуляторной батареи по отдельности и группы



Рисунок 11 - тестирования групп аккумуляторных батарей методом заряда-разряда

в целом во время тестирования. Так же контролируется время разряда группы аккумуляторной батареи до достижения напряжения одного из аккумуляторов конечного напряжения разряда, равного значению 1,8В.

Основываясь на данных, полученных в результате тестирования, тока и времени разряда, рассчитывается остаточная емкость аккумуляторной батареи произведением тока, измеряемого в Амперах, на время, измеряемого в часах. Так же выделяют относительную остаточную емкость, определяемую как отношение остаточной емкости аккумуляторной батареи к ее номинальной емкости умноженной на 100%. Условием вывода из эксплуатации аккумуляторных батарей и отдельных аккумуляторов является снижение относительной остаточной емкости менее 80%.

РДУ Конбат по своим техническим параметрам превосходит все существующие аналоги на рынке. Широкая линейка оборудования (серия ВСТ, серия ВСТ-О) позволяет подобрать устройство, отвечающее производственным потребностям вашей организации (по диапазону напряжения и разрядному току), определенным задачам и бюджету организации.

Преимущества разрядно – диагностических устройств аккумуляторных батарей «КОНБАТ»/«CONBAT»

1. Совмещает в себе нагрузочный блок и устройство измерения напряжения на отдельных элементах АКБ. Гибкие настройки прерывания процесса по нескольким пороговым величинам позволяют предотвратить разрушение АКБ («уход» батарей в область глубокого разряда, ниже 1,7 В), определить отстающие ячейки и исключить их из системы. Поэлементный контроль осуществляется с помощью беспроводных датчиков и не требует покупки целой системы, как в случае с оборудованием Torkel. Один датчик устройства Конбат контролирует 4 АКБ.



Рисунок 12 - Разрядно – диагностическое устройства аккумуляторных батарей «КОНБАТ»/«CONBAT»

2. Появляется возможность тестировать АКБ без отключения от нагрузки. Т.е. после завершения процесса испытания аккумуляторной батареи методом нагрузочного тестирования, прибор подключает аккумуляторную батарею к существующей системе питания с помощью внутреннего контактора. Далее устройство производит мониторинг процесса заряда всей аккумуляторной батареи поэлементно. Существует возможность ограничения тока заряда аккумуляторов. Этот функционал реализован в серии ВСТ-О, что значительно упрощает процесс тестирования и повышает безопасность проведения работ.

3. Автоматическая система значительно упрощает работу обслуживающего персонала и не требует постоянного контроля. Установка параметров процесса разряда и заряда занимает не более 3 минут и эти параметры сохраняются для проведения дальнейших тестов. С помощью звуковых сигналов интеллектуальная система устройства оповещает о ходе процесса разряда и заряда

4. РДУ Конбат имеет русскоязычный интерфейс, большой сенсорный дисплей и русскоязычное программное обеспечение, в отличие от западных разработок, где вместо русского языка используется английский. Меню устройства позволяет предоставлять значения как в цифровом, так и в графическом виде.

На сегодняшний момент РДУ КОНБАТ внесен в Государственный реестр средств измерений. Гарантия на оборудование составляет 2 года.

РДУ Конбат было уже успешно эксплуатируется в крупных компаниях Телекома и Нефтегазовой отрасли.

3.2 Повышение срока службы аккумуляторных батарей

Для обеспечения нормального функционирования аккумуляторной батареи и предотвращения их неисправностей необходима система постоянного контроля состояния аккумуляторов. Она должна решать следующие задачи:

- Обнаружение нагрева аккумулятора выше допустимого уровня;

- Контроль уровня электролита в каждом аккумуляторе;
- Своевременное обнаружение короткого замыкания аккумулятора;
- Обнаружение различия напряжения на отдельных аккумуляторах в режимах заряда, постоянного подзаряда и применения по назначению.

Рассмотрим АКБ на подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети».

Краткая характеристика зарядно-выпрямительного устройства

Зарядно-выпрямительные устройства выполнены на полупроводниковых вентилях и тиристорах и являются статическими преобразователями трёхфазного переменного тока в выпрямлённый, и предназначены для питания установок постоянного тока, а также рассчитаны для:

- компенсации саморазряда аккумуляторных батарей постоянным током;
- зарядки кислотных аккумуляторных батарей;
- формование отдельных банок аккумуляторной батареи.

Зарядно-выпрямительное устройство может длительно работать на холостом ходу и параллельно с агрегатом того же исполнения на общую нагрузку.

1. Зарядно-выпрямительные устройства оборудованы следующими защитами:

- защитой от коротких замыканий на стороне выпрямленного тока;
- защитой от коротких замыканий на стороне переменного тока;
- защитой от перенапряжения;
- защитой от недопустимых перегрузок;
- защитой от понижения напряжения питающей сети;
- защитой от радиопомех;
- сигнализацией исчезновения 0,4 кВ;
- защитой на отключение силового автомата при отключении автомата, питающего систему управления на зарядно-выпрямительном

устройстве.

2. Величина напряжения, которое необходимо поддерживать постоянно, определяется положением ручки регулятора напряжения и задается оперативным персоналом. Напряжение на щите постоянного тока не должно превышать 231 В. При более высоком напряжении могут выйти из строя сигнальные лампы и реле. При понижении питающего напряжения или исчезновения его с ЩСН-0,4кВ выдается звуковой и световой сигнал на главный щит управления, зарядно-выпрямительное устройство не отключается.

3. Принцип действия зарядно-выпрямительного устройства основан на свойстве тиристоров изменять в широких пределах среднее значение выходного напряжения путём задержки момента открывания тиристоров по отношению к началу положительной полуволны питающего напряжения. Схема зарядно-выпрямительного устройства состоит из:

- силового трансформатора;
- выпрямительного моста, который состоит из трёх конструктивно одинаковых блоков образующих несимметричную трёхфазную мостовую схему выпрямления;
- блока управления тиристорами;
- блока обратной связи по току и по напряжению.

4. Выпрямительное устройство может работать в трёх режимах:

- стабилизации напряжения в пределах от 260 В до 380 В при токе до 40 А;
- стабилизации напряжения в пределах от 220 В до 260 В при токе до 80 А;
- выпрямления напряжения в пределах от 2 В до 11 В.

5. На лицевой панели (двери шкафа) зарядно-выпрямительного устройства расположены:

- автоматический выключатель «Сеть управления», предназначенный для включения питания блоков управления тиристорами;

- автоматический выключатель «~380 В», предназначенный для включения силовой цепи переменного трёхфазного тока;
- тумблер, имеющий два положения - «Включено» и «Отключено», и предназначенный для отключения зарядно-выпрямительного устройства;
- потенциометр «Регулирование напряжения», предназначенный для плавной установки значения напряжения;
- амперметр постоянного тока, предназначенный для контроля тока нагрузки;
- вольтметр постоянного тока, предназначенный для контроля напряжения нагрузки.

б. На внутренней панели зарядно-выпрямительного устройства расположены:

- переключатель «Режим», предназначенный для выбора режима работы выпрямительного устройства;
- переключатель «I; II; III», предназначенный для коммутации цепей обратной связи в зависимости от режима работы зарядно-выпрямительного устройства.

Эксплуатация зарядно-выпрямительного устройства

На подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» зарядно выпрямительные устройства эксплуатируют в соответствии со следующими требованиями:

1. Зарядно-выпрямительного устройства предназначены для работы на открытом воздухе в районах с умеренным и холодным климатом, на высоте не более 1000 м над уровнем моря и температуре окружающего воздуха от минус 60° С до плюс 40° С.

2. зарядно-выпрямительного устройства эксплуатируется в соответствии с некоторыми требованиями, перечисленными ниже:

- «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ»;
- «Межотраслевые правила по безопасности при эксплуатации

электроустановок»);

- «Правила устройства электроустановок»;
- заводские инструкции.

3. Зарядно-выпрямительного устройства должны эксплуатироваться в условиях, соответствующих их климатическому исполнению и категории размещения.

4. Надежная эксплуатация зарядно-выпрямительных устройств должна обеспечиваться:

- Соблюдением номинальных и допустимых режимов работы оборудования в соответствии с заводскими инструкциями по эксплуатации;
- Своевременным проведением испытаний и текущих ремонтов.

5. Контролируемые параметры зарядно-выпрямительных устройств, находящихся в эксплуатации, не должны выходить за границы предельных значений согласно РД 34.45-51.300-97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования» и инструкций заводов-изготовителей (паспортных данных).

6. Текущий ремонт зарядно-выпрямительных устройств и его диагностику следует проводить в сроки, установленные техническим руководителем ПМЭС.

7. Уровень напряжения на шинах постоянного тока должен поддерживаться в пределах +5% от номинального по шинному вольтметру, установленному на щите постоянного тока. Вольтметры, установленные на зарядно-выпрямительном устройстве, являются индикаторами.

8. Сопротивление изоляции всех независимых цепей устройств относительно корпуса и между собой в обесточенном состоянии при температуре окружающей среды $+20(\pm 5)^{\circ}\text{C}$ не менее 5МОм.

9. Электрическая изоляция всех независимых устройств относительно корпуса и между собой должна выдерживать без пробоя и перекрытия испытательное напряжение 1000В переменного тока 50Гц или мегомметром на 2500В в течении 1 мин.

10. Питание устройств релейной защиты и автоматики (высокочастотной аппаратуры) только от выпрямительного устройства без аккумуляторной батареи категорически запрещается.

11. При параллельной работе нескольких зарядно-выпрямительных устройств нагрузка делится поровну. При аварийном отключении одного из зарядно-выпрямительных устройств, другой автоматически переключается на стабилизацию напряжения с увеличенной нагрузкой.

12. Для заряда последних банок аккумуляторных батарей используется дополнительное подзарядное устройство, работающее в импульсном режиме постоянного подзаряда.

Оперативное обслуживание зарядно-выпрямительного устройства

13. Осмотр зарядно-выпрямительного устройства производится оперативным персоналом 1 раз в смену, а также в соответствии с графиком технического осмотра. Осмотр производится без отключения оборудования. При осмотре обращается внимание на следующее:

- отсутствие повреждений деталей;
- на зарядно-выпрямительных устройствах, находящихся в работе, проверить величину напряжения, при необходимости поворотом потенциометра «Регулирование напряжения», установить требуемую величину выходного напряжения.

- отсутствие посторонних шумов;
- отсутствие потемнений и искрений на контактных наконечниках;

14. Все замеченные во время обхода замечания и неисправности, должны быть занесены в «Журнал дефектов».

15. зарядно-выпрямительное устройство может быть введено в работу только при отсутствии дефектов, неисправностей, недоделок, которые препятствуют надёжной и безопасной работе.

16. Перед вводом зарядно-выпрямительного устройства в работу оперативный персонал должен провести его осмотр, обращая особое внимание на состояние узлов крепления, электрических контактов, состояние

заземлений.

17. По окончании всех работ оперативный персонал подстанции, принимающий рабочее место должен проверить:

- отсутствие на зарядно-выпрямительном устройстве и около него мусора, ветоши, демонтированных деталей, инструмента и приспособлений;
- правильное и качественное присоединение ошиновки зарядно-выпрямительного устройства.

Технические предложения по повышению ресурса аккумуляторных батарей

Для увеличения срока службы и нормальной работы аккумуляторной батареи, необходимо совершенствование зарядно-выпрямительного устройства путем возможности заряда аккумуляторной батареи знакопеременным током для снижения сульфатации пластин. Кроме того, необходимо повысить качество выпрямленного тока - обеспечение его стабильности и ликвидацию пульсаций. Рассмотрим возможность повышения срока службы АКБ на подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети».

Устройство постоянного температурного контроля аккумуляторной батареи

Каждый аккумулятор должен быть оборудован термодатчиком со схемой управления, формирующей аварийный сигнал в случае превышения заданного порогового значения.

В качестве термодатчиков целесообразно использовать терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом, так как они обладают высокой чувствительностью, компактны и дешевы. Характеристики пригодных для данной задачи образцов приведены в таблице.

Таблица 5 - Характеристики терморезисторов

Тип	К, кОм при 20°C	Температурный диапазон	ТКС при 20°C, %/°C
КМТ-8	0,1 - 10	-60 - +70	4,2 - 8,4
ММТ-4	1 - 220	-60 - +125	2,4- 5
ММТ-8	0,001 -1	-60 - +70	2,4 - 4
ПТ-1	0,4 -0,9	-60 - +150	4,1 - 4,8
ПТ-4	0,6 - 0,8	-60 - +150	4,1 - 4,9
СТ1-17	0,5 - 22	-60 - +300	4,2 -7

Приведенные в таблице терморезисторы могут обеспечить точность измерения температуры менее 0,1°C, что значительно превосходит предъявляемые требования. Поэтому при выборе целесообразно исходить из цены. По данному критерию выбираем терморезистор ММТ-4.

Так как повышенные требования к точности измерений отсутствуют, номинал сопротивления может быть различным. Однако на территории подстанции высок уровень помех, поэтому использование измерительных цепей с токами менее 1 мА нецелесообразно. Предполагая, что питание схемы управления, выполненной на типовых микросхемах-компараторах будет около 9 -12 В, поэтому выбираем терморезистор номиналом 3,3 кОм.

Батарея содержит 118 элементов. Применение единой схемы, контролирующей работу 118 термодатчиков, потребует большого количества проводов и связано с другими технологическими неудобствами. Предлагается использовать отдельные модули со схемой управления 4 терморезисторами. При этом максимальное напряжение на подгруппе составит не более 10 В, а

наименьшее значение, необходимое для работы большинства компараторов, равно 3 В.

Компараторы для построения термодатчиков могут быть выбраны из обширного списка, однако, как было отмечено выше, они не должны работать с токами менее 1 мА. Наиболее подходящей представляется микросхема μ M-339, содержащая 4 компаратора с открытым коллектором выходного транзистора. В зависимости от исполнения (SMD или DIP) выходной ток может быть 10 или 20 мА. Входное напряжение и напряжение питания могут быть до 36 В. Внутреннее строение микросхемы представлено на рисунке 5.

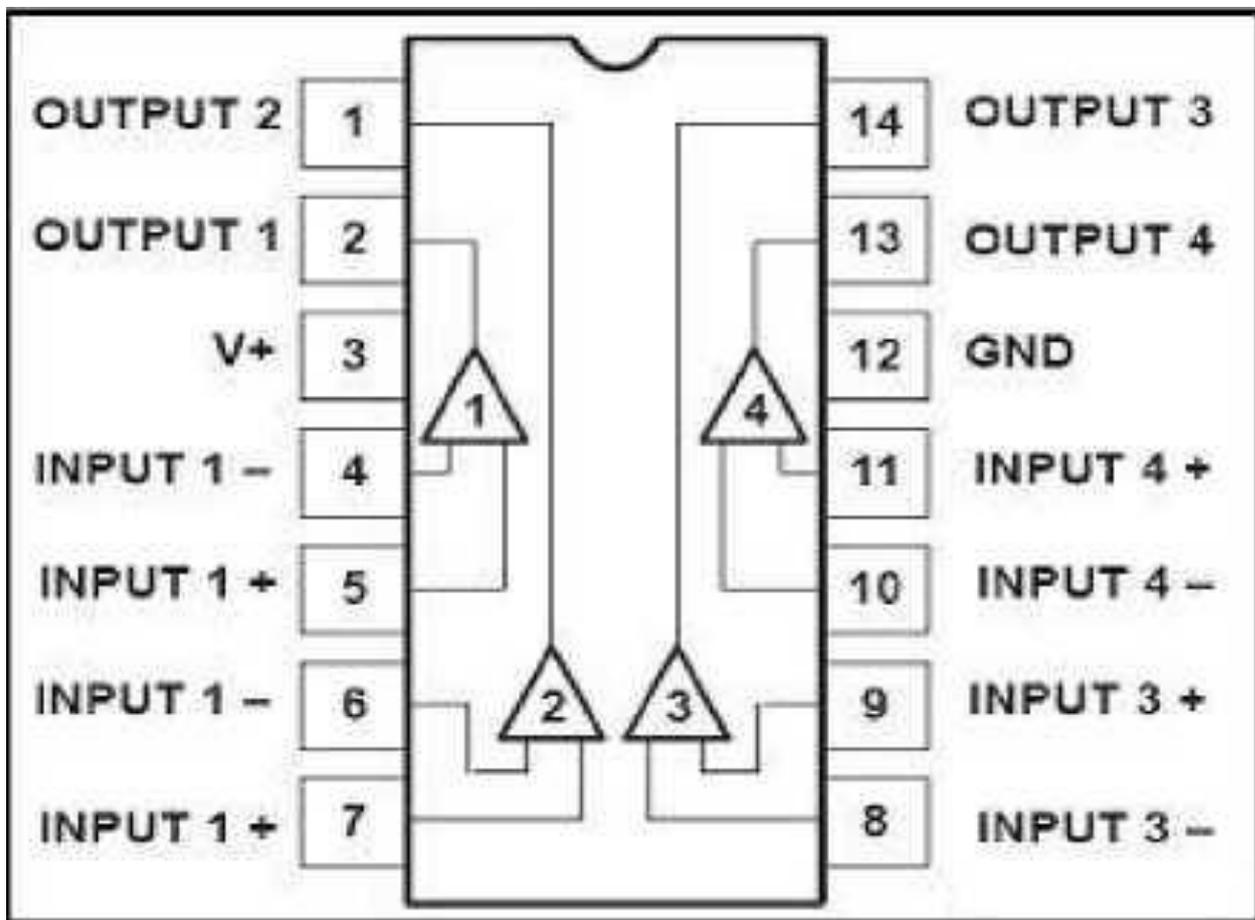


Рисунок 13 - Внутреннее строение микросхемы LM 339

Схемотехника термодатчиков с использованием данной микросхемы достаточно типична и включает измерительный мост на входе, одним из элементов которого является терморезистор. Также для устранения эффекта

«дребезга» при пороговой температуре применяется положительная обратная связь. Схема модуля из 4 термодатчиков с учетом описанных принципов построения представлена на рисунке.

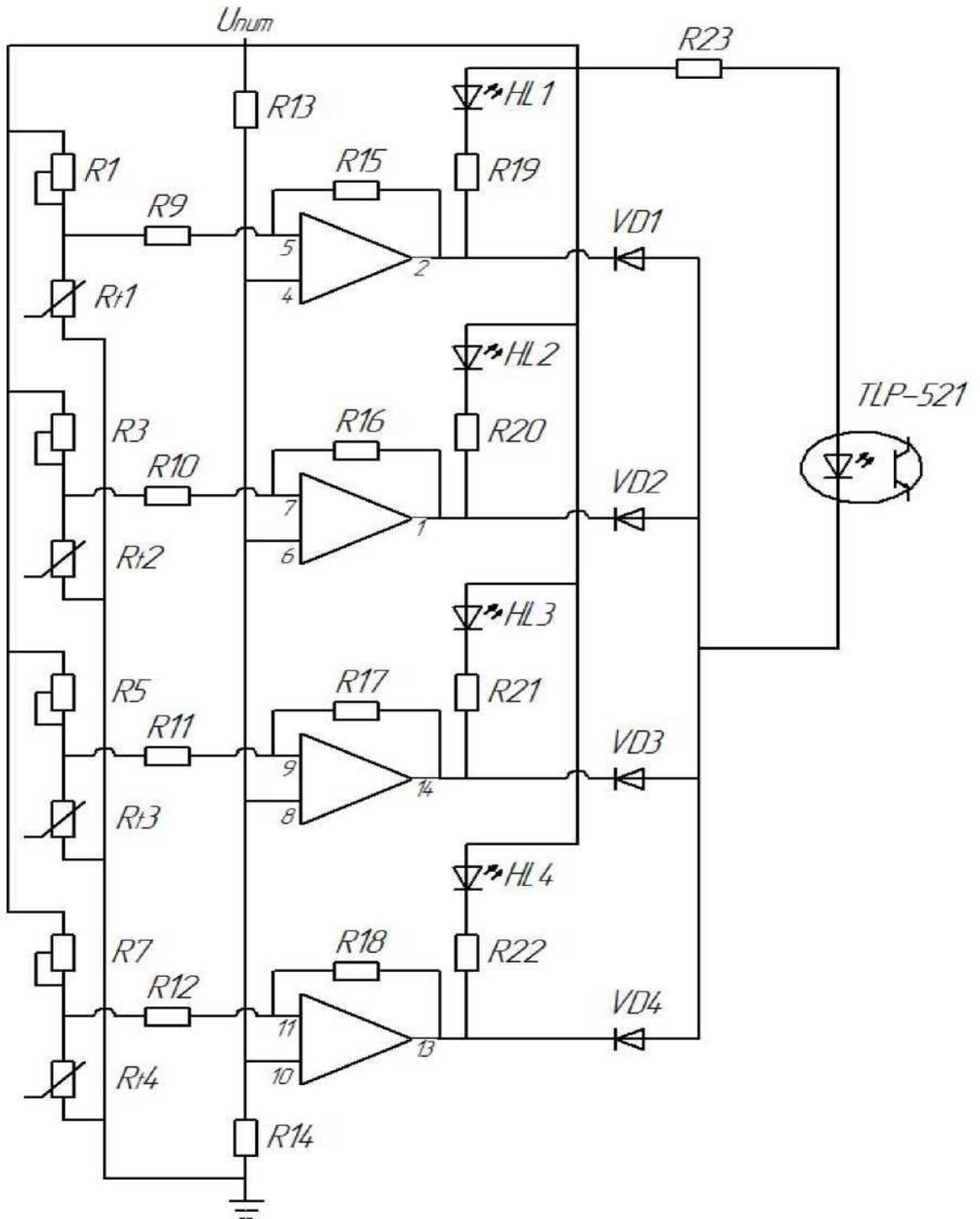


Рисунок 14 - Схема модуля из 4 термодатчиков

Как видно из схемы, модуль имеет 4 идентичных канала. К инвертирующим входам 4, 6, 8, 10 компараторов подключено опорное напряжение, равное половине напряжения питания. Оно получено с помощью делителя на одинаковых резисторах R_{13} и R_{14} . Учитывая обоснованное ранее требование избегать токов менее 1 мА, рассчитаем номиналы этих резисторов.

Полагая маловероятным полное короткое замыкание двух и более аккумуляторов в группе из 4, будем считать минимальное напряжение питания группы равное утроенному напряжению одного разряженного до допустимого предела аккумулятора, то есть не менее 6 В. Тогда:

$$R_{19} = \frac{U_{min} - U_{cd}}{I} \quad (9)$$

$$R_{19} = \frac{9,92 - 3}{3} = 2,3 \text{ кОм}$$

Так как резисторы идентичны, то минимальное сопротивление каждого равно 3 кОм. Поскольку нет причин стремиться к минимальному току в цепи этого делителя, примем с трехкратным запасом:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ кОм} \quad (10)$$

Согласно инструкции по эксплуатации аккумуляторной батареи, критической является температура 40°C. При этом сопротивление терморезистора, нормированное при 20°C на значение 3,3 кОм, уменьшится. Следовательно, подстроечный резистор такого же номинала будет в состоянии компенсировать это изменение во всех реальных случаях. Таким образом, примем:

$$R_1 = R_3 = R_5 = R_7 = 3,3 \text{ кОм} \quad (11)$$

Необходимо заметить, что полупроводниковые терморезисторы не отличаются высокой степенью повторяемости параметров и достаточно

большой диапазон регулировки входных цепей будет не лишним.

Резисторы $R_9 - R_{12}$ не являются обязательными. Схема будет работать и без них, однако, положительная обратная связь через $R_{15} - R_{18}$ будет реализована с участием терморезисторов, что приведет к ее значительной температурной зависимости. Резисторы $R_9 - R_{12}$ должны быть большего сопротивления, чем терморезисторы. Учитывая мегаомные входы компараторов, можно без ущерба для точности измерений принять для них значения 10 кОм.

Для расчета номиналов резисторов положительной обратной связи $K_{15} - R_{18}$ воспользуемся следующими соображениями. Температурный коэффициент терморезистора ММТ-4 составляет 2,4 - 5 %/°С при 20 °С. Из анализа характеристики данного элемента видно, что при 40°С сопротивление с 3,3 кОм снижается до 1,2 кОм, а температурный коэффициент сопротивления при этом равен примерно 2%/°С. Это означает, что при изменении температуры на 1 °С в районе пороговой температуры сопротивление изменится на 24 Ом.

Полагая, что значение сопротивления регулировочного резистора близко к сопротивлению терморезистора, получим эквивалентный делитель напряжения с учетом изменения температуры на 1 градус.

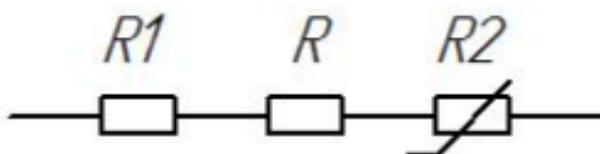


Рисунок 15 - Эквивалентная схема делителя

Номинальное напряжение на одном аккумуляторе в режиме постоянной подзарядки равно 2,23 В, а на группе из 4 аккумуляторов составит 9,92 В. Тогда, в соответствии с законом Ома, ток составит:

$$I = \frac{U}{R_{дел}} \quad (12)$$

$$I = \frac{9,92}{1,2 + 1,2} = 4,13 \text{ мА}$$

Что приведёт к изменению напряжения на сопротивлении 24 Ом равным:

$$U_{\text{дон}} = I \cdot R \quad (13)$$

$$U_{\text{дон}} = 99,2 \text{ мВ}$$

Учитывая приближенность данного расчета, округлим это значение до 0,1 В.

Воздействие положительной обратной связи должно также изменить напряжение на неинвертирующем входе компаратора на 0,1 В. Фрагмент схемы с элементами, участвующими в делении напряжения с участием резистора обратной связи представлен на рисунке 6.

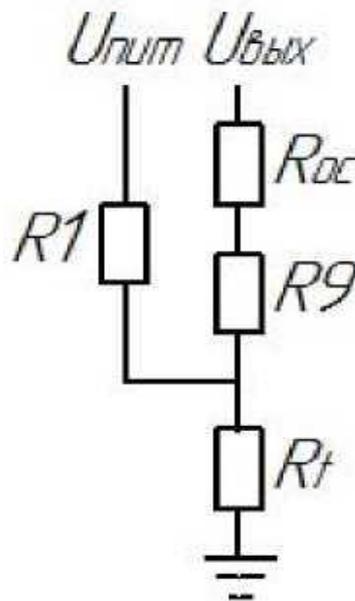


Рисунок 16 - Фрагмент схемы делителя

Цепочка резисторов R_{oc} и R_9 при изменении состояния выхода компаратора смещает среднюю точку делителя R_1 и R_f на 50 мВ вниз или вверх, обеспечивая суммарное смещение на 0,1 В. Для расчета значения сопротивления обратной связи равнозначны варианты низкого и высокого уровня на выходе компаратора. Принимаем решение воспользоваться

эквивалентной схемой, изображенной на рисунке 7. При этом напряжение в средней точке основного делителя R_1 и R_t снизится на 50 мВ.

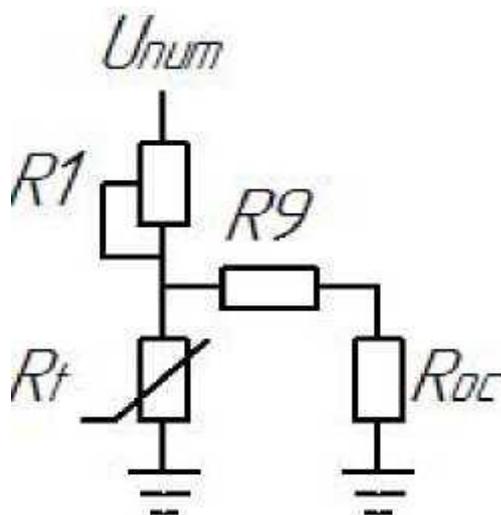


Рисунок 17 - Эквивалентная схема делителя

Без обратной связи напряжение на инвертирующем входе компаратора равно половине напряжения питания, то есть 4,96 В. При подключении цепочки ($R_9 + R_{0с}$) оно должно снизиться на 50 мВ, то есть до 4,46 В.

Учитывая незначительность смещения напряжения на делителе, будем с приемлемой для практики точностью считать, что ток при этом останется прежним 4,13 мА.

Чтобы после подключения цепочки обратной связи напряжение на нижней части делителя уменьшилось на 50 мВ ее сопротивление должно соответствующим образом уменьшиться. Его величину найдем, подставив в закон Ома уменьшенное напряжение и принятый неизменным ток. Получим суммарное сопротивление нижней части делителя:

$$R_n = \frac{U_n}{I} \quad (14)$$

$$R_n = \frac{4,46}{4,13} = 1,18 \text{ кОм}$$

Так как добавочная цепочка резисторов $R_{0с}$ и R_9 подключена параллельно $R_1 = 1,2 \text{ кОм}$, то справедливо соотношение:

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_9} + R_{oc} \quad (15)$$

С учетом известных значений, получим:

$$\frac{1}{1180} = \frac{1}{1200} + 1 \cdot (10000 + R_{oc}) \quad (16)$$

Решение данного уравнения дает значение $R_{oc} = 63$ кОм. Выбираем ближайшее в ряде предпочтительных значений $R_{oc} = 68$ кОм.

Резисторы $R_{19} - R_{22}$ предназначены для визуального контроля и им достаточно тока 3 мА. Их номинал вычислим, разделив напряжение питания за вычетом падения напряжения на светодиоде на данный ток по формуле 6:

$$R_{19} = \frac{9,92 - 3}{3} = 2,3 \text{ кОм}$$

Для четкого срабатывания выбранного оптрона TLP-521 номинальный ток должен быть 3 - 5 мА. В результате аналогичных расчетов получим для 5 мА $R_{23} = 1,4$ кОм. Из существующего ряда номиналов выберем 1,5 кОм.

Разработанный модуль контролирует температуру 4 аккумуляторов и при перегреве любого из них выдает визуальный сигнал. Для привлечения внимания оператора необходимо формирование общего аварийного сигнала, например, акустического. Поскольку варианты организации автоматизированных рабочих мест операторов могут быть различными, ограничимся срабатыванием электромеханического реле.

Объединение сигналов всех модулей может быть выполнено по следующей схеме

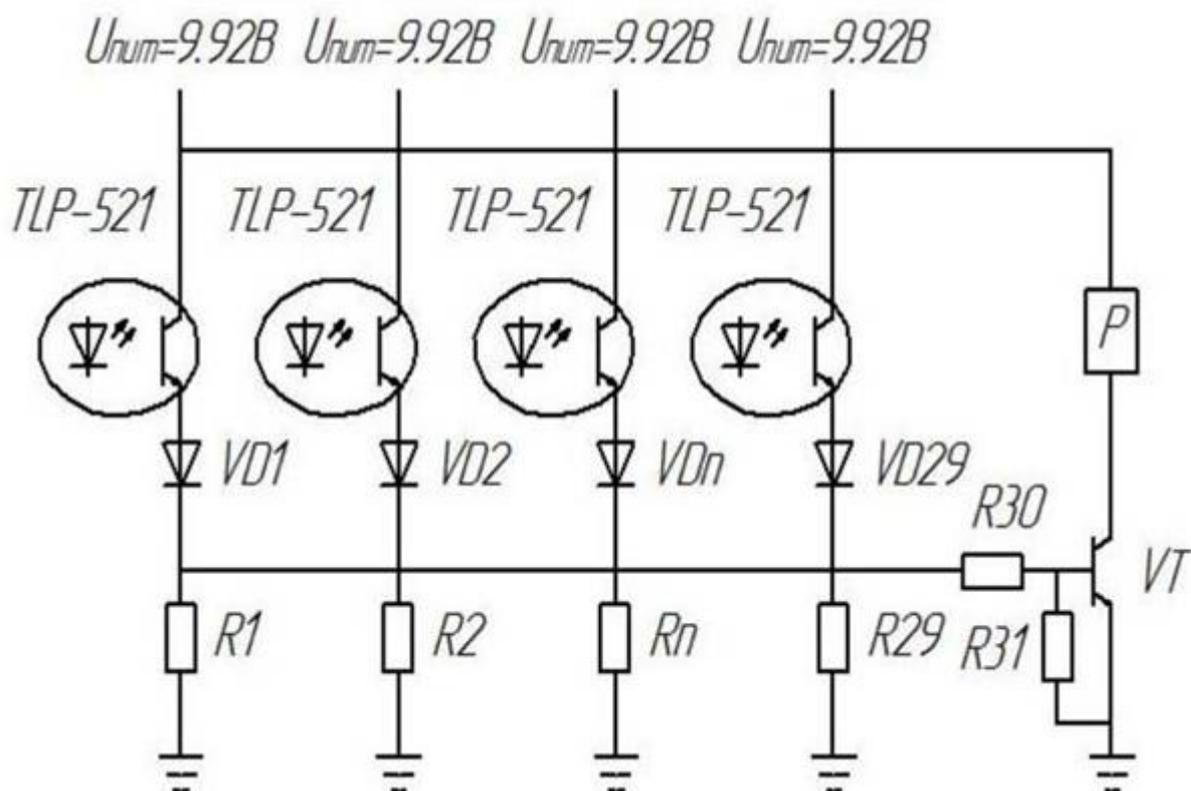


Рисунок 18 - Схема с оптронами и реле

Учитывая тривиальность задачи и возможность ее коррекции применительно к конкретному объекту, детализацию этой схемы опустим.

Кроме рассмотренной задачи контроля температуры, необходимо обеспечить следующие функции контроля:

- Контроль уровня электролита в каждом аккумуляторе.
- Своевременное обнаружение короткого замыкания аккумулятора.
- Обнаружение различия напряжения на отдельных аккумуляторах в режиме заряда, постоянного подзаряда и применения по назначению.

Контроль уровня электролита

На подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» для решения этой задачи можно использовать оптические датчики уровня. Так как корпус аккумулятора прозрачен, проходящий под углом луч света в жидкой среде и в воздухе будет испытывать разное преломление. Датчики такого рода существуют и основываются на направлении луча свет на фотоприемник таим образом, чтобы в отсутствие жидкости он не формировал выходной сигнал.

Контроль напряжений на аккумуляторах

На подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» задачи 2 и 3 могут быть решены совместно, если поочередно с помощью реле подключать каждый аккумулятор к измерительной схеме. Эта схема должна контролировать напряжение, которое при коротком замыкании близко к нулю, а в остальных случаях должно находиться в пределах, определяемых режимом работы аккумулятора. При этом для контроля уровня напряжения может применяться использованный в работе метод сравнения с помощью компараторов или применена микропроцессорная техника. При измерении нужно иметь в виду, что измерение напряжения должно выполняться под номинальной нагрузкой.

Для оценки стабильности зарядного напряжения, существенно влияющего на срок службы аккумуляторов целесообразно применить микропроцессорное устройство, хотя решение данной задачи без этого также возможно.

Доработка зарядно-выпрямительного устройства

На подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» зарядка знакопеременным током с соотношением зарядного и разрядного 10:1 заметно снижает сульфатацию пластин. Для реализации этой идеи в цепи управления тиристорами необходимо ввести цепь прерывания отпирающего напряжения. Это позволит сформировать прерывистую последовательность импульсов заряда и разряда. Для разряда параллельно аккумуляторной группе подключается соответствующая активная нагрузка. Методы конструирования устройств хорошо известны.

Вывод. Для повышения ресурса аккумуляторной батареи следует следить за состоянием ее электролита, не допускать глубокого разряда аккумуляторной батареи, а также следить за температурой в помещении аккумуляторной.

Температура в помещении аккумуляторной должна поддерживаться не ниже +10°C, а так же не допускаются резкие перепады температуры, так как

это может вызвать конденсацию влаги на сосудах и изоляторах, что приведет к снижению изоляции.

В итоге срок службы аккумуляторов до достижения предельного состояния (фактическая ёмкость менее 80% номинальной ёмкости) при соблюдении условий эксплуатации должен составлять не менее 15 лет.

3.3 Гибридная система накопления энергии

Для повышения эффективности использования АКБ на подстанциях Благовещенского РЭС филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» рассмотрим инновационный подход, состоящий в создании гибридного накопителя, построенного на комбинации аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов.

Накопители на основе аккумуляторных батарей большой энергоёмкости считаются наиболее перспективными для использования в интеллектуальных электроэнергетических системах. Накопители подобного рода имеют ряд преимуществ (как следует из опыта эксплуатации более тысячи накопителей мегаваттного класса на основе натрий - серных аккумуляторов, а именно:

- возможность реализации модульного исполнения и компактность конструкции;
- функциональная гибкость, обеспечивающая реализацию различных режимов работы;
- широкие возможности автоматизации процессов управления и контроля;
- простота встраивания в системы интеллектуальных электрических сетей.

Основными недостатками накопителей на основе натрий - серных аккумуляторов являются высокий ток саморазряда и низкая удельная энергоёмкость. Следует отметить, что для некоторых из перечисленных выше применений эти недостатки оказываются ключевыми. Что касается накопителей на основе литий-ионных аккумуляторов, то они лишены этих недостатков. Именно, поэтому в настоящее время к накопителям этого типа

проявляется повышенный интерес. Конкретные особенности и недостатки накопителей на основе литий ионных аккумуляторов (большой мощности) еще предстоит осознать, т.к. к настоящему моменту подобных устройств выпущено всего несколько десятков и работают они по- существу в режимах опытной эксплуатации.

Для того что бы минимизировать влияние выше перечисленных недостатков на технико-экономические характеристики аккумуляторных систем накопления, предложен подход, который состоит в создании накопителя комбинирующего аккумуляторную батарею и батареи суперконденсаторов. Сочетание аккумуляторов и суперконденсаторов в одном накопителе, который является гибридным, может получить эффективное применение.

Схемы гибридных накопителей

Гибридные системы накопления электрической энергии представляют собой сложные электротехнические комплексы. Основными элементами являются накопительный элемент в виде литий-ионной батареи и суперконденсатора, преобразователя рода тока из постоянного в переменный и наоборот, система управления преобразователем и система управления электротехническим комплексом в целом.

В этой схеме аккумулятор, имея приемлемую энергоемкость (для литий - ионных систем 90 - 150 Вт ч/кг), обладает относительно небольшим (от 500 до 3000 циклов заряд - разряд) ресурсом. Более того, работа аккумулятора (как и любого другого химического источника тока) в режимах больших мощностей резко снижает его энергоемкость и срок эксплуатации.

Суперконденсатор легко справляется с высокими токами нагрузки. Сочетание аккумуляторов и суперконденсаторов в одном накопителе может дать существенный эффект. Так суперконденсатор, без подключения аккумулятора, компенсирует возмущения длительностью до нескольких первых минут. При более длительных возмущениях (минуты, часы) в действие включается аккумуляторная часть накопителя. А наличие в составе

накопителя суперконденсаторной части (при параллельном с аккумулятором включении) позволяет сглаживать фронты импульсов тока и напряжения, обеспечивая тем самым снижение мгновенной мощности, отдаваемой или получаемой аккумуляторной частью накопителя.

Параллельное включение аккумуляторов и суперконденсаторов, также обеспечивает как минимум двукратное увеличение мощности накопителя.

Сравнение принципов организации работы аккумуляторного и гибридного накопителей иллюстрирует рисунок 11.

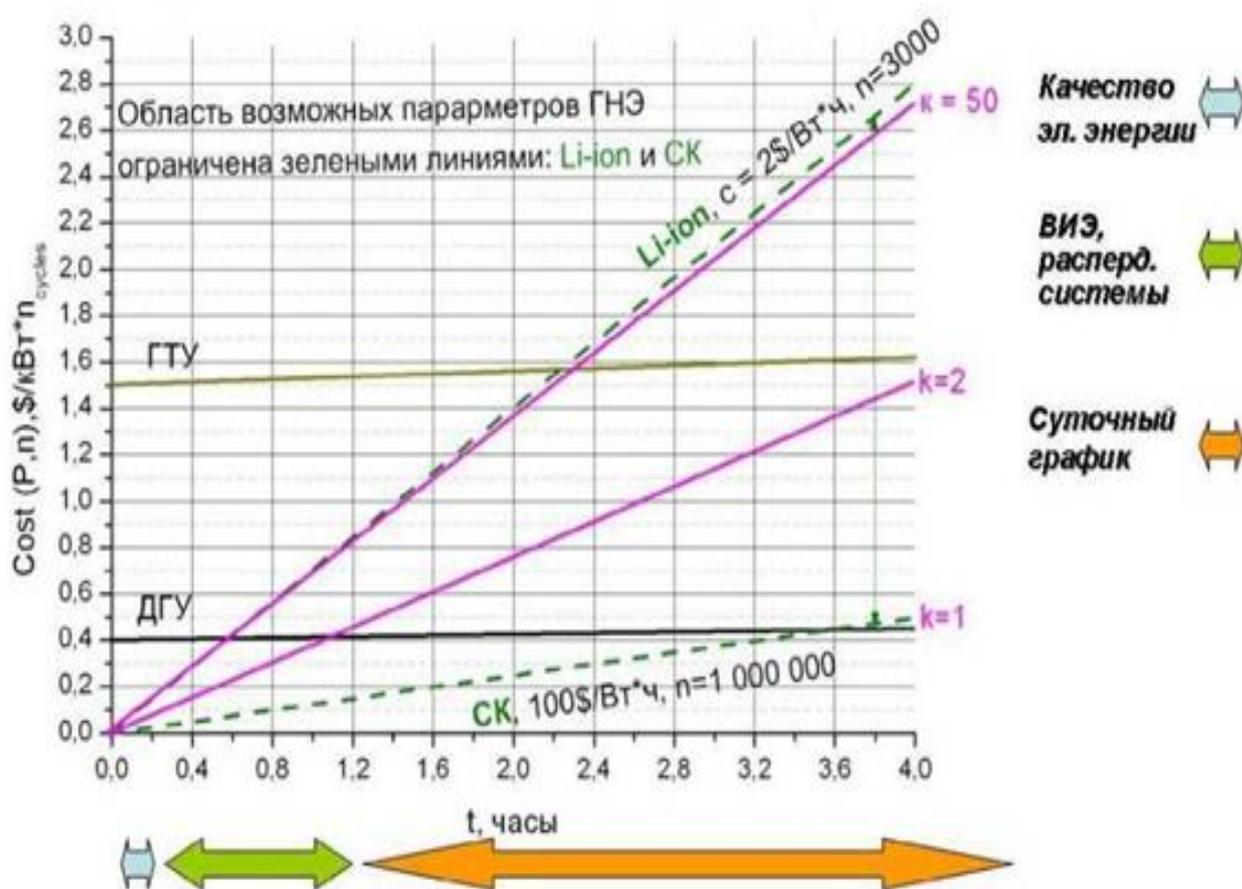


Рисунок 19 - Удельные стоимости накопителей -аккумуляторных, суперконденсаторных и гибридных в зависимости от времени непрерывной работы

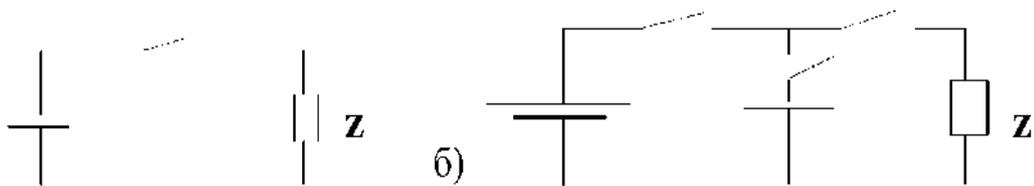


Рисунок 20 - Упрощенные схемы накопителей. а) аккумуляторный; б) гибридный.

Более широкие функциональные характеристики гибридного накопителя символически иллюстрируются возможностью реализовать различные схемы включения батареи и конденсатора путем различных комбинаций замкнутых и разомкнутых ключей.

Линии ГТУ, ДГУ - удельные стоимости газотурбинных и Дизельных генераторов с учетом топливной составляющей. Здесь параметр $k = 1/18C$ - отношение максимального времени непрерывной работы накопителя (I) ко времени работы (1_{8C}) суперконденсаторной части. n - максимально возможное количество циклов заряд-разряд

На рисунке 11 показаны зависимость стоимости киловатта установленной мощности от времени непрерывной работы (энергоемкости) для трех типов накопителей: аккумуляторного, суперконденсаторного (две зеленые пунктирные линии) и гибридного (с различными сочетаниями энергоемкости аккумуляторной и суперконденсаторной частей - красные линии). На этом же графике показаны аналогичные оценки для газодизельной (ДГУ) и газотурбинной (ГТУ) электростанций.

Как видно из рисунка 11, применение накопителя на основе литий-ионных аккумуляторов является экономически оправданным при временах разряда не более 1 часа в сравнении с резервной газодизельной электростанцией, и не более 2 часов в сравнении с резервной газотурбинной электростанцией. Аналогичные показатели для суперконденсаторного накопителя оказываются в несколько раз лучше. Последнее обусловлено значительно большим ресурсом суперконденсатора. Следует, однако, учесть,

что удельная энергия суперконденсатора в 20-100 раз ниже, чем у аккумулятора. Отсюда следует, что использование суперконденсаторного накопителя большой энергоемкости в большинстве случаев оказывается экономически неприемлемым. Такой накопитель оказывается слишком большим и тяжелым. На рисунке 9 красными линиями показаны характеристики гибридных систем при разных степенях гибридизации (определяемых параметром k). Степень гибридизации позволяет оптимизировать конструкцию накопителя, варьируя его стоимость и массогабаритные характеристики в зависимости от функциональных требований к накопителю. Возможность подобной оптимизации является важным преимуществом гибридной схемы.

Рассмотрим уже разработанный гибридный накопитель ГНЭ-100. Он состоит из трех модулей (рисунок 13):

- Батарея литий-ионных аккумуляторов ЛИБ-100
- Батарея суперконденсаторов БСК-100;
- Устройств согласования с сетью УСС-100.

Каждый из накопительных блоков содержит также отдельные системы защиты, контроля и мониторинга параметров батарей.

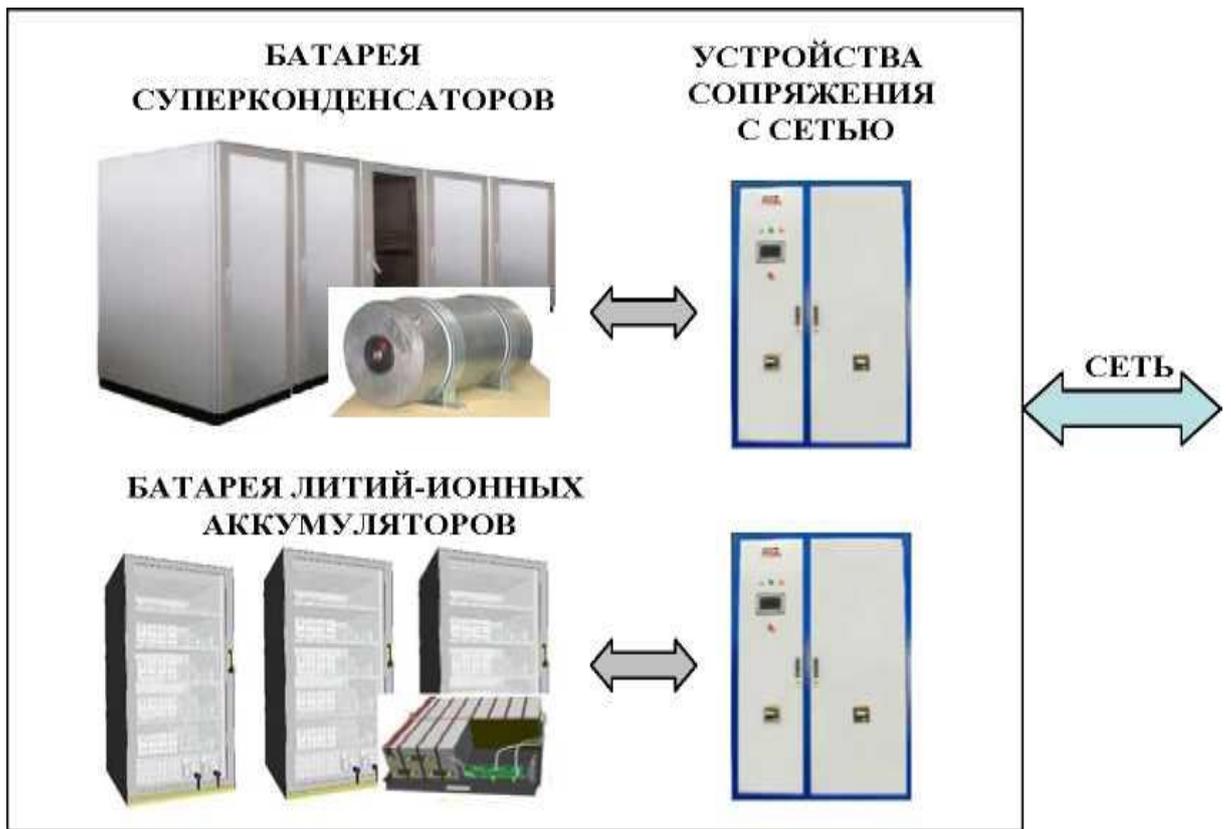


Рисунок 21 – Структурная схема гибридного накопителя

Батарея литий-ионных аккумуляторов ЛИБ-100 предназначена для накопления электроэнергии из сети в период снижения нагрузки сети ниже номинального уровня и отдачи ее в сеть. В период возрастания нагрузки выше номинального уровня эта батарея отдает запасенную электроэнергию в сеть. ЛИБ-100 дополнительно снабжена устройством интеллектуального управления.

Батарея суперконденсаторов БСК-100 предназначена для компенсации кратковременных колебаний напряжения сети и состоит из двадцати суперконденсаторов.

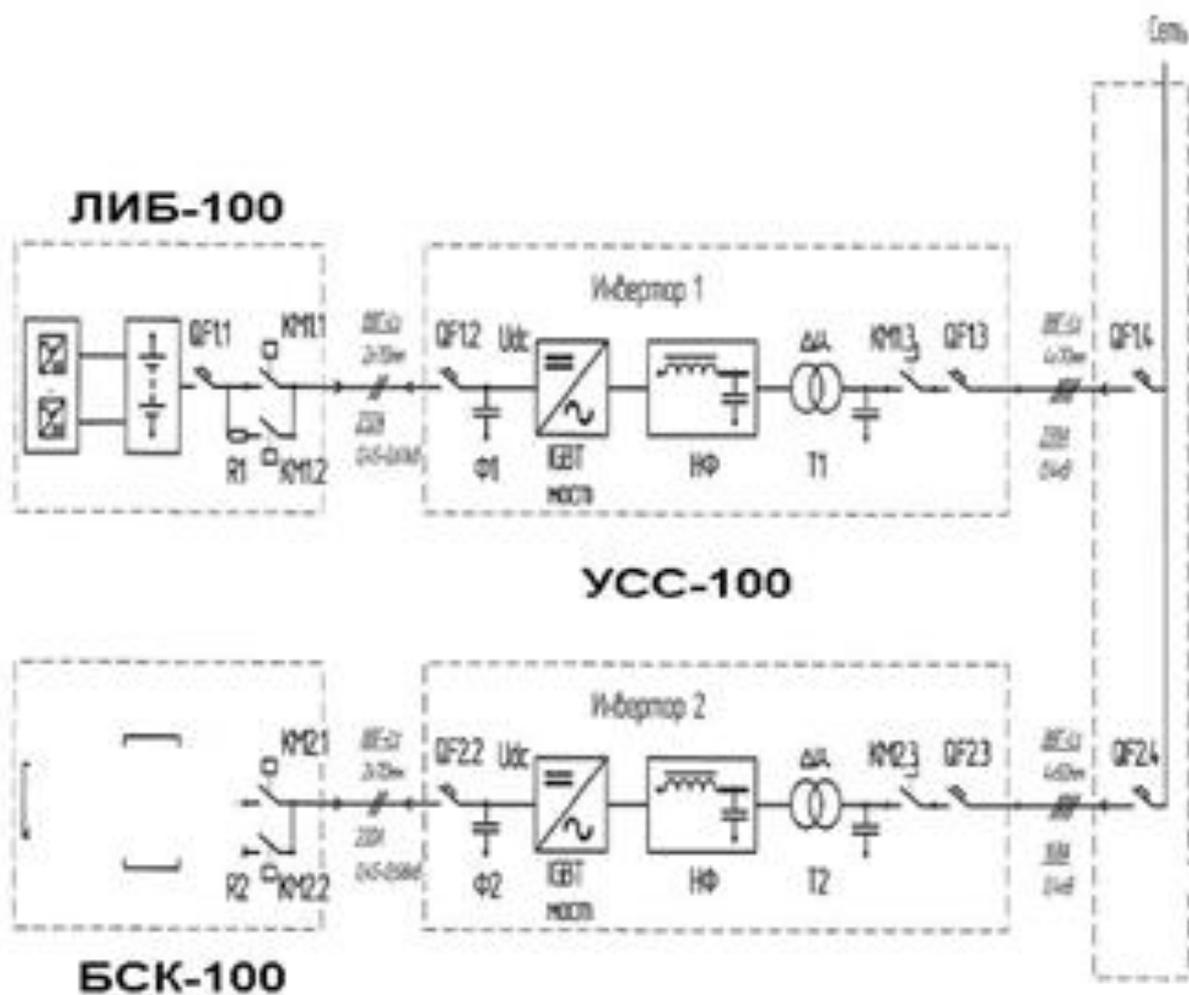


Рисунок 22 –Однолинейная схема (б) гибридного накопителя

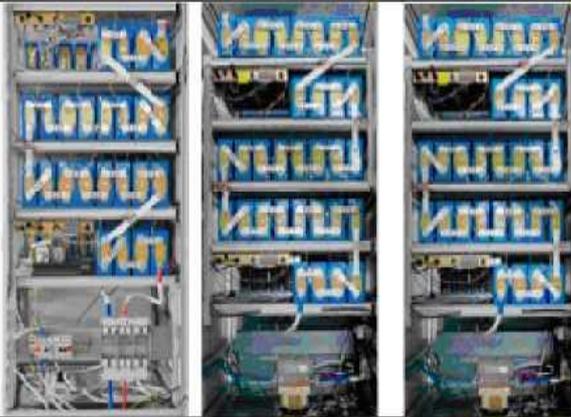
Устройства согласования с сетью УСС-100 состоят из двух одинаковых блоков: один для работы с ЛИБ-100, другой - с БСК-100 и представляют собой два преобразователя постоянного тока в переменный (и наоборот) с соответствующим согласованием уровней напряжений. Этот модуль обеспечивает независимое управление активной и реактивной мощностью. УСС-100 также осуществляет функции системы управления ГНЭ-100 и активного фильтра сети, что позволяет существенно улучшить качество электрической энергии за счёт использования алгоритмов компенсации токов обратной последовательности по основной гармонике и компенсации гармоник близких к основной (номера 5,7,11,13,17).

Общий вид опытного образца гибридного накопителя энергии ГНЭ-100 с активной мощностью накопителя 100 кВт и энергоемкостью 100 кВтч показан на рисунке 13. Технические характеристики рассмотренных устройств приведены в таблицах 6,7,8.



**БАТАРЕЯ
ЛИТИЙ-ИОННЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ
ЛИБ 100**

168 аккумуляторов
(60+60+48)
Электротехническая
система
 LiFePO_4/C



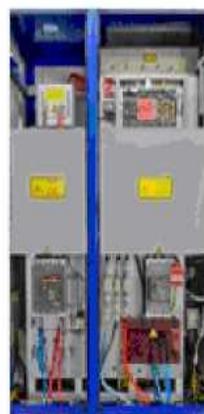
**БАТАРЕЯ
СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ
БСК 100**

20 суперконденсаторов
МНЭ-0,93/36 JE
Напряжение 360 В
Емкость 1,93 Ф
Масса 38 кг

**УСТРОЙСТВО
СОПРЯЖЕНИЯ
С СЕТЬЮ
УСС 100**



УСС 100 БСК



Екд без дверей



УСС 100 ПНБ

Рисунок 23 - Общий вид гибридного накопителя энергии ГНЭ-100

Таблица 6 - Технические характеристики накопителя ГНЭ-100

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	380+10% 380-15%
Номинальный выходной фазный ток (А)	152
Диапазон напряжений звена постоянного тока	400...750
Коэффициент гармоник тока сети не более (%)	7
Энергоемкость (кВт*ч)	100
Время работы с полуторакратной перегрузкой по току сети (сек)	до 10
Время работы с номинальной нагрузкой (часы)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (квар)	(0 - 100)
КПД в цикле заряд-разряд, не менее (%)	75
Регулировка реактивной мощности (кВАр);	-50 - 50

Таблица 7 - Технические характеристики батареи ЛИБ -100

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Энергоемкость, (кВт-час)	100
Время работы в установившихся режимах с номинальной мощностью, (час)	1,0
Ресурс, не менее (циклов заряд-разряд)	1500
КПД в цикле, не менее (%)	85
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10

Таблица 8 - Технические характеристики БСК-100

Номинальное статическое напряжение заряда, (кВ)	0,7
Напряжение при разряде, (В)	380+10% 380-15%
Номинальная динамическая активная мощность при разряде, (кВт)	100
Время работы в динамическом режиме с номинальной мощностью, в диапазоне, (сек)	5 - 10
Ресурс, не менее. циклов заряд-разряд	150000
КПД в цикле, не менее (%)	85

Моделирование работы опытного образца гибридного накопителя энергии на испытательном стенде

Для определения функциональных возможностей опытного образца гибридного накопителя мощностью не менее 100 кВт и энергоемкостью 100 кВт ч. проведены экспериментальные исследования в условиях, приближенных к реальным. Для этих работ был разработан специальный испытательный стенд (далее - Стенд) состоит из следующих подсистем:

- газотурбинной электростанции (ГТЭ-1500) с напряжением 6,3 кВ и установленной мощностью 1250 кВт, имитирующей работу сетевой электростанции;
- понижающего трансформатора 6,3кВ/0,4кВ;
- блока активных и реактивных тестовых нагрузок для имитации возмущений в сети в соответствии с условиями моделирования.

Система управления испытаниями, кроме реализации заданных возмущений сети путем включения и выключения нагрузочных устройств, включает в себя защитнокоммутационные аппараты, предназначенные для коммутации силовых устройств, защиты их от перегрузки и токов короткого замыкания.

С помощью этого испытательного стенда исследовалась совместная работа аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов в специфических условиях, налагаемых на накопительные батареи. Кроме того, была определена степень влияния компенсационных режимов работы на эффективность системы накопления в целом по гибридной и отдельным схемам, а также, эффективность использования гибридной схемы накопителя при работе с сетью и потребителем электрической энергии.

В ходе проведенных испытаний ГНЭ - 100 были установлены особые преимущества гибридной схемы:

- ток заряда и разряда аккумуляторной батареи характеризуется плавным нарастанием и спадом (по сравнению с ее работой без суперконденсаторов), что благоприятно сказывается на системе балансировки (выравнивания напряжений) аккумуляторных элементов;

- возможность компенсации кратковременных возмущений сети без подключения аккумуляторной части. При периодическом изменении нагрузки с периодом 1, 2, 5 сек, 10 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью суперконденсаторов. Таким образом, возмущающие воздействия нагрузки компенсируются без использования аккумуляторной части накопителя;

- возможность реализации кратковременного, форсированного режима накопителя с выдачей мощности в два раза превышающей номинальную.

Испытания проводились в следующих режимах работы ГНЭ:

1. **Автономный режим работы ГНЭ на нагрузку.** Этот режим предполагает работу ГНЭ на нагрузочный модуль в случае исчезновения (или отсутствия) напряжения сети переменного тока. В этом случае преобразователь ГНЭ работает в режиме источника напряжения, формируя амплитуду, частоту напряжения в локальной сети

2. **Компенсация возмущений мощности и частоты** в электрической сети переменного тока, вносимых сбросом/набросом нагрузки. В этом режиме ГНЭ обеспечивает компенсацию возмущения, возникающего в электрической

сети вследствие сброса/наброса нагрузки. Возмущение создается посредством коммутации нагрузки. Причем, система управления преобразователями настраивается таким образом, чтобы мощность, выдаваемая/потребляемая ГНЭ, компенсировала все вносимые возмущения. Целью проведения эксперимента является определение степени (и частотной характеристики) возможной компенсации возмущения сети. При этом контролируются амплитуда напряжения, частота и фаза электрической сети.

3. Управление реактивной мощностью. Известно, что УСС ГНЭ может выдавать от минус 100% до плюс 100% реактивной мощности. Целью проведения эксперимента является подтверждение данного факта.

4. Режим источника бесперебойного питания (ИБП). В данном режиме один из преобразователей используется в качестве управляемого выпрямителя, осуществляющего передачу электрической мощности из сети в звено постоянного тока, к которому подключены ЛИБ-100 или БСК-100, а второй преобразователь - в режиме инвертора, который осуществляет обратное преобразование постоянного тока в переменный. Поскольку к звену постоянного тока подключен накопительный элемент, то питание нагрузки осуществляется непрерывно в случае исчезновения или провалов напряжения питающей электрической сети.

На рисунках показаны типичные экспериментальные осциллограммы, полученные в режимах компенсации накопителем возмущений мощности и частоты в сети переменного тока [5].

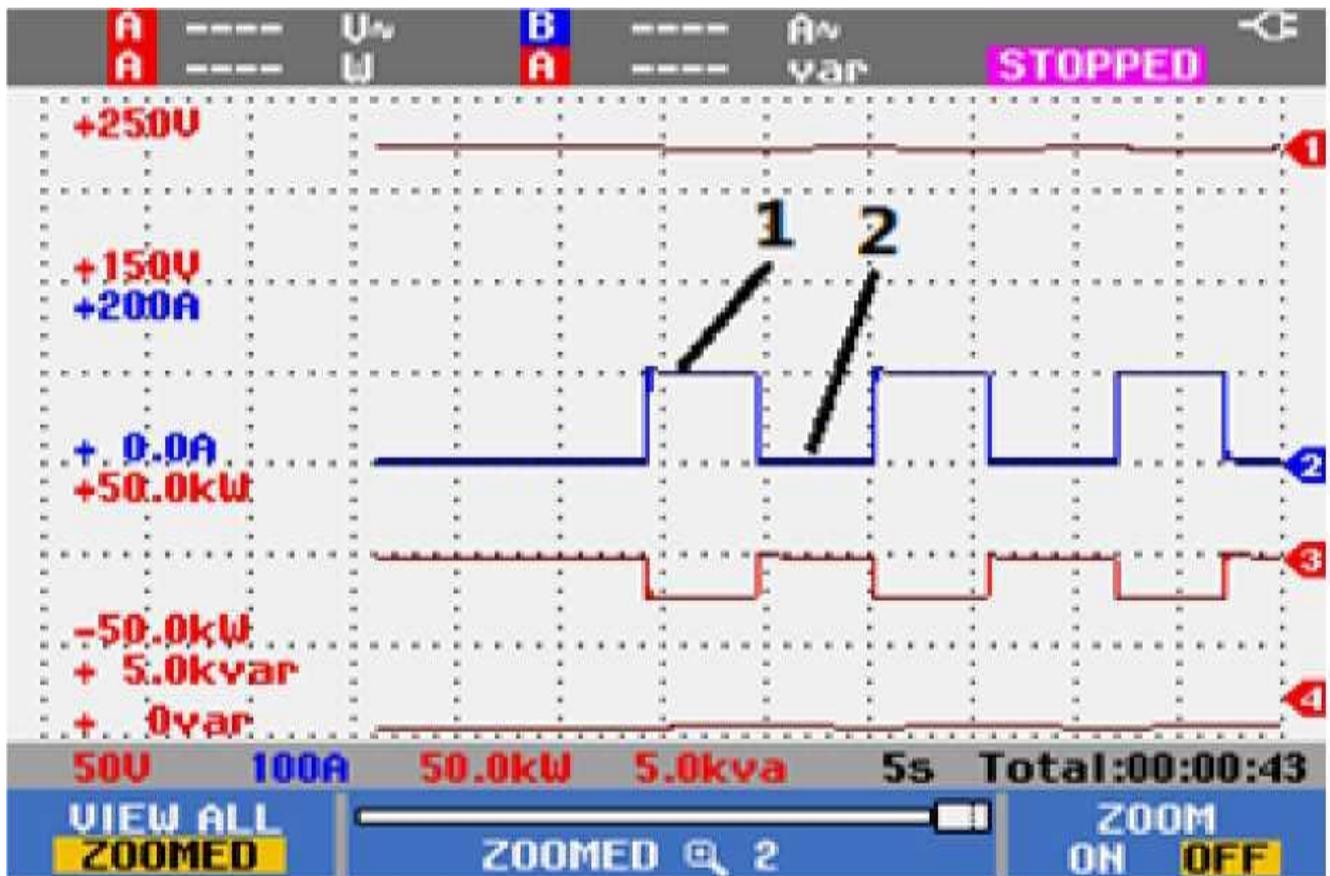


Рисунок 24 - Режим отсутствия компенсации мощности. 1 - интервал включенной нагрузки; 2 - интервал выключенной нагрузки. При включенной нагрузке ток равен 100 А, при выключенной нагрузке ток нулевой. При включенной нагрузке мощность - 25 кВт (потребление), при выключенной нагрузке мощность 0 кВт (потребления нет)

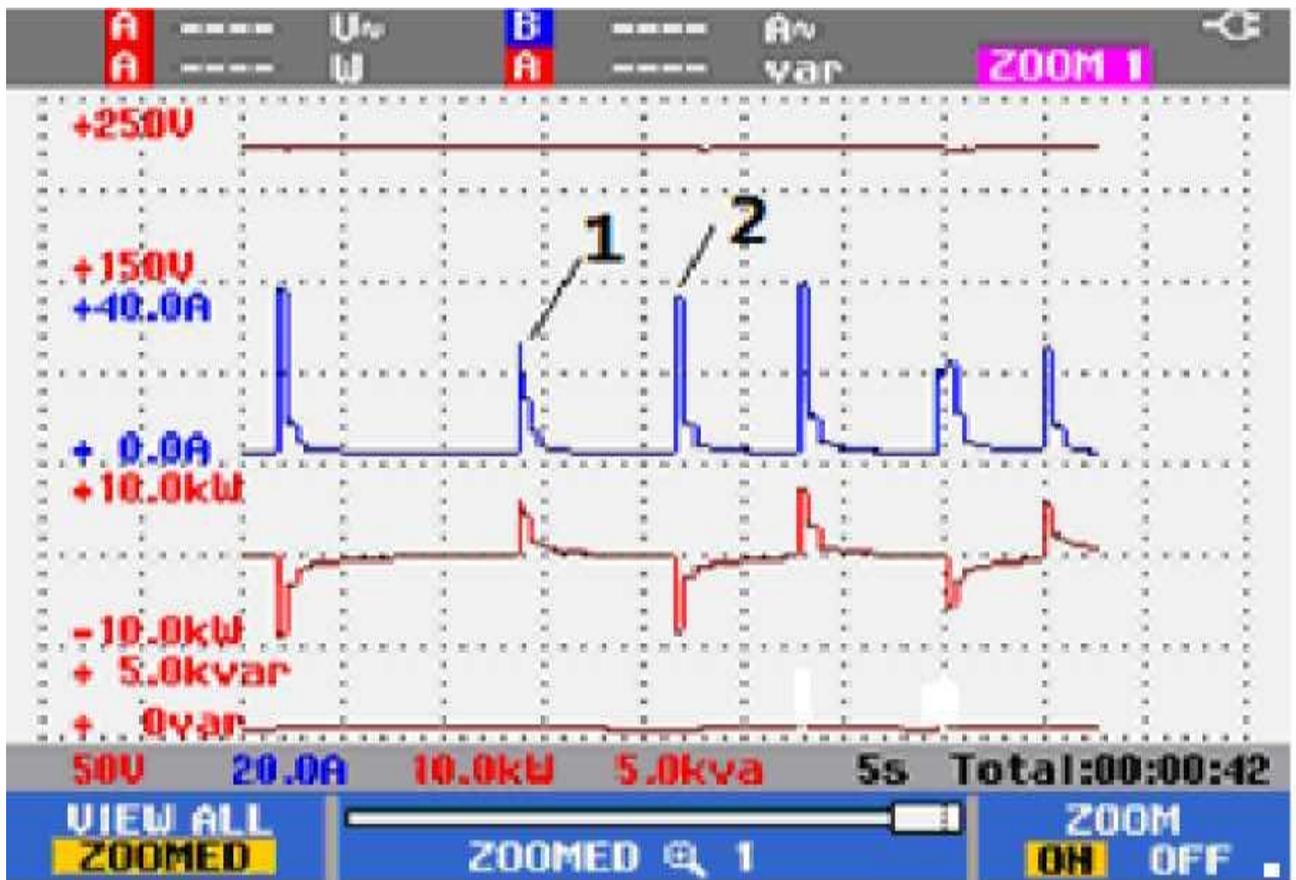


Рисунок 25 - Режим полной компенсации мощности. 1 - выключение нагрузки; 2 - включение нагрузки.

На графиках тока и мощности рисунке 25 видно, что:

- после каждого включения/выключения нагрузки устанавливаются нулевые значения тока и мощности, что означает полную компенсацию потребления включенной нагрузкой;
- каждое включение/ выключение нагрузки сопровождается всплеском тока и мощности, что определяется точностью настройки режима компенсации ГНЭ.

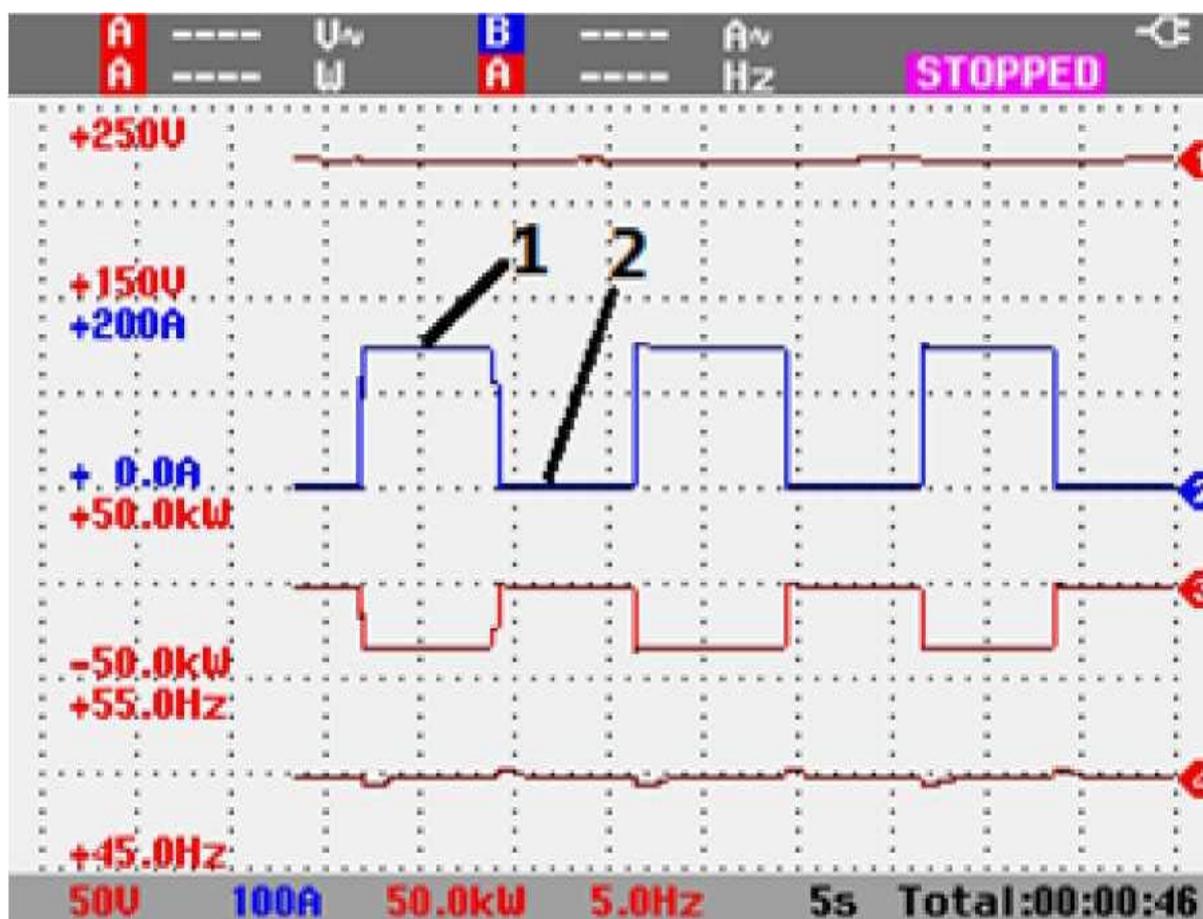


Рисунок 26- Режим отсутствия стабилизации частоты. 1 - интервал включенной нагрузки; 2 - интервал выключенной нагрузки. На рис.8. при включенной нагрузке ток равен 100 А, при выключенной нагрузке ток нулевой. При включенной нагрузке мощность - 25 кВт (потребление), при выключенной нагрузке мощность 0 кВт (потребления нет).

Как видно на рисунке 26, после включения/выключения нагрузки наблюдаются всплески частоты, которые компенсируются системой компенсации частоты газотурбинной установки за время, соответствующее времени переходного процесса компенсатора ГТЭ.

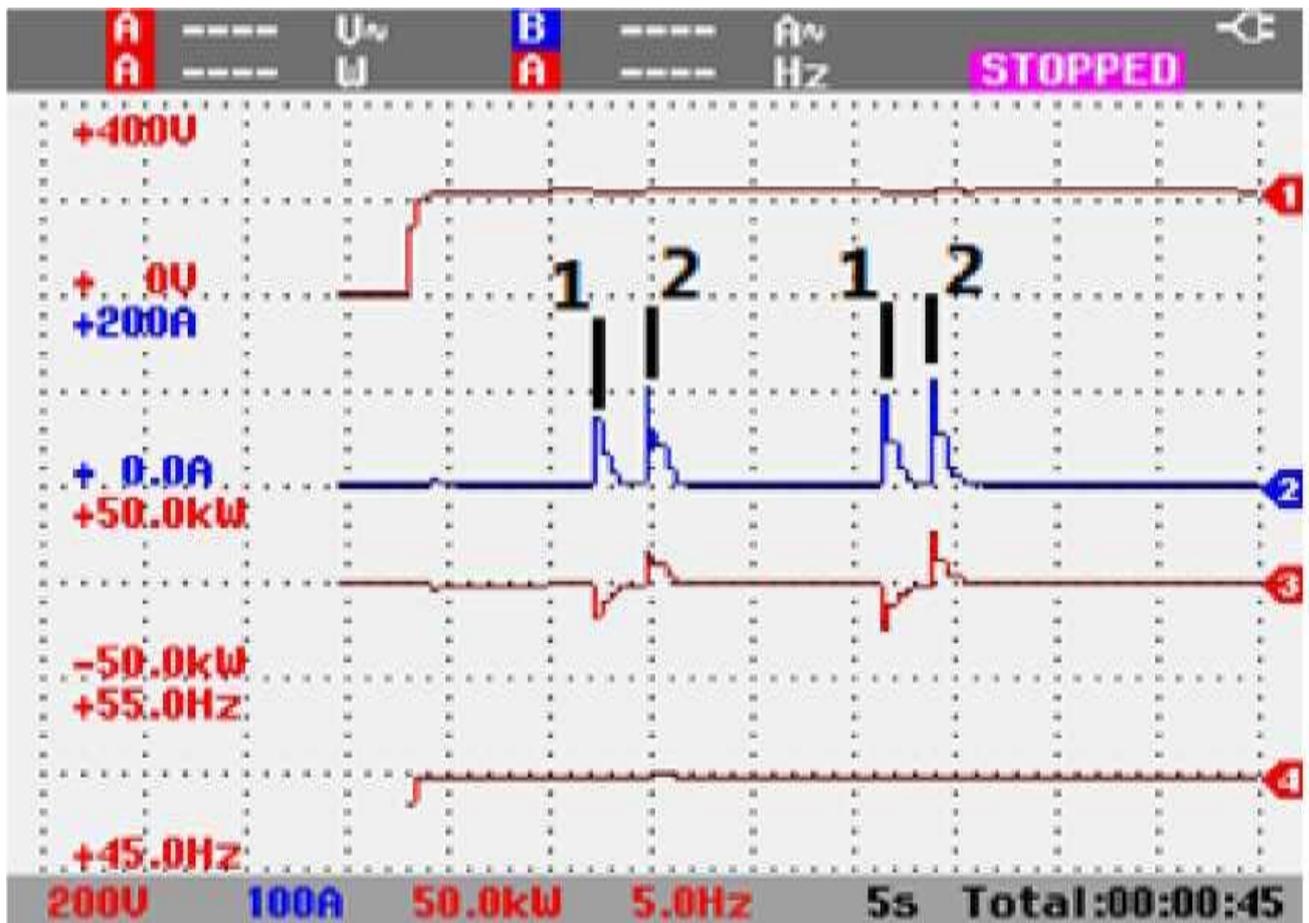


Рисунок 27 - Режим полной компенсации частоты. 1 - включение нагрузки; 2 - выключение нагрузки.

На графике частоты (рисунок 27) видно, что включение/выключение нагрузки не сопровождается всплеском частоты.

На рисунке 27 представлена структурная схема стабилизации напряжения рабочей точки суперконденсатора.

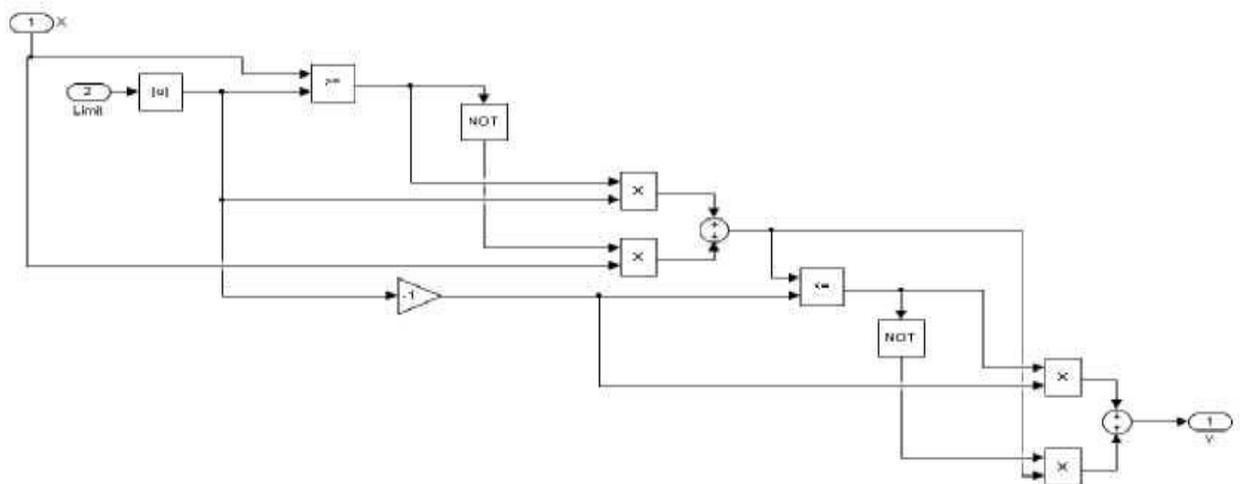
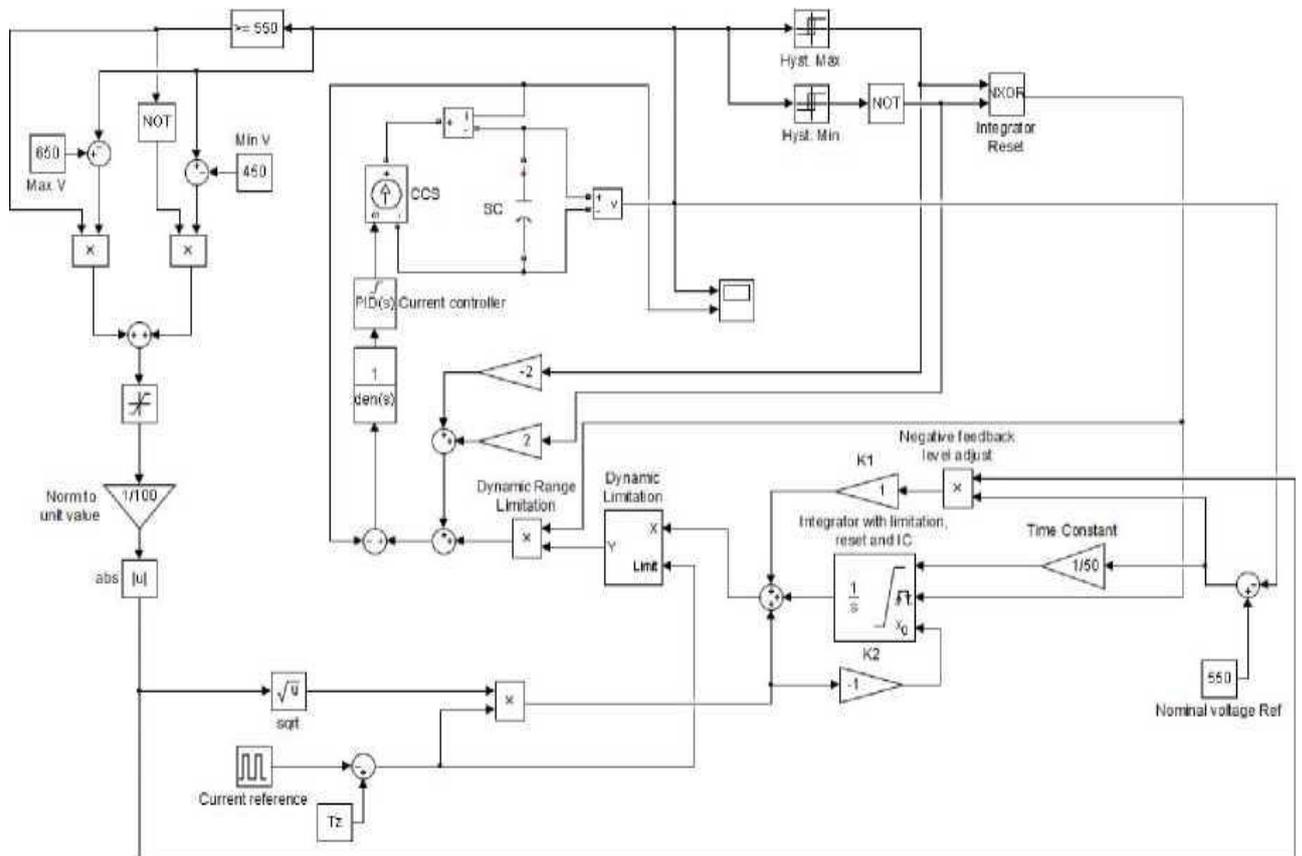


Рисунок 28 - Структурная схема алгоритма обеспечения компенсации с использованием суперконденсатора

Измеряемое напряжение на суперконденсаторе подаётся на функции сравнения с максимально и минимально допустимым уровня напряжения на суперконденсаторе (650В и 450В для эксперимента соответственно), после чего, производится формирование сигнала, пропорционального разности

измеренного значения относительно среднего значения и ограничиваемого предельными значениями. Затем, производится нормировка сигнала, тем самым, формируется сигнал от нуля до единичного значения. Единичное значение соответствует номинальному среднему значению напряжения на суперконденсаторе, нулевое — равному или вышедшему за граничные значения. Далее сигнал подвергается нелинейному преобразованию с целью формирования специальной характеристики тока задания в области номинальных значений напряжений на суперконденсаторе и в области близкой к граничным значениям. При увеличении тока напряжение на суперконденсаторе растёт пропорционально и стабилизируется на верхней границе диапазона. Для резкого ограничения существуют гистерезисные компараторы по напряжению (с диапазоном гистерезиса 4В по минимуму и максимуму), которые формируют дискретный сигнал. Для обеспечения демпфирования колебаний интегратора и динамического звена, содержащего ёмкость (эквивалент - система второго порядка) используется изменяемый коэффициент отрицательной обратной связи (ООС), фактически, изменяемую пропорциональную составляющую ПИ регулятора по закону, формируемым блоком отклонения значений от номинального режима. Чем больше отклонение — тем меньше величина пропорциональной части регулятора. Таким образом, при возмущениях и одновременно близкой к граничным значениям величины напряжения подавляются скачки тока задания в соответствии с ошибкой напряжения суперконденсатора, иными словами, чем больше ошибка по напряжению — тем меньше коэффициент ООС. Можно отметить, что в номинальном режиме при равенстве напряжения на суперконденсаторе напряжению задания 550В, регулятор имеет пропорционально-интегральную структуру (с пропорциональной частью, определяемой коэффициентом K_1), а при подходе к граничным режимам работы — интегральную структуру (с нулевой пропорциональной частью). В номинальном режиме производится демпфирование колебаний за счёт максимальной пропорциональной составляющей. Ток поддержания средней

точки не должен превышать 15-20% от компенсационного тока и определяется соотношением коэффициентов в нелинейных обратных связях.

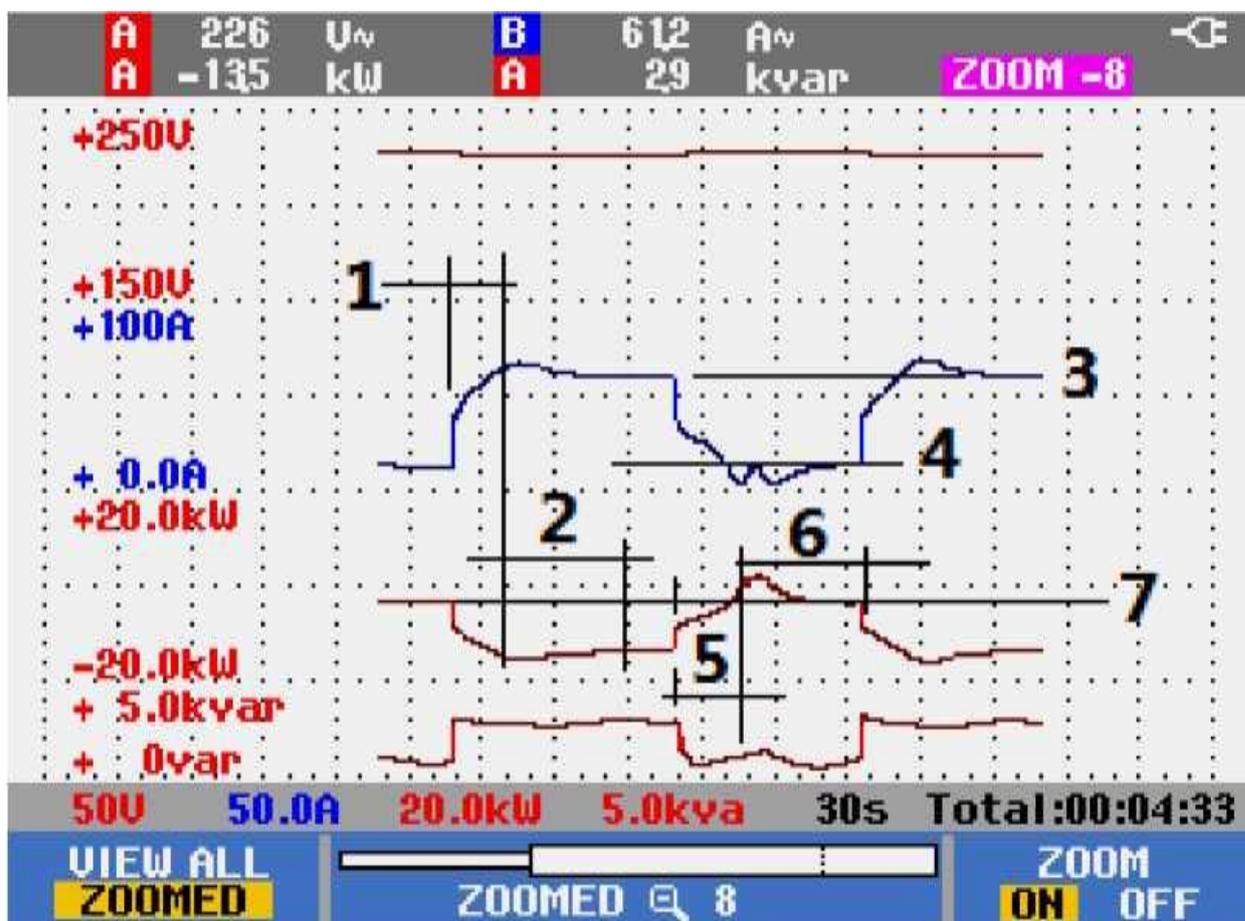


Рисунок 29 - Переходные процессы при коммутации нагрузки и включённой компенсации суперконденсатором,

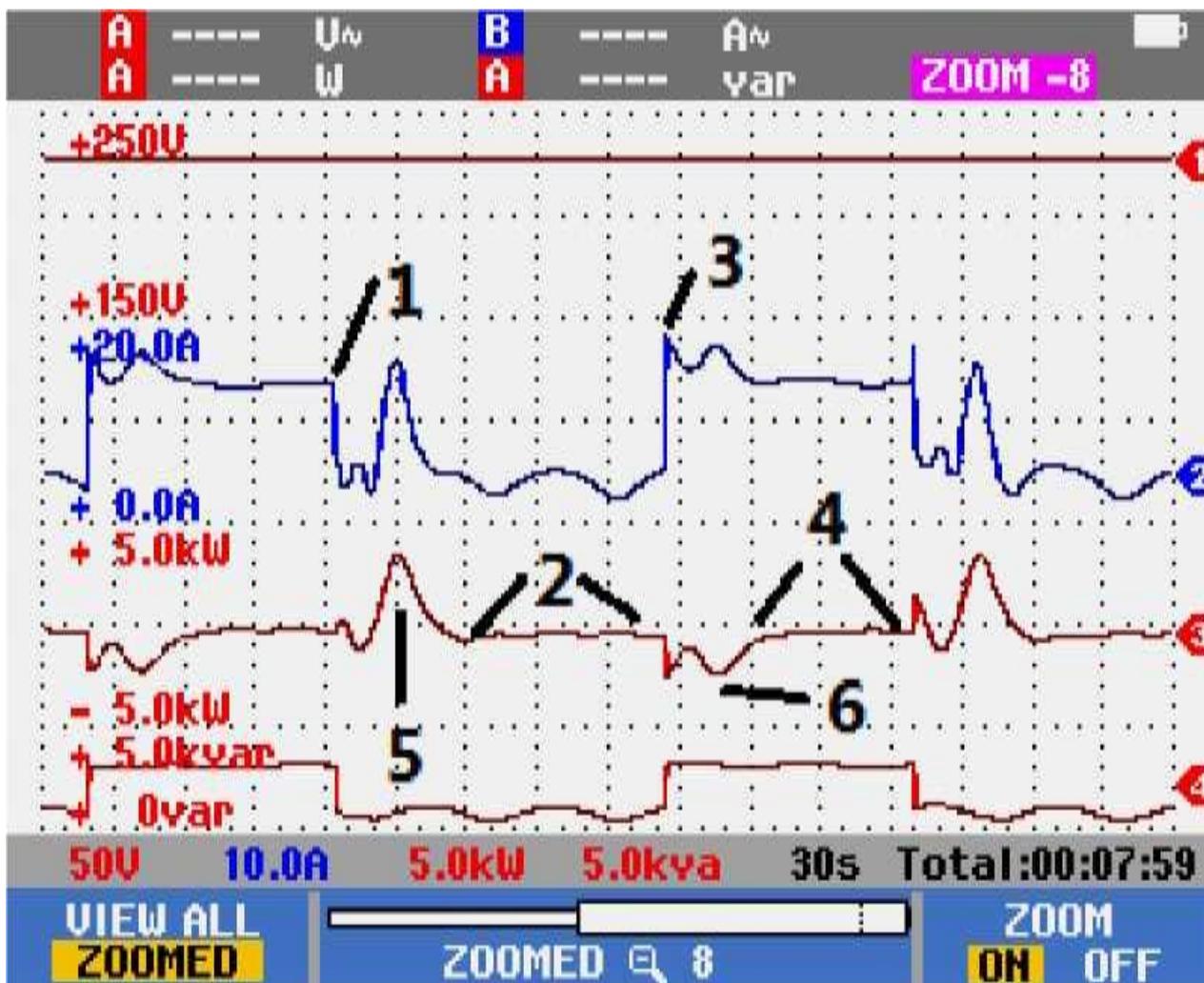


Рисунок 30 - Переходные процессы при коммутации нагрузки и включённой компенсации - гибридный режим с суперконденсатором и литий-ионной батареей

На серии рисунке 29 представлены тренды переходных процессов в системе только с суперконденсатором с применением схемы управления на рисунке 27. На интервале времени 1 производится компенсация наброса нагрузки, при этом, суперконденсатор разряжается на сеть, формируя плавное нарастание фронта включения нагрузки. По мере приближения напряжения суперконденсатора к минимальному значению (полному расходу энергии), ток задания уменьшается до нуля и изменяет знак на зарядный. В момент времени 2 производится заряд суперконденсатора, но уже существенно меньшим током, чем разрядный, что обеспечивает режим нормированного тока поддержания «средней точки» суперконденсатора, соответствующей номинальному значению напряжения и энергии, необходимой для

компенсации возмущений. Аналогично, при сбросе нагрузки суперконденсатор продолжает потреблять ток из сети, создавая фронт спада с заданным временем затухания и одновременно производя зарядку, что отражено на интервале 5. На интервале времени 6 суперконденсатор постепенно разряжается на сеть стабилизируя напряжение средней точки со сведением тока потребления к нулю. Уровни 4 и 7 - нулевые, 3 - номинальный ток нагрузки. В данном случае установка может быть использована для динамической стабилизации параметров частоты и напряжения, чтобы исключить чрезмерную скорость нарастания мощности, и, как следствие, возможного перерегулирования (выбросы, форсажные режимы) в системе управления генератором, ведущей к перерасходу топлива.

На рисунке 20 б) представлен гибридный режим работы установки. Устройства УСС-100-СК и УСС-100-ЛИБ включены в параллель на общую сеть и нагрузку. На рисунке 17 б) представлены этапы работы гибридного накопителя. В момент времени 1 производится отключение нагрузки. Суперконденсатор продолжает потреблять ток из сети и заряжается. На интервале 5 энергия компенсирующий импульс суперконденсатора заканчивается и преобразователь аккумуляторной батареи начинает сводить ток к нулю, при этом, обеспечивается плавное нарастание и спадание тока аккумуляторной батареи. На интервале времени 2 суперконденсатор разряжается до номинального значения напряжения в рабочей точке. В момент времени 3 производится включение нагрузки, при этом, суперконденсатор начинает разряжаться на сеть, затягивая фронт включения нагрузки, через некоторое время на интервале времени 6 ток, формируемый регулятором аккумуляторной батареи становится достаточным для компенсации тока нагрузки и процесс устанавливается на интервале времени 4. В этот момент суперконденсатор заряжается.

Выводы.

Разработан алгоритм поддержания максимальной мощности, например, при использовании генератора с изменяющимся напряжением, каким может

быть солнечная батарея, ВЭУ и иной источник с характеристикой мощности, представляющей собой кривую с экстремумом мощности и нулевыми значениями при напряжении холостого хода и короткого замыкания.

Все проведённые эксперименты подтверждают возможность реализации заявленных характеристик устройств согласования с сетью.

Результаты выполненных испытаний ГНЭ-100 могут быть кратко сформулированы следующим образом:

1. Разработанные программа и методика испытаний опытного образца ГНЭ-100 позволяют оценить технические характеристики в реальных условиях эксплуатации как изделия в целом, так и его отдельных подсистем (ЛИБ-100, БСК-100 и УСС -100)

2. При периодическом изменении нагрузки с периодом 1, 2, 5 сек, 10 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью суперконденсаторов. Таким образом, возмущающие воздействия нагрузки компенсируются полностью.

3. При периодическом изменении нагрузки с периодом более 10 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью аккумуляторных батарей. Таким образом, возмущающие воздействия нагрузки указанного спектра компенсируются полностью.

4. При периодическом изменении нагрузки с периодом 1, 2, 5, 10, 100 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью гибридного накопителя; при этом возмущающие воздействия нагрузки высокочастотного спектра (с периодом 1-10 сек) компенсируются с помощью суперконденсаторов, а возмущающие воздействия нагрузки низкочастотного спектра (с периодом более 10 сек) компенсируются с помощью аккумуляторных батарей.

5. Испытания режима источника бесперебойного питания показали устойчивое электроснабжение потребителя от ГНЭ-100 с поддержанием заданного уровня напряжения локальной нагрузки при отключении сети.

6. Реализованный алгоритм работы ГНЭ-100 обеспечивает рекуперативный режим работы - компенсацию возмущений за счет заряда суперконденсаторной батареи во время сброса нагрузки.

7. ГНЭ-100 обеспечивает режим кратковременного двукратного увеличения максимальной мощности путем параллельной работы батарей аккумуляторов и суперконденсаторов.

На основе этих испытаний проведена оценка влияния ГНЭ на работу электроэнергетических систем и работу микросетей ГНЭ и определены области применения для:

- покрытия пиковых графиков нагрузки при размещении ГНЭ в непосредственной близости к потребителю или непосредственно на подстанциях при установленной мощности ГНЭ 1,0 МВт, 5 МВт, 20 МВт, и для различной длительности работы от 15 мин до 5 часов в сутки;

- повышения качества электроэнергии и надежности энергосистемы при размещении ГНЭ на подстанциях сетевой инфраструктуры в целях улучшения качества электроэнергии и надежности системы путем регулирования реактивной мощности, это позволяет влиять на такие факторы как: низкое напряжение, низкий коэффициент мощности, недостаточный запас устойчивости при кратковременных нарушениях в энергосистеме. Диапазон установленной мощности ГНЭ должен быть от 5 МВт до 20 МВт, при длительности работы до 2 часов в сутки.

- регулирования частоты в энергосистеме(услуги по замещению вращающегося резерва), поддержание диспетчерского графика нагрузки при установленной мощности ГНЭ от 10 до 20 МВт и для длительности работы от 1 минуты (регулирование частоты), до 1 часа (услуги по поддержанию диспетчерского графика) и до 2-х часов (услуги по замещению вращающегося резерва);

- использования в качестве резервного источника электроснабжения для особо важных потребителей, обеспечение передвижного резервного источника энергоснабжения в случае

запланированных или незапланированных отключений, а также поддержка при перебоях в электроснабжении при установленной мощности ГНЭ 1 МВт и длительности работы от 3 до 12 часов в сутки;

- интеграции с распределенной генерацией, в том числе ВИЭ (ветровой и солнечной) для выравнивания колебаний генерируемой мощности и улучшения интеграции ветровых и солнечных энергетических установок с распределительными сетями при установленной мощности ГНЭ (соответствующей мощности оборудования ВИЭ) 100 кВт, 500 кВт, 1 МВт, 5 МВт и для длительности работы от 2 до 6 часов в сутки;

- ответственных потребителей в целях снижения затрат на обслуживание и улучшения качества снабжения электрической энергии при установленной мощности ГНЭ (соответствующей объемам потребления) 500 кВт, 1,5 МВт, 5 МВт, 20 МВт и для длительности работы (1 ... 12) часов в сутки.

4 ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

На подстанциях филиала АО «ДРСК» «Амурские электрические сети» выполнение правил и мер безопасности является обязательным и отступление от них не допускается. Условия работ, срочность их выполнения и другие причины не могут служить основанием для нарушения мер безопасности. К выполнению работ по обслуживанию и ремонту АБ допускается специально обученный персонал или аккумуляторщики, которые соответствуют требованиям:

- достигли 18 летнего возраста;
- прошли медосмотр;
- прошли проверку знаний по ОТ и ППБ, технологии работ с присвоением группы по электробезопасности не ниже ШИ;
- прошли специальное обучение и проверку знаний по спецтребованиям с соответствующей записью о проверке знаний;
- прошли обучение по пожарно-техническому минимуму;
- прошли вводный инструктаж в СОТ и ПБ на предприятии и первичный инструктаж на рабочем месте;
- допущенные к самостоятельному производству работ приказом по МЭС.

Двери помещения аккумуляторной батареи должны быть постоянно заперты на замок. Ключ должен храниться на щите управления и выдаваться только работникам, обслуживающим АБ и работникам имеющим право единоличного осмотра электроустановок. Аккумуляторное помещение должно содержаться в чистоте и порядке. Хранение посторонних предметов в помещении АБ запрещено. Запрещается устанавливать кислотные и щелочные АБ в одном помещении.

Нельзя хранить кислоту и щелочь в одном помещении. Концентрированную серную кислоту, дистиллированную воду, электролит, растворы пищевой и кальцинированной соды следует хранить в плотно закрытых сосудах в помещении кислотной. На емкостях должны быть четкие надписи («Концентрированная серная кислота», «Электролит», «2-3% раствор пищевой соды», «5% раствор пищевой соды», «5% раствор кальцинированной соды», «10% раствор кальцинированной соды»). Концентрированная серная кислота должна храниться в стеклянных бутылках, с деревянной обрешеткой. Бутылки с кислотой должны быть установлены на полу в один ряд. Все работы с кислотами должны производиться лицами, прошедшими специальный инструктаж по технике безопасности при работе с кислотой.

Перенос бутылки с кислотой должен производиться в специальных носилках, с обрешетками и отверстием посередине. Бутыль должна входить в носилки на 2/3 высоты, вместе со своей корзиной.

Перенос бутылки с кислотой осуществляют два человека, одетые в грубошерстные костюмы, резиновые сапоги, резиновые перчатки, резиновые фартуки, в головных уборах и с обязательным применением защитных очков. При переливе кислоты из бутылки следует пользоваться специальным верстаком, который позволяет наклонять и закреплять бутылку с кислотой в наклонном положении. При работе по приготовлению электролита следует соблюдать следующие правила:

- должна быть включена вентиляция;
- рабочие, выполняющие работу с кислотой, должны надеть грубошерстные костюмы, защитные очки, резиновые сапоги, резиновые перчатки, фартук. Брюки костюма должны надеваться поверх голенищ сапог;
- вблизи места работ должен находиться сосуд с 5% раствором пищевой соды;
- при приготовлении электролита кислота медленно с остановками, во избежание интенсивного нагрева раствора, вливается тонкой струей из

фарфоровой кружки емкостью 1÷2 литра в сосуд с дистиллированной водой при постоянном перемешивании.

Запрещается вливать воду в кислоту. При случайном попадании брызг электролита или кислоты на тело следует немедленно удалить капли сухой тканью или ватой. Пораженный участок обмыть струей воды из-под крана, а затем немедленно нейтрализовать его 5% раствором пищевой соды. При проведении работ в помещении АБ должны быть приняты меры против случайного соприкосновения работающих с токоведущими частями, находящимися под напряжением, для чего устанавливаются ограждения, вывешиваются плакаты.

Аккумуляторные элементы, которые заполнены электролитом нельзя передвигать, выравнивать и поднимать. Не разрешается производить ремонт стеллажей, на которых уже стоят залитые электролитом АЭ. Окислы свинца вызывают тяжелые заболевания.

Поэтому со свинцовыми пластинами следует работать в резиновых перчатках при включенной вентиляции с применением респиратора с ватным фильтром. Во время работы запрещается курить. Перед едой следует тщательно вымыть руки с мылом, прополоскать рот.

Производство работ на токоведущих частях АБ относятся к работам под рабочим напряжением до 1000 В и должны выполняться по наряду. Руководитель работ должен иметь группу IV, а член бригады- группу III. При работе по наряду на токоведущих частях АБ с изоляцией человека от земли, руководителем работ должен назначаться работник с группой V.

Обслуживание АБ должен выполнять работник с группой по электробезопасности не ниже III. При измерении электрических параметров АБ запрещается применять измерительные приборы с металлическим корпусом.

Пожарная безопасность при эксплуатации аккумуляторных батарей

Пожарная опасность аккумуляторного помещения возникает при образовании взрывоопасной концентрации смеси кислорода с водородом, который выделяется в процессе заряда АБ. При возникновении различных аварийных явлений - могут образовываться искры, эл. дуга, опасные нагревы и т.п. Особый вид пожарной опасности может создавать серная кислота - при соприкосновении с органическими веществами (ткань, дерево и др.) серная кислота обугливает их с выделением тепла. Перед выполнением огневых работ непосредственно в аккумуляторном помещении (пайке пластин) необходимо выполнить следующие мероприятия: ·

- пайка разрешается не ранее чем через 2 часа после перевода АБ в режим разряда; ·

- до начала работ помещение АБ должно быть провентилировано (за два часа до начала работ); ·

- во время пайки должна производиться непрерывная вентиляция; ·

- место пайки должно быть ограждено от остальной батареи огнестойкими щитами.

Стены, двери, потолки, вентиляционные короба и другие части помещения АБ должны быть обязательно защищены кислотоупорной краской. При возникновении загорания или пожара в помещении АБ, она должна быть немедленно отключена от шин постоянного тока. На двери аккумуляторного помещения должна быть надпись «Аккумуляторная», «Курение запрещено», «Огнеопасно», «С огнем не входить». В аккумуляторном помещении запрещается курение и использование электронагревательных приборов и аппаратов, которые могут дать электрическую искру.

Для осмотра АЭ с применением дополнительного освещения необходимо пользоваться переносной лампой взрывозащищенного исполнения напряжением не выше 42 В. Для освещения помещения АБ должны применяться светильники во взрывобезопасном исполнении. Выключатели должны находиться в отдельном помещении. Перечень приборов, спецодежды, обуви, защитных средств инвентаря необходимых при

эксплуатации АБ. Для обслуживания АБ должны быть в наличии следующие приборы: ·

- ареометр с ценой деления 0,005 г/см³- 2 шт.; ·
- термометр ртутный стеклянный с ценой деления 1°С и пределами измерений от 0÷50 °С - 2 шт., (один должен находиться в контрольном элементе); ·
- термометр метеорологический стеклянный с пределами измерений от -10 до + 40 °С - 1 шт. настенный; ·
- вольтметры класса 1,0 со шкалой 3-0-3 В, и 0-300 В или цифровые с аналогичными параметрами- 2 шт.

Для возможности выполнения ряда работ и обеспечения безопасности должен быть следующий инвентарь: ·

- очки защитные - 2 пары; ·
- резиновые сапоги - 2 пары; ·
- резиновые перчатки - 2 пары; ·
- резиновый фартук - 2 шт.; ·
- грубошерстный костюм - 2 шт. ·
- кружка фарфоровые или стеклянные с носиком емкостью 1,5÷2 литр- 1 шт.; ·
- резиновая груша, резиновые шланги - 2÷3 шт.; ·
- переносная лампа взрывозащищенного исполнения- 1 шт.; 10.

Запасные части и материалы ·

- запас баков, электродов, покрывных стекол не менее 5% от общего числа аккумуляторов наибольшей АБ Северной ЭС централизованно хранится в СЦРВО; ·
- свежий электролит в количестве емкости одного бака элемента АБ, хранящийся в стеклянном баке элемента АБ с надписью «Электролит»; ·
- запас дистиллированной воды должен храниться в двух пластмассовых сосудах емкостью 50 литров, в любой момент времени запас дистиллированной воды должен быть не менее 50ти литров; ·

- переключатель для закоротки элементов АБ - 1 шт.; · 2÷3 % раствор пищевой соды и 5% растворы пищевой и кальцинированной соды, 10% раствор кальцинированной соды в бутылках емкостью 3÷5 литров;

5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В течение последнего десятилетия отмечается устойчивая тенденция расширения сферы практического применения накопителей электроэнергии. Изначально используемые в основном в качестве аккумуляторных батарей и источников бесперебойного питания нагрузок небольшой мощности в настоящее время накопители рассматриваются в качестве одной из важнейших составляющих электроэнергетики будущего как неотъемлемый элемент «интеллектуальных электроэнергетических систем».

Таблица 9 - Стоимостные и технические характеристики АКБ

Используемая технология	Энергоемкость, МВт-ч	Мощность, МВт	Время разряда, ч	КПД % (количество циклов)
1	2	3	4	5
Системные потребности (оптовая торговля электроэнергией, покрытие пиковых нагрузок), интеграция возобновляемых источников энергии				
Свинцово-кислотный	200	50	4	85-90 (2200)
	250	20-50	5	85-90 (4500)
	400	100	4	85-90 (4500)
Регулирование частоты, интеграция возобновляемых источников энергии				
Свинцово-кислотный	0,25-50	1-100	0,25-1	75-90 (>100000)
Сетевые потребности (разгрузка линий электропередачи, перенос сроков модернизации линий и подстанций)				
Свинцово-кислотный	3,2-48	1-12	3,2-4,0	75-90 (4500)

1	2	3	4	5
Использование в интересах потребителей (выравнивание графика потребления, улучшение качества электроэнергии, повышение надежности энергоснабжения)				
Свинцово-кислотный	10	5	2	85-90 (1500-5000)
	20		4	

Рассмотрим пример данные соответствуют периоду с 1 по 31 октября 2019 г. – стоимость электроэнергии 5,83525 рублей/кВт*ч

В случае аккумуляирования электроэнергии в часы ее минимальной стоимости, как правило, это время наименьших нагрузок, в накопителе, имеющем КПД 80 % и удельные отчисления на амортизацию и обслуживание 0,02 руб/(кВт*ч) [4, 8], стоимость 1 кВт*ч $C_{сохр}$ может быть определена по упрощенной формуле:

$$C_{сохр} = \frac{C_{мин}}{\eta} + C_{a.o.} \quad (17)$$

$$C_{сохр} = \frac{5,83525}{0,9} + 0,02 = 6,5036$$

где $C_{мин}$ - стоимость электроэнергии в часы минимума;

$C_{a.o.}$ - удельные отчисления на амортизацию и обслуживание АКБ;

η - КПД АКБ.

При выдаче АКБ сохраненной электроэнергии в часы пиковых нагрузок выгода может быть оценена как разность между стоимостью электроэнергии в пиковые часы $C_{макс}$ и величиной $C_{сохр}$:

$$C_{макс} - C_{мин} \quad (18)$$

$$5,83525 - 4,3995 = 1,43575 \text{ руб/кВт*ч}$$

В общем случае анализ эффективности применения АКБ является

сложной многокритериальной задачей. Приведенный выше подход носит исключительно оценочный характер, поскольку, во-первых, не учитывает ряд факторов (затраты на создание, установку и обслуживание накопителя, влияние устройства на параметры энергосистемы, состав генерирующих мощностей энергосистемы и пр.). Во-вторых, приведенные выше соображения в основном относятся к точке зрения потребителей. Тем не менее подобный подход наглядно демонстрирует одно из основных условий целесообразности использования накопителей - наличие как минимум двух суточных тарифов на электроэнергию.

Использование в интересах потребителей (выравнивание графика потребления, улучшение качества электроэнергии, повышение надежности энергоснабжения).

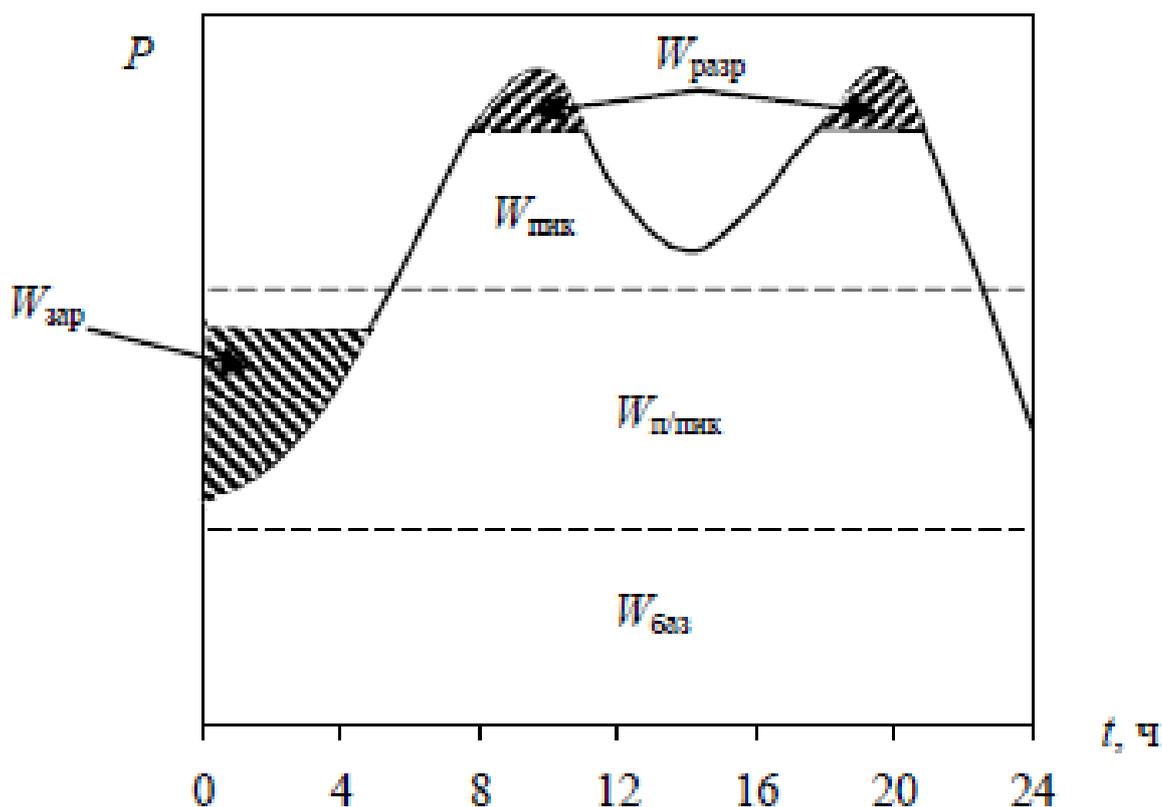


Рисунок 31 - Применение накопителей электроэнергии для выравнивания суточного графика работы энергосистемы

Усредненная стоимость генерации 1 кВт*ч в течение суток в энергосистеме, функционирующей без устройства для накопления электроэнергии,

может быть определена следующим образом:

$$C_{\text{уср}} = \frac{W_{\text{баз}} \cdot C_{\text{баз}} + W_{\text{н/пик}} \cdot C_{\text{н/пик}} + W_{\text{пик}} \cdot C_{\text{пик}}}{W_{\text{баз}} + W_{\text{н/пик}} + W_{\text{пик}}} = \frac{C_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} \quad (19)$$

В случае подключения АКБ, заряд которого происходит в полупиковой, а разряд - в пиковой зонах суточного графика, формула после преобразований примет вид:

$$C_{\text{уср}}^{\text{АКБ}} = \frac{C_{\Sigma} + W_{\text{зар}} \cdot (C_{\text{н/пик}} + \eta \cdot C_{\text{пик}})}{W_{\Sigma} + W_{\text{зар}} \cdot (1 - \eta)} \quad (20)$$

Можно определить условие снижения усредненной стоимости генерации 1 кВт*ч в энергосистеме в случае использования АКБ:

$$C_{\text{уср}} - C_{\text{уср}}^{\text{АКБ}} = \frac{C_{\Sigma} \cdot W_{\text{зар}} \cdot (1 - \eta) - W_{\Sigma} \cdot W_{\text{зар}} (C_{\text{н/пик}} + \eta \cdot C_{\text{пик}})}{W_{\Sigma} \cdot (W_{\Sigma} + W_{\text{зар}} \cdot (1 - \eta))} > 0 \quad (21)$$

Условие выполняется всегда, если:

$$C_{\text{пик}} > C_{\text{н/пик}/\eta} \quad (22)$$

В ином случае:

$$C_{\text{пик}} < C_{\text{н/пик}/\eta} \quad (23)$$

Необходимо соблюдение между $C_{\text{уср}}$, $C_{\text{п/пик}}$ и $C_{\text{пик}}$ следующего соотношения:

$$C_{\text{пик}} < \frac{C_{\text{уср}} \cdot (1 - \eta)}{\frac{C_{\text{н/пик}}}{C_{\text{пик}}} - \eta} \quad (24)$$

Соотношение между стоимостью генерации пиковой и полупиковой электроэнергии зависит в первую очередь от вида задействованных электростанций энергосистемы. Если генерирующие мощности энергосистемы

представлены различными видами станций, то $C_{\text{пик}}$ и $C_{\text{п/пик}}$, могут различаться в 1,5-2 раза или более [10]. В этом случае использование АКБ, работающего в полупиковой (режим заряда) и пиковой (режим разряда) зонах всегда обеспечит выполнение условия. Необходимость принятия во внимание зависимости может возникать только при анализе эффективности применения АКБ в энергосистеме, состоящей из станций одного типа, удельные стоимости генерации киловатт-часа в которых различаются незначительно.

Окончательное суждение о заинтересованности энергетических предприятий в использовании АКБ может быть сделано только на основе сопоставления эффекта от использования устройства, заключающегося в снижении стоимости генерации 1 кВт*ч, с удельными затратами, связанными с использованием АКБ. Оценивая их по методикам, с учетом стоимости потерь в АКБ, получим условие, характеризующее соотношение между параметрами суточного графика работы энергосистемы, стоимостью электроэнергии в пиковой, полупиковой и базовой зонах с диапазоном целесообразных удельных капиталовложений в создание АКБ $k_{\text{уд}}$, при которых использование АКБ для выравнивания суточного графика нагрузки энергосистемы будет экономически оправдано:

$$k < 2 \cdot \frac{N \cdot t_{\text{зар}}}{E + a} \cdot \frac{\eta^2 \cdot C_{\text{пик}} - C_{\text{п/пик}}}{1 + \eta} \quad (25)$$

где N - количество суток работы АКБ в году, согласно [10] принято равным 300;

$t_{\text{зар}}$ - время заряда АКБ в течение суток, может быть принято в пределах 6-8 ч;

E - коэффициент дисконтирования, принят 0,1 [3];

a - норма амортизации АКБ, принята 0,033 [3, 4, 10].

Выражение носит оценочный характер. Для более точных расчетов необходимо учитывать изменение потерь мощности в системе, вызванное

работой АКБ, точное соотношение различных типов электростанций, задействованных в покрытии суточного графика нагрузки, их доли в этом графике и другую информацию.

Тем не менее возможно предварительно оценить величину удельных капитальных вложений в АКБ, при которых применение устройств для накопления электроэнергии приводит к снижению стоимости генерации 1 кВт*ч.

Так, подставляя значения:

$$C_{\text{пик}} = 5,83525 \text{ руб./кВт*ч}$$

$$C_{\text{п/пик}} = 2,2498 \text{ руб./кВт*ч}$$

в формулу, получим, что удельная стоимость АКБ $k_{\text{уд}}$, при которой в случае использования АКБ происходит снижение удельной стоимости генерации 1 кВт*ч, должна быть менее 2,129 руб./кВт*ч).

Сопоставляя эту величину с данными, соответствующими рассматриваемому предназначению АКБ (выравнивание графика потребления), можно предварительно оценить целесообразность применения технологий накопления электроэнергии для данного конкретного случая.

Следует отметить, что, порядок экономически целесообразных капиталовложений в АКБ оказался сопоставим практически со всеми известными и разрабатываемыми технологиями. Этот факт еще раз подтверждает перспективность работ по созданию, совершенствованию и внедрению технологий накоплений электроэнергии в большой энергетике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени создан широкий спектр накопителей, построенных на различных принципах, различающихся как технико-экономическими показателями, так и функциональным назначением [1]: гидравлические и пневматические аккумуляторы, маховики, сверхпроводящие индуктивные накопители, емкостные накопители и разнообразные электро-химические накопители.

Для повышения эффективности аккумуляторных батарей на подстанциях и в энергосистемах возможно применение следующих методов:

1. Обеспечение эффективной работы в гарантированный срок службы аккумуляторных батарей, путём использования система постоянного контроля состояния аккумуляторов.

2. Повышение срока службы аккумуляторов путём использования технологии измерения полной проводимости аккумуляторных батарей.

3. Создание гибридного накопителя, построенного на комбинации аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов.

Применение подобных методов позволит увеличить прибыль энергокомпаний за счёт уменьшения затрат на замену аккумуляторов на новые за счёт увеличения срока службы.

Интерес к накопителям электроэнергии значительно возрос в последнее время в связи с активизацией работ по созданию интеллектуальных электроэнергетических систем, в которых эти устройства играют роль одного из ключевых элементов. В интеллектуальных сетях накопители выполняют целый ряд важных функций, таких как:

- выравнивание графиков нагрузки в сети;
- демпфирование кратковременных колебаний активной и реактивной мощности и частоты;
- снятие или существенное сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи для повышение ее пропускной

способности;

- обеспечение бесперебойного питания собственных нужд подстанций и особо ответственных потребителей;

- обеспечение стабильной и устойчивой работы децентрализованных и нетрадиционных источников, работающих как автономно, так и в составе ЕНЭС.

Предложен и исследован гибридный накопитель энергии, построенный на комбинации аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов.

Разработан и испытан в условиях, близких к реальным, опытный образец гибридного накопителя ГНЭ-100 номинальной мощностью 100 кВт и энергоемкостью 100 кВт ч. Установлены дополнительные преимущества использования гибридной схемы:

- ток заряда и разряда аккумуляторной батареи отличался плавным нарастанием и спадом по сравнению с током в отсутствие суперконденсаторов, что благоприятно сказывается на системе балансировки(выравнивания напряжений) аккумуляторных элементов;

- показана возможность компенсации кратковременных возмущений сети без подключения аккумуляторной части. При периодическом изменении нагрузки с периодом 1, 2, 5 сек, 10 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью суперконденсаторов. Таким образом, возмущающие воздействия нагрузки компенсируются без использования аккумуляторной части накопителя;

- показана возможность реализации кратковременного, форсированного режима накопителя с выдачей мощности в два раза превышающей номинальную.

Проведена оценка влияния ГНЭ на работу электроэнергетических систем и работу микросетей.

На основе испытаний проведена оценка влияния ГНЭ на работу электроэнергетических систем и работу микросетей ГНЭ и определены

области применения для:

- покрытия пиковых графиков нагрузки при размещении ГНЭ в непосредственной близости к потребителю или непосредственно на подстанциях при установленной мощности ГНЭ 1,0 МВт, 5 МВт, 20 МВт, и для различной длительности работы от 15 мин до 5 часов в сутки;

- повышения качества электроэнергии и надежности энергосистемы при размещении ГНЭ на подстанциях сетевой инфраструктуры в целях улучшения качества электроэнергии и надежности системы путем регулирования реактивной мощности, это позволяет влиять на такие факторы как: низкое напряжение, низкий коэффициент мощности, недостаточный запас устойчивости при кратковременных нарушениях в энергосистеме. Диапазон установленной мощности ГНЭ должен быть от 5 МВт до 20 МВт, при длительности работы до 2 часов в сутки.

- регулирования частоты в энергосистеме(услуги по замещению вращающегося резерва), поддержание диспетчерского графика нагрузки при установленной мощности ГНЭ от 10 до 20 МВт и для длительности работы от 1 минуты (регулирование частоты), до 1 часа (услуги по поддержанию диспетчерского графика) и до 2-х часов (услуги по замещению вращающегося резерва);

- использования в качестве резервного источника электроснабжения для особо важных потребителей, обеспечение передвижного резервного источника энергоснабжения в случае запланированных или незапланированных отключений, а также поддержка при перебоях в электроснабжении при установленной мощности ГНЭ 1 МВт и длительности работы от 3 до 12 часов в сутки;

- интеграции с распределенной генерацией, в том числе ВИЭ (ветровой и солнечной) для выравнивания колебаний генерируемой мощности и улучшения интеграции ветровых и солнечных энергетических установок с распределительными сетями при установленной мощности ГНЭ (соответствующей мощности оборудования ВИЭ) 100 кВт, 500 кВт, 1 МВт, 5

МВт и для длительности работы от 2 до 6 часов в сутки;

- ответственных потребителей в целях снижения затрат на обслуживание и улучшения качества снабжения электрической энергии при установленной мощности ГНЭ (соответствующей объемам потребления) 500 кВт, 1,5 МВт, 5 МВт, 20 МВт и для длительности работы (1 ... 12) часов в сутки.

Приведенные соображения полезны при проведении углубленного анализа перспектив дальнейшего внедрения накопителей электроэнергии с учетом прогнозных оценок в отношении состава генерирующих мощностей конкретных энергосистем, динамики стоимостных показателей генерации электроэнергии с использованием различных видов топлива, особенностей работы накопителей электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аблязов, П. Н. Энергия впрок / П. Н. Аблязов // Энергоэксперт. - 2011. - № 1. - С. 31-32.
2. Багоцкий В. С., Скундин А. М. Химические источники тока. — М.: Энергоиздат, 1981.
3. Бруссили, М. Промышленное применение аккумуляторных батарей: Учебник / М. Бруссили П. Джанфранко - М.: Техносфера, 2011.
4. Воропай, Н. И. Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы / Н. И. Воропай // Автоматизация и ИТ в энергетике. - 2011. - № 3. - С. 11-16.
5. Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник Т. 3 / В.Г. Герасимов, П.Г. Грудинский и др. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 964 с.
6. ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования
7. ГОСТ Р МЭК 60623-2002
8. Дасоян, М.А. Основы расчета свинцовых аккумуляторов. Справочное пособие / М.А. Дасоян, И.А. Агуф - М.: Энергия, 2015
9. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности: Справочное пособие / П.А. Долин - М.: Энергоатомиздат, 2010.
10. Емельянов В. И. О замене никель-кадмиевых аккумуляторов никель-металлогидридными. Научно-практическая конференция международной ассоциации производителей химических источников тока «ИНТЕРБАТ». Сб. материалов. Москва. 2003.
11. Емельянов В.И. «Перспективы совершенствования промышленных аккумуляторных батарей.

12. Ефременко, В.М. Анализ влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности/ В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. Тех. унив., 2009. № 6.-С.46-48

13. Инструкция по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями при обслуживании энергетического оборудования (М: Энергоатомиздат., 1987) .

14. Испытания АБ при аварийных режимах и толковых нагрузок (токов) (СОУ-Н ЕЕ 50.30: 2007) .

15. Источник: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=541560>

16. Киреева Э.А., Юнес Т., Айюби М. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. Справочные материалы и примеры расчётов: Москва: Энергоатомиздат, 1998

17. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательство «Мастерство», 202. – 320 с.

18. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/ Б.И. Кудрин. – М.:Интернет Инжиниринг, 2005. – 672с.

19. Кукурузов, Н.И. Аккумуляторные батареи: Краткий справочник / Н.И. Кукурузов, В.М. Ягнятинский - М.: Слово, 2012.

20. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003, - 448с.

21. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003, - 448с.

23. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю. Н. Астахов, В. А. Веников, А. Г. Тер-Газарян. - М.: Высш. шк., 1989.

24. Орлов С. Б. Развитие рынков источников тока новых электрохимических систем // Компоненты и технологии. 2007, № 4, № 5.

25. Орлов С. Б., Суслов В. М., Арапов Е. В., Худыкин А. М. Использование химических источников тока в средствах навигационного оборудования. Конференция «Автономная энергетика: прошлое, настоящее и будущее». Сб. материалов. Москва. 2009.

26. Оценка экономической эффективности использования аккумулирующих систем в электроэнергетике / В. А. Волконский [и др.] // Проблемы прогнозирования. Отрасли и межотраслевые комплексы. - Изд-во Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. - 2010. - № 26.

27. Попель, О.С. Накопители энергии: Учебник / О.С. Попель, А.Б. Тарасенко - М.: Энергоэксперт, 2011.

28. Постановление Правительства РФ от 17.05.2016 г. № 433 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования порядка ценообразования на территориях, объединенных в неценовые зоны оптового рынка электрической энергии и мощности"

29. Правила безопасной эксплуатации электроустановок (ПБЭЭ, второе издание с изменениями и дополнениями 2000 г., ДНАОП 1.1.10- 1.01-01);

30. Правила пожарной безопасности в компаниях, на предприятиях и в организациях энергетической отрасли Украины (НАПБ В. 01.034-2005/111)

31. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭ, издание первое, 2003 г., ГКД 34.20.507-2003); .

32. Правила устройства электроустановок - 7-е изд. - М.: НЦ ЭНАС, 2015.
33. Правила устройства электроустановок (ПУЭ - Х.: издательство «Форт», 2009 г.) 2.
34. Профатилова И. А., Тарнопольский В. А. Проблемы безопасности литий-ионных аккумуляторов. Конференция «Автономная энергетика: прошлое, настоящее и будущее». Сб. материалов. Москва. 2009.
35. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова - М.: Академия, 2014.
36. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В.Чиркова - М.: Академия, 2014.
37. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одобр. Советом Федерации 18 ноября 2009 г.]. – (Актуальный закон).
38. Русин, А.И. Свинцовые аккумуляторы и батареи: Учебное пособие / А.И. Русин, Л.Д. Хегай - М.: МЭИ, 2010.
39. Русин, А.И. Стационарные аккумуляторы: Справочное пособие / А.И. Русин, В.В. Никольский, Л.Д. Хегай, А.Д. Кудрявцев - СПб.: Петрополис, 2010.
40. Сенько, В.В. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Методические указания к курсовому проектированию / В.В. Сенько. - Тольятти: ТГУ, 2010.

41. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб.для студ. Сред.Проф.образования/Юрий Дмитриевич Сибикин. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. 368 с.
42. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб.для студ. Сред.Проф.образования/Юрий Дмитриевич Сибикин. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. 368 с.
43. Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (СОУ 31.4-21677681-21:2010) .
44. Таганова А. А., Бубнов Ю. И., Орлов С. Б. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. — СПб.: ХИМИЗ-ДАТ, 2005.
45. Таганова А. А., Семенов А. Е. Свинцовые аккумуляторные батареи: стационарные, тяговые, для портативной аппаратуры: Справочник. — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2004.
46. Таганова, А.А. Свинцовые аккумуляторные батареи: стационарные, тяговые, для портативной аппаратуры: Справочник / А.А. Таганова, А.Е. Семенов. - СПб.: Химиздат, 2014.
47. Теньковцев В. В., Центер Б. И. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов. — Ленинград: Энергоиздат. Ленинград. отд-ние. 1985.
48. Устинов, П.И. Стационарные аккумуляторные установки: Учебник / П.И. Устинов - М.: Энергия, 2012.
49. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с
50. Химические источники тока: Справочник / Под редакцией Н. В. Коровина и А. М. Скундина. — М.: Издательство МЭИ, 2003.
51. Хорольский, В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения: Справочное пособие / В.Я. Хорольский. - М.: ФОРУМ, 2013.

52. Шустов, М.А. Практическая схемотехника. Источники питания и стабилизаторы: Учебное пособие / М.А. Шустов - М.: Альтекс , 2012.

53. Ярмоленко, О.В. Аккумуляторные батареи: Учебник / О.В. Ярмоленко, К.Г. Хатмуллина - М.: Академия энергетики, 2011.