

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Ф. Белей, К. К. Веселовский

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению курсовой работы для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621.31

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

И. Е. Кажекин

Белей, В. Ф.

Теория и практика инженерного исследования: учеб.-методич. пособие – локальный электронный методический материал по вып. курс. работы для студентов магистратуры по напр. подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / **В. Ф. Белей, К. К. Веселовский.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 33 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению курсовой работы представлены указания по выбору научно-исследовательской темы и основные этапы выполнения курсовой работы, требования к структуре, объему, содержанию и оформлению курсовой работы, описание организации защиты курсовой работы и критерии оценивания. Курсовая работа предназначена для практического закрепления теоретического материала в рамках дисциплины: «Теория и практика инженерного исследования».

Табл. – 6, рис. – 11, список литературы – 25 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 30.06.2022 г., протокол № 06

УДК 621.31

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© В. Ф. Белей, К. К. Веселовский, 2022 г.

Оглавление

Введение	4
1. Условия выбора темы	5
2. Структура курсовой работы	5
3. Требования по оформлению курсовой работы	8
4. Описание организации защиты курсовой работы	8
5. Критерии оценивания курсовой работы	10
6. Пример выполнения курсовой работы	12
6.1. Введение	12
6.2. Анализ физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах	12
6.2.1. Отрицательный электрод	13
6.2.2. Положительный электрод	13
6.2.3. Электролит	13
6.2.4. Энергетические характеристики литий-ионных аккумуляторов	15
6.3. Аналитическое исследование зависимости напряжения аккумулятора от температуры	17
6.4. Обзор и анализ литий-ионных аккумуляторов, производимых ведущими фирмами	21
6.5. Обзор проектов накопителей на основе литий-ионных аккумуляторов ...	24
Заключение	27
Список литературы	28
Приложение 1	30
Приложение 2	31

Введение

Курсовая работа является составным элементом модуля «Theory and practice of engineering research/ Теория и практика инженерного исследования» программы магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Целью курсовой работы является закрепление теоретических и практических знаний, полученных в рамках изучения модуля «Теория и практика инженерного исследования».

Задачами курсовой работы являются:

- овладение навыками самостоятельной работы со специальной литературой и другими источниками информации;
- развитие умения формулировать суждения и выводы, логически последовательно и доказательно их излагать;
- подготовка к более сложной задаче - выполнению выпускной квалификационной работы.

После написания курсовой работы студент должен:

- знать передовые отечественные и зарубежные достижения, основные направления и перспективы развития объектов электроэнергетики; методы и средства научных исследований;
- уметь использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки для выбранного метода исследования; ставить задачи исследования и анализировать результаты исследований в электроэнергетике и электротехнике;
- владеть основными теоретическими и экспериментальными методами, используемыми в передовых направлениях электроэнергетики.

1. Условия выбора темы

Тема курсовой работы выбирается студентом самостоятельно и согласовывается с руководителем курсовой работы. Следует выбирать тему курсовой работы, о которой студент уже имеет представление, и учесть, что она может быть использована в качестве основы для выполнения выпускной квалификационной работы.

Рекомендуемые научные темы, на основе которых формируется научная задача или вопрос для курсовой работы:

1. Цифровая подстанция;
2. Накопитель электрической энергии на базе аккумуляторной батареи;
3. Энергосберегающий трансформатор на аморфных сплавах;
4. Кабельная линия, реализованная на явлении сверхпроводимости;
5. Асинхронная машина двойного питания;
6. Выдача реактивной мощности синхронным генератором;
7. Солнечная электростанция;
8. Ветропарки морского или берегового базирования;
9. Биоэлектростанции на различных источниках первичной энергии;
10. Водородная энергетика;
11. Электрохимические генераторы (топливные элементы);
12. Гидроэнергетический потенциал Калининградской области;
13. Воздушно-компрессорные накопители энергии;
14. Электротранспорт;
15. Передачи постоянного тока;
16. Микросети (Microgrid);
17. Качество электрической энергии;
18. Место малой энергетике в энергоснабжении потребителей;
19. «Интеллектуальные сети» (Smart Grid);
20. Инфраструктура для электротранспорта.

2. Структура курсовой работы

Структура курсовой работы должна способствовать раскрытию избранной темы и соответствовать структуре отчета по научно-исследовательской теме, а также методически дополнена пояснениями.

Структура курсовой работы:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основная часть с разбивкой по разделам;
- заключение;
- список использованных источников;

– приложения.

Титульный лист

Форма титульного листа и образец его заполнения приведены в Приложении 1.

Содержание

Раздел «Содержание» включает в себя перечень основных частей курсовой работы с указанием страниц, на которые их помещают. Заголовки разделов и подразделов снабжены номерами. Введение и список использованных источников не нумеруются.

Введение

Введение должно содержать краткую оценку современного состояния решаемой в курсовой работе научно-технической задачи, основание и исходные данные по ней, обоснование необходимости проведения исследований.

Важно отметить, что раздел «Введение» пишется в последнюю очередь, после написания всей курсовой работой.

Структура введения должна содержать ряд обязательных элементов: актуальность выбранной темы, цель написания курсовой работы, решаемые задачи, объект и предмет исследования курсовой работы, информационная база.

Объект исследования – предмет (явление, процесс, идеализированная система), который создает изучаемую проблемную ситуацию и существует независимо от исследователя.

Предмет исследования – значимые с теоретической или практической точки зрения свойства объекта.

Основная часть

Основная часть работы включает несколько глав, которые, при необходимости, разбивают на разделы и подразделы. Каждая глава посвящается решению задач, сформулированных во введении, и заканчивается подведением промежуточных итогов.

Основная (расчетная) часть работы включает следующие вопросы:

– выявление и анализ физики процессов объекта электроэнергетики или электротехники, на основе которых будут выполнен дальнейший комплекс исследований и технических решений в ходе выполнения выпускной работы;

– постановка научной задачи (вопроса) по исследуемому объекту электроэнергетики или электротехники;

– обзор научных работ и, при необходимости, патентные исследования выбранного объекта исследований;

– экспериментально-практическое исследование поставленной задачи или вопроса (может отсутствовать, если работа носит чисто теоретический характер и не имеет практической направленности);

– решение поставленной научной задачи (вопроса).

Заключение

В заключении сообщаются основные результаты выполненной работы, а также:

- оценка полноты решений поставленной задачи;
- разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов курсовой работы;
- оценка технико-экономической эффективности внедрения (при необходимости);
- оценка научно-технического уровня выполненной научной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

Список использованных источников

В список использованных источников включаются непосредственно использованные источники, на которые имеется ссылки в текстовом документе на основе существующих ГОСТ, в соответствии с приложением 2.

Приложения

В приложения следует включать материалы вспомогательного характера: таблицы и рисунки большого формата; дополнительные расчеты.

3. Требования по оформлению курсовой работы

Курсовую работу по указанию преподавателя допускается выполнять и оформлять в редакторе MS Word. Итоговый вариант курсовой работы оформляется на бумажном носителе в одном экземпляре формата А4. При необходимости допускается использование MS Excel для расчётов и построения диаграмм.

Общие требования

Пояснительная записка должна содержать обязательные структурные элементы (раздел 1). Текстовая часть пояснительной записки оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте, например, «(рисунок 1)», «приведены в таблице 2». Подписи таблиц и рисунков по форме «Таблица 1 – Название» (над таблицей с заглавной буквы, выравнивание по левому краю без отступа), «Рисунок 1 – Название» (под рисунком с заглавной буквы, выравнивание по середине). Ссылки на литературу оформляются в [скобках]. Нумерация источников – сквозная по первому упоминанию. Электрические схемы рекомендуется выполнять в редакторе MS Visio в соответствии ГОСТ.

Требования при оформлении в MS Word

При оформлении в редакторе MS Word необходимо придерживаться следующих основных требований:

Поля документа: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 15 мм

Шрифт Times New Roman, размер 12 - 14

Выравнивание шрифта по ширине

Расстановка переносов – автоматическая

Межстрочный интервал – 1,15 - 1,25

Отступ первой строки абзаца – 12,5 мм

Выравнивание рисунков – по центру без отступа

Выравнивание таблиц – по ширине окна, без отступа

Подписи рисунков и таблиц – по ГОСТ

Нумерация страниц – по центру внизу страницы

4. Описание организации защиты курсовой работы

Защита курсовой работы проводится после предоставления завершённой работы и устранения всех замечаний. Защита проводится устно в формате собеседования по материалам работы и в форме ответа на контрольные вопросы. Общее количество вопросов зависит от качества ответов студента и уровня владения материалом представленной работы.

Типовые вопросы:

1. Цель выполнения курсовой работы.

2. Методика выявления и анализа принципов функционирования объекта электроэнергетики.

3. Что характеризует энергетическая диаграмма объекта электроэнергетики?
4. Роль патентных исследований при рассмотрении объекта электроэнергетики.
5. Пояснить результаты исследований, выполненных в курсовой работе и их обоснованность.
6. Какие методы научных исследований вами использовались в курсовой работе?
7. Какие результаты исследований, полученные в курсовой работе, будут использоваться в ходе дальнейшего выполнения магистерской работы?

5. Критерии оценивания курсовой работы

Критерии оценивания устных ответов при защите курсовой работы приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Критерии оценивания устных ответов

Оценка по критериям	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной зада-

Оценка по критериям	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
				чи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

6. Пример выполнения курсовой работы

6.1. Введение

В 21 веке активно развивается направление энергетики, связанное с генерацией энергии на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Дания к 2030 году планирует осуществлять 100% выработку электроэнергии на базе ВИЭ. ВИЭ характеризуется нестабильностью выработки электроэнергии, снижают надежность функционирования энергетических систем. Непосредственное подключение потребителей к установкам ВИЭ может привести к нарушению баланса активной мощности в энергосистеме.

Один из методов решения этой проблемы — это использование сетевых накопителей электроэнергии в электроэнергетических системах с ВИЭ.

Наибольшее распространение в мире получили накопители электроэнергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей, так как данные аккумуляторы обладают высоким КПД и низким процентом саморазряда.

При выполнении работы по применению в энергосистеме накопителей электроэнергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей первоначально следует провести исследование этой электрохимической системы и характеристик современных литий-ионных аккумуляторных батарей.

6.2. Анализ физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах

На сегодняшний день самое широкое применение в области электротехники и электроэнергетики получили литий-ионные аккумуляторы.

Необходимость анализа физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах обусловлена тем, что протекание этих процессов вызывает различие емкостей ячеек аккумуляторов, что в свою очередь приводит к разбалансу – неравномерному распределению напряжения по секциям. Разбаланс ведет к глубокому разряду или перезаряду отдельных секций, перегреву, выходу аккумуляторов из строя [1].

При заряде аккумулятора литий восстанавливается из раствора в форме дендритов, сразу покрывается пленкой из продуктов взаимодействия лития с солью, примесями и растворителями. В результате поверхность отрицательного электрода оказывается состоящей из отдельных частиц (капсул), электрически изолированных друг от друга и не способных к повторному анодному растворению. Кроме того, дендритообразование лития вызывает появление внутренних коротких замыканий, что повышает пожаро- и взрывоопасность таких устройств. Замена лития на сплавы, например, литий-алюминий, приводит к другой проблеме – изменению удельного объема сплава при циклировании и к последующему охрупчиванию и осыпанию активной массы. Потенциал сплава положительнее потенциала лития на 0,2–0,4 В, что снижает рабочее напряжение аккумулятора. Использование сплавов лития с тяжелыми металлами (оло-

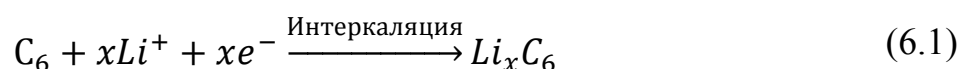
вом, кадмием, свинцом) несколько уменьшает эффект изменения объема, но существенно снижает удельные характеристики электродов.

Положительный электрод в литиевых аккумуляторах может быть выполнен на основе литированных оксидов кобальта, никеля, марганца.

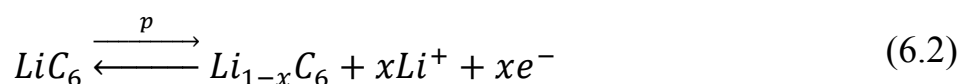
Рассмотрим процессы, протекающие на отрицательном и положительном электроде накопителя [2].

6.2.1. Отрицательный электрод

В литий-ионных аккумуляторах отрицательный электрод изготавливается из углеродного материала (графита). Литий-ионные аккумуляторы собираются в разряженном состоянии и заряжаются для приведения в действие. При первом заряде происходит формирование отрицательного электрода – ионы лития внедряются в графит:



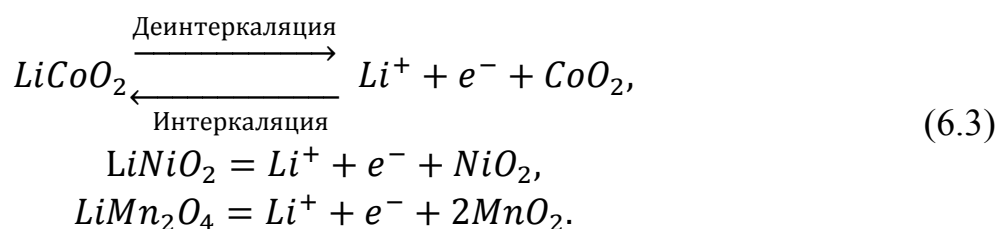
При разряде отрицательного электрода ионы лития извлекаются обратно и снова внедряются при заряде:



Цикличность этих процессов внедрения и извлечения ионов достигается за счет существенной потери в удельной емкости и энергии.

6.2.2. Положительный электрод

Работа положительного электрода сводится к извлечению лития из литированных оксидов при заряде аккумулятора и к его внедрению при разряде.



Применение оксида лития-кобальта, оксида лития-никеля и литий-марганцевого оксида обусловлено тем, что они имеют самый высокий положительный потенциал. Это обеспечивает большее суммарное напряжение аккумулятора.

6.2.3. Электролит

Электролит определяет стабильность работы литий-ионного аккумулятора. Его выбор зависит от материалов, из которых изготовлены электроды. Чаще

всего используется смесь органических растворителей. Основа этой смеси состоит из этиленкарбоната и диэтилкарбоната. В смесь вводятся различные литиевые соли, например, гексафторфосфат лития.

Органические электролиты в литий-ионных аккумуляторах характеризуются высокой агрессивностью, токсичностью и пожароопасностью. Поэтому необходима надежная герметизация источника тока. Эту задачу выполняет сепаратор, который при температуре 110°C закрывает «поры», в результате чего значительно увеличивается его внутреннее сопротивление и уменьшается токовая нагрузка

На рисунке 6.1 показана схема зарядки литий-ионного аккумулятора

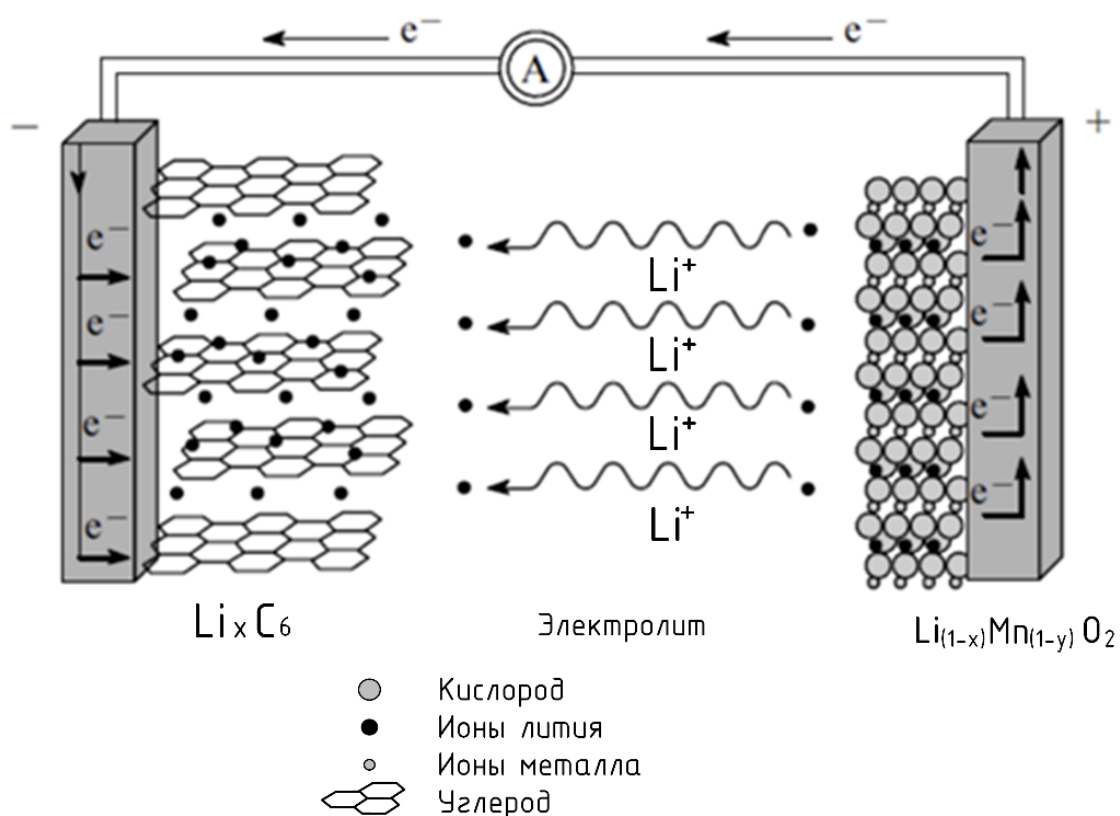


Рисунок 6.1 – Схема заряда/разряда литий-ионного аккумулятора

6.2.4. Энергетические характеристики литий-ионных аккумуляторов

Время заряда литий-ионного аккумулятора током $I = 1C$ (А) составляет 2-3 ч, где C – емкость батареи (А·ч). Батарея полностью заряжается, когда напряжение на ней становится равным напряжению отсечки. Ток в конце цикла заряда значительно уменьшается и составляет 3% от начального тока заряда. Данные зависимости можно отследить по графику на рисунке 6.2 [3].

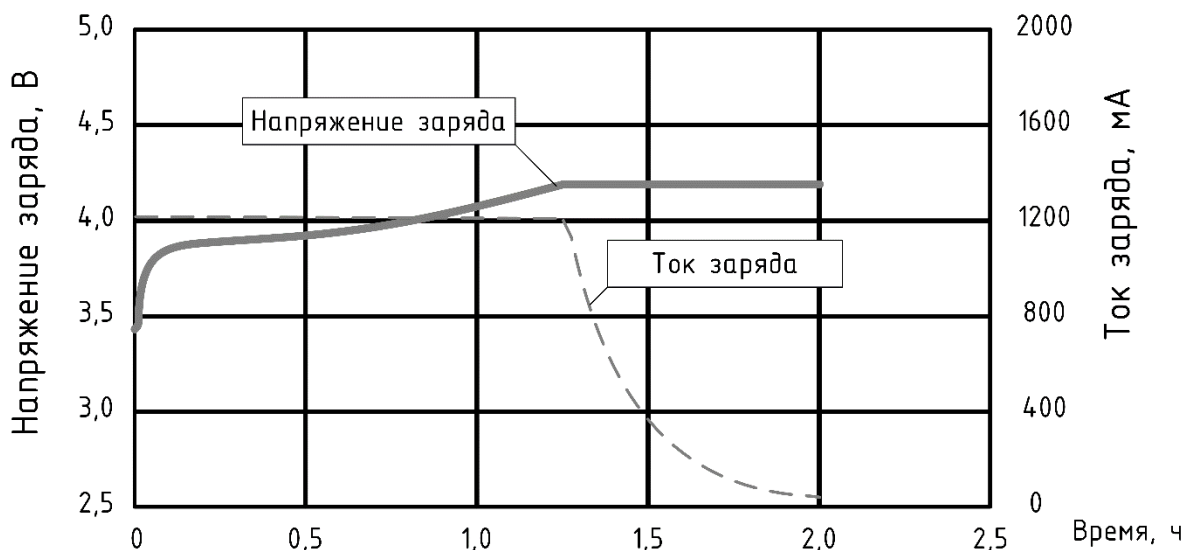


Рисунок 6.2 – Зависимость напряжения и тока заряда от времени
На рисунке 6.3 данный процесс представлен более подробно [3].

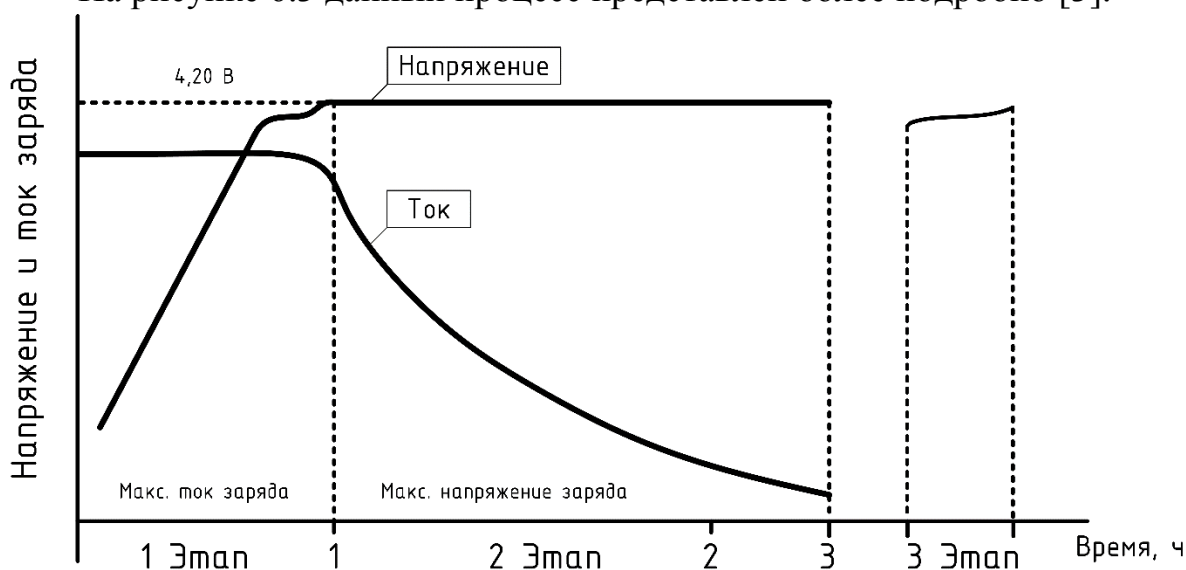


Рисунок 6.3 – Зависимость напряжения и тока от времени
при заряде аккумулятора

На графике видно, что при повышении тока заряда литий-ионного аккумулятора время заряда сокращается незначительно.

Для литий-ионных аккумуляторов невозможно применение капельной подзарядки (подзарядка аккумулятора малым током для компенсации саморазряда), так как они не могут поглощать энергию при перезаряде. Короткая же подзарядка постоянным током может компенсировать небольшой саморазряд

литий-ионного аккумулятора (этап 3) и компенсировать энергетические потери. Таким образом, можно сделать вывод о том, что литий-ионные аккумуляторы чувствительны к перезарядам. Поэтому заряд литий-ионного аккумулятора можно производить только до значения, установленного производителем. При увеличении зарядного напряжения снижается ресурс аккумулятора.

Также литий-ионные аккумуляторы чувствительны к значению тока разряда. Разрядные характеристики представлены на рисунке 6.5 [3].

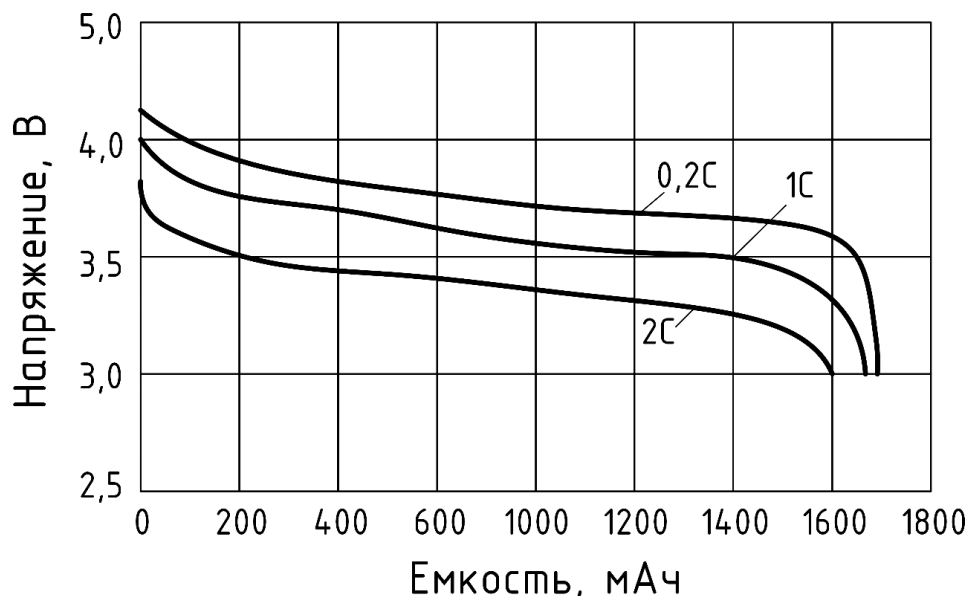


Рисунок 6.4 – Разрядные характеристики литий-ионного аккумулятора при различных токах разряда

На графике видно, что с ростом тока разряда разрядная емкость аккумулятора уменьшается незначительно, но снижается рабочее напряжение.

Зависимость емкости аккумулятора C от тока его разряда можно записать следующим образом [4]:

$$C = I_p \cdot t_p, \quad (6.4)$$

где I_p - сила разрядного тока, А;

t_p - время разряда, ч.

Таким образом, в ходе анализа энергетических характеристик и физико-химических процессов литий-ионных аккумуляторов была изучена физика и природа процессов работы аккумуляторов на основе лития.

6.3. Аналитическое исследование зависимости напряжения аккумулятора от температуры

Одним из важнейших факторов, влияющим на энергетические характеристики литий-ионного аккумулятора, является окружающая температура в месте, где используется батарея (рисунок 6.5) [3].

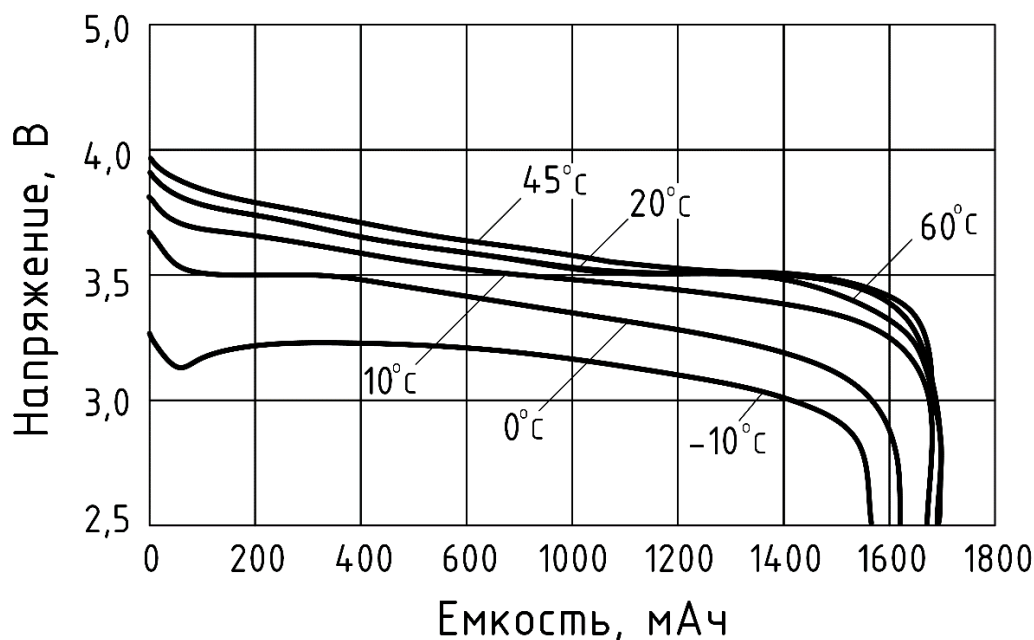


Рисунок 6.5 – Разрядные характеристики литий-ионного аккумулятора при различной температуре

Для определения четкой зависимости напряжения аккумулятора от температуры необходимо проанализировать рисунок 6.6, согласно методологии, приведенной в источнике [4].

На первом этапе был произведен анализ разрядных характеристики литий-ионного аккумулятора при различной температуре и построена таблица исходных данных (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Таблица исходных данных

T, °C \ C, МАч	200	400	600	800	1000	1200
-10	1,78	1,83	1,8	1,72	1,59	1,45
0	2,50	2,49	2,35	2,20	2,05	1,89
10	2,90	2,76	2,62	2,50	2,43	2,34
20	3,12	2,93	2,78	2,65	2,54	2,53
45	3,24	3,08	2,88	2,77	2,64	2,55
60	3,24	3,08	2,88	2,77	2,64	2,55

В качестве метода оптимизации первичных данных был выбран метод кубической аппроксимации, функция которой имеет вид:

$$y = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (6.5)$$

где a_i – весовые коэффициенты функции

Расчет весовых коэффициентов производится согласно следующему выражению:

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 & \sum_{i=1}^n x_i^6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y \cdot x_i \\ \sum_{i=1}^n y \cdot x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y \cdot x_i^3 \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

Для того чтобы убедиться в точности аналитических выражений, необходимо произвести расчет достоверности аппроксимации по формуле ниже:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (6.7)$$

Произведем аналитические расчеты для получения зависимости напряжения от температуры аккумулятора с имеющейся ёмкостью в 200 мАч, для этого составим таблицу вспомогательных величин:

Таблица 6.2 – Таблица вспомогательных величин для С=200 мАч

i	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	x_i^5	x_i^6	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$	$x_i^3 y_i$
1	-10	1.78	100	-1000	10000	-100000	1000000	-17.8	178	-1780
2	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
3	10	2.9	100	1000	10000	100000	1000000	29	290	2900
4	20	3.12	400	8000	160000	3200000	64000000	62.4	1248	24960
5	45	3.24	2025	91125	4100625	184528125	8303765625	145.8	6561	295245
6	60	3.24	3600	216000	12960000	777600000	46656000000	194.4	11664	699840
Σ	125	16.78	6225	315125	17240625	965328125	55025765625	413.8	19941	1021165

Составим матрицу весовых коэффициентов $a_0 - a_3$ по формуле 6.6:

$$\begin{cases} a_3 \cdot 315125 + a_2 \cdot 6255 + a_1 \cdot 125 + a_0 \cdot 6 = 16,78 \\ a_3 \cdot 17240625 + 315125 \cdot a_2 + a_1 \cdot 6225 + a_0 \cdot 125 = 413,8 \\ a_3 \cdot 965328125 + 17240625 \cdot a_2 + a_1 \cdot 315125 + a_0 \cdot 6225 = 19941 \\ a_3 \cdot 55025765625 + 965328125 \cdot a_2 + a_1 \cdot 17240625 + a_0 \cdot 315125 = 1021165 \end{cases} \quad (6.8)$$

Решим систему линейных уравнений 6.8 методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 315125 & 6225 & 125 & 6 \\ 17240625 & 315125 & 6225 & 125 \\ 965328125 & 17240625 & 315125 & 6225 \\ 55025765625 & 965328125 & 17240625 & 315125 \end{vmatrix} = 1,29 \cdot 10^{19} \quad (6.9)$$

$$\Delta a_3 = \begin{vmatrix} 16,78 & 6225 & 125 & 6 \\ 413,8 & 315125 & 6225 & 125 \\ 19941 & 17240625 & 315125 & 6225 \\ 1021165 & 965328125 & 17240625 & 315125 \end{vmatrix} = 1,261 \cdot 10^{14} \quad (6.10)$$

$$a_3 = \frac{\Delta a_3}{\Delta} = \frac{1,261 \cdot 10^{14}}{1,39 \cdot 10^{19}} = 0,0000097 \approx 0 \quad (6.11)$$

Аналогично найдем остальные весовые коэффициенты:

$$a_2 = \frac{\Delta a_0}{\Delta} = \frac{1,66 \cdot 10^{16}}{1,29 \cdot 10^{19}} = 0,00128 \quad (6.12)$$

$$a_1 = \frac{\Delta a_0}{\Delta} = \frac{7,09 \cdot 10^{17}}{1,29 \cdot 10^{19}} = 0,0548 \quad (6.13)$$

$$a_0 = \frac{\Delta a_0}{\Delta} = \frac{3,2 \cdot 10^{19}}{1,29 \cdot 10^{19}} = 2,476 \quad (6.14)$$

Искомое уравнение, согласно 6.5, имеет следующий вид:

$$y(200) = -0,00128x^2 + 0,054x + 2,47 \quad (6.15)$$

Подобным образом, определив весовые коэффициенты по выражению 6.6, получили остальные аналитические выражения вида 6.5:

$$y(400) = -0,00176x^2 + 0,045x + 2,42 \quad (6.16)$$

$$y(600) = -0,00095x^2 + 0,045x + 2,31 \quad (6.17)$$

$$y(800) = -0,00083x^2 + 0,038x + 2,19 \quad (6.18)$$

$$y(1000) = -0,00091x^2 + 0,039x + 2,07 \quad (6.19)$$

$$y(1200) = -0,00097x^2 + 0,043x + 1,96 \quad (6.20)$$

Получив аналитические выражения зависимости напряжения аккумулятора от температуры, произвели расчет достоверности аппроксимации согласно 6.7, и каждое аналитическое выражение 6.15-6.20 имеет коэффициент достоверности аппроксимации равным 0,99, что говорит о высокой точности полученных аналитических выражений.

Затем на основе аналитических выражений 6.15-6.20 были построены графики, отражающие степень зависимости напряжения аккумуляторной батареи от температуры ее компонентов для разной степени заряженности батарей литий-ионного аккумулятора (рисунок 6.6).

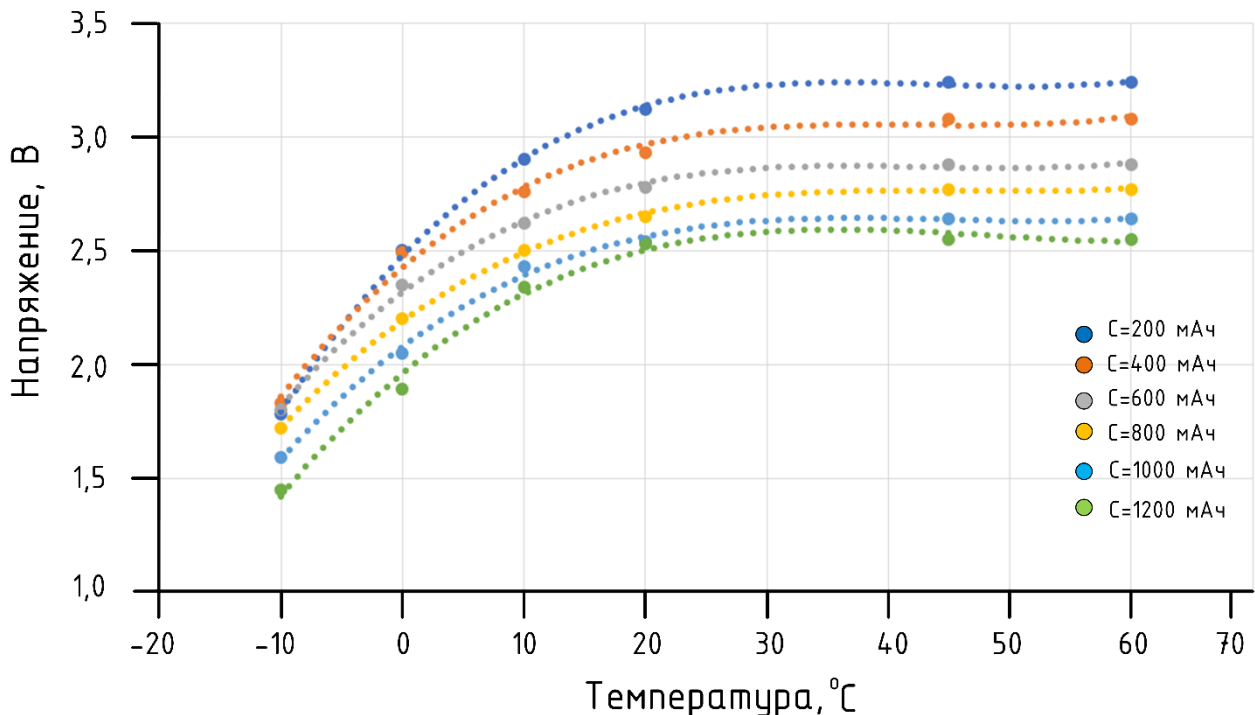


Рисунок 6.6 – Зависимости напряжения аккумуляторной батареи от температур

Таким образом, в ходе аналитического исследования разрядной характеристики литий-ионного аккумулятора при различной температуре было получено математическое выражение для функции зависимости напряжения литий-ионного аккумулятора от температуры $U = f(T)$.

6.4. Обзор и анализ литий-ионных аккумуляторов, производимых ведущими фирмами

Основное производство литий-ионных аккумуляторов сконцентрировано в Японии. Крупнейшими продуцентами Японии являются: Sony, Sanyo, Matsushita, Murata, Toshiba и другие [6].

Серьезную конкуренцию японским производителям в последнее время составляют южно-корейские (Samsung) и китайские компании (BYD) [6]. Также среди ведущих производств можно выделить ФРГ (Varta), Франция (SAFT), США (Tesla), Канада (MOLY Energy).

На рисунке 6.7 представлена диаграмма, отображающая доли мирового рынка литий-ионных аккумуляторов.

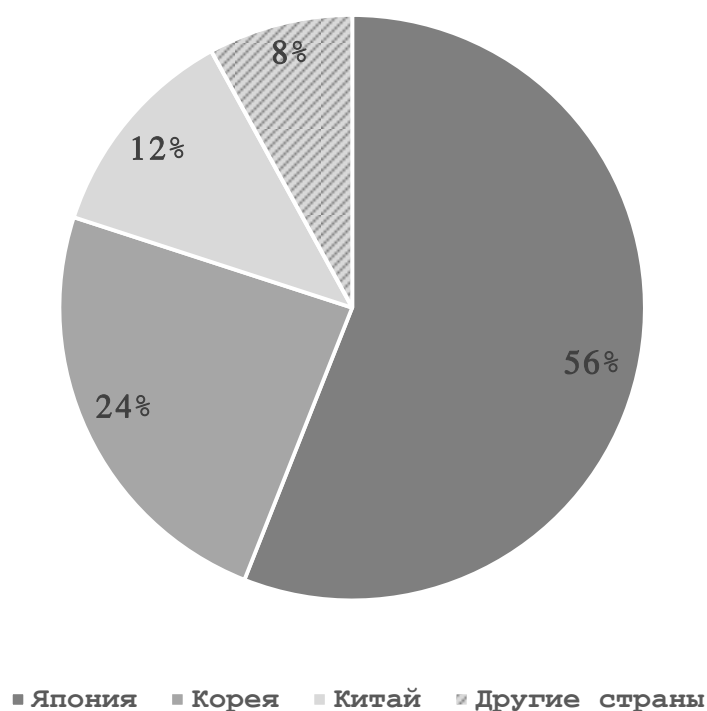


Рисунок 6.7 – Доли мирового рынка литий-ионных аккумуляторов по странам

В таблице 6.3 представлены основные мировые производители литий-ионных аккумуляторов [7].

Таблица 6.3 – Мировые производители литий-ионных аккумуляторов

Компания-производитель	Месторасположение
A123 Systems	США
BYD	Китай
Panasonic	Япония
Samsung	Южная Корея

Продолжение таблицы 6.3

Tesla	США
Advanced Battery Factory	Китай – Гуандун
Aleees (Advanced Lithium Electrochemistry Co.)	Тайвань
Amperex Technology Limited (ATL)	Китай – Гонконг
CENS Energy-Tech	Китай – Ханчжоу
LG Chem	Южная Корея
EiG	Южная Корея
Electrovaya	Канада – Онтарио
GAIA (“LTC” – Lithium Technology Corporation)	Германия – Нордхаузен
CATL	Китай - Ниндэ
Toshiba	Япония - Токио
K2 Energy Solutions	США – Невада
Murata	Япония - Киото
Kokam	Южная Корея
Optimum	Китай – Гуандун

Рассмотрим технические характеристики аккумуляторов ведущих компаний-производителей, а именно: A123 Systems, BYD, Panasonic Corporation, Tesla Inc (используются батареи Panasonic 18650), Samsung SDI, LG Chem Ltd, CATL, Toshiba, Murata (таблица 6.4) [8-15].

Таблица 6.4 – Технические характеристики аккумуляторов

Производитель	Емкость, А·ч	Номинальное напряжение, В	Ток разряда пост/имп	Количество циклов (80%)	Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	Тип аккумулятора
A123 Systems	67	3,2	3,0С/5,0С	>2000	250	LFP:C
BYD	20	3,2	0,2С/3С	>3000	180	LFP:C
Panasonic	3,4	3,6	0,5С/2,0С	<1000	240	NCA:C
Samsung	94	3,7	1,0С/3,0С	>5000	170	NMC:C
LG	63	3,6	2,0С/4,0С	>1200	250	NMC:C
CATL	280	3,2	1,0С/3,0С	>8000	180	LFP:C
Toshiba	20	2,3	3,0С/8,0С	>10000	90	LMO:LTO
Murata	3,0	3,2	1,0С/6,0С	>6000	120	LFP:C

Благодаря превосходному сочетанию безопасности, ожидаемого срока службы и плотности энергии в сочетании с особенно конкурентоспособной стоимостью материалов, элементы питания NMC: C являются одними из наиболее часто используемых на сегодняшний день химических элементов для автомобильных и портативных устройств.

В то же время непрерывные усилия в области исследований и разработок способствуют стремительному внедрению элементов питания типа LFP и LTO.

Исследования в области разработок литий-ионных аккумуляторов в России ведутся в целом ряде научно-исследовательских институтов и производственных предприятий. Среди российских производителей можно выделить ООО «Лиотех», НПО ССК, ПАО «Сатурн», НИИХИТ-2, ОАО «НИАИ «Источник», ОАО «Энергия», ОАО «НИИЭИ».

Рассмотрим технические характеристики аккумуляторов отечественных компаний-производителей, которые представлены в таблице 6.5 [16-21].

Таблица 6.5 – Технические характеристики отечественных аккумуляторов

Производитель	Емкость, А·ч	Номинальное напряжение, В	Ток разряда пост/имп	Количество циклов (80%)	Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	Тип аккумулятора
Лиотех	65	3,2	0,2С/8,0С	>3000	120	LFP:С
Энергия	72	3,2	0,2С/2,0С	>3000	120	LFP:С
«НИИЭИ».	60	3,6	Н/д	>2000	175	н/д
НПО ССК	800	3,2	1,0С/5,0С	>3000	135	LFP:С
НПО ССК	800	3,2	1,0С/5,0С	>40000	85	LFP:LTO
АК Ригель	15/260	3,2	0,2С/2С	<2000	100/120	н/д
УРАЛЭЛЕМЕНТ	6.8	3,6	0,5С/2,0С	>500	120	LCO:С
УРАЛЭЛЕМЕНТ	10	3,5	0,5С/2,0С	>1500	90	NMC:С

Разработка, а также внедрение в производство отечественных литий-ионных батарей требует специальных государственных программ поддержки. Поэтому на текущий момент в РФ большая часть производителей сосредоточена на производстве свинцово-кислотных аккумуляторов, а выпускаемые в меньшинстве отечественные литий-ионные аккумуляторы имеют зачастую более низкие технические характеристики в сравнении с западными аналогами.

Анализ производителей показал, что зарубежные производители обладают широким количеством представителей и производимой ими номенклатуры. Помимо этого, большая часть патентов также сосредоточена в руках стран Азии, что накладывает ограничения на других игроков рынка, в том числе и на российских производителей, технические характеристики изделий которых на данный момент хуже, чем у зарубежных конкурентов. Стоит также отметить, что значительная часть комплектующих для производства ячеек импортируется в Россию, а малый размер внутреннего рынка не позволяет производить внутри страны конкурентные по цене компоненты аккумуляторов, что также сказывается на технико-экономических характеристиках отечественных аккумуляторов.

6.5. Обзор проектов накопителей на основе литий-ионных аккумуляторов

Ведущая австралийская компании в сфере возобновляемых источников энергии ввела в эксплуатацию высокоинновационную солнечную ферму Kiamal мощностью. 256,5 МВт (рисунок 6.8)



Рисунок 6.8 – Солнечная ферма Kiamal, Австралия

Энергия, производимая данной фермой, сильно превышает потребительский спрос. Для решения этой задачи был установлен сетевой накопитель энергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей мощность 270 МВт и ёмкостью 1080 МВт · ч [22].

Другой проект в области накопления электроэнергии, а именно Gateway Energy Storage, до недавнего времени являлся самой крупной в мире литий-ионной батареей, эксплуатируемой разработчиком сетевой инфраструктуры LS Power (рисунок 6.9).



Рисунок 6.9 – Накопитель Gateway Energy Storage, США

Его емкость составляет чуть больше 230 МВт · ч [23]. Данный накопитель разработан на базе аккумуляторов компании LG Chem.

В России на сегодняшний день самый крупный проект реализован компанией «Хевел» в Республике Башкортостан (Рисунок 6.10).



Рисунок 6.10 – Система накопления электроэнергии «Лиотех», Россия, Республика Башкортостан

Проект представляет собой крупнейшую в России солнечную электростанцию с сетевым накопителем энергии на базе литий-ионных аккумуляторов. Суммарная мощность станции составляет 10 МВт, а емкость системы накопления энергии 8 МВт · ч, литий-ионные накопители энергии для СЭС поставил «Лиотех» [24].

Помимо крупных систем накопления электроэнергии в России появляются варианты для местного регулирования параметров энергосистемы. Так, «Россети Центр Белгородэнерго» реализовал первый в Центральном федеральном округе проект по внедрению системы накопления электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ Белгорода (СНЭ) (рисунок 6.11) [25].



Рисунок 6.11 – Сетевой накопитель «Россети»

Накопитель мощностью 10 кВт и номинальной энергоемкостью 53,28 кВтч. обеспечит нормативный уровень напряжения в сети в пиковые периоды потребления, снизит недоотпуск и потери электроэнергии.

Обзор существующих проектов показывает, что на сегодняшний день весь мир сосредоточен на массовом внедрении накопителей электрической энергии на основе литий-ионных аккумуляторов. Каждый год зарубежные проекты увеличивают емкость и мощность накопителей, превышая 1ГВт·ч, в то же время в РФ самый крупный проект имеет емкость всего 8 МВт·ч.

Заключение

На основе выполненных в работе исследований получены следующие результаты:

1. Дан анализ физико-химических процессов и энергетических характеристик литий-ионных аккумуляторов. Показано, что электролит определяет стабильность работы литий-ионного аккумулятора. Его выбор зависит от материалов, из которых изготовлены электроды.

2. Выполнено аналитическое исследование энергетических характеристик литий-ионного аккумулятора. На основе метода кубической аппроксимации получена зависимость напряжения аккумулятора от значения его температуры.

3. Выполнен обзор и анализ литий-ионных аккумуляторов, производимых ведущими фирмами мира. Следует отметить, что российские технологии находятся на начальном этапе.

4. Дан обзор реализованных в мире проектов в области накопителей на основе литий-ионных аккумуляторов и батарей на их основе.

Список литературы

1. Мельничук О.В., Фетисов В.С. Особенности зарядки и разряда литиевых аккумуляторных батарей и современные технические средства управления этими процессами. Электротехнические и информационные комплексы и системы. – №2. Т.12 – 2016. С. 41-48
2. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.logic-cell.ru/documents/litij-ionnye-li-ion-akkumulyatory/>
3. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php>
4. Груздев, А. И. Методические подходы к оценке степени заряженности литий-ионных аккумуляторных батарей / А. И. Груздев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2015. – Т. 149, вып. 6. – С. 39-43.
5. Ивоботенко, Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов. – Москва: "Энергия", 1975. –184 с.
6. ООО «ВЫГОН Консалтинг» - Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития
7. Макарян И.А., Ефимов О.Н., Гусев А.Л. Состояние и перспективы развития рынка литий-ионных аккумуляторов // Литий-ионные источники тока и суперконденсаторы. – 2016. – №6. – с. 100-115.
8. A123 Systems. Cell Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Cell Applications - Integrated Lithium-ion Applications | A123 Systems
9. BYD. General materials and documents for the Battery-Box [Электронный ресурс]. – Режим доступа: BYD Downloads – BYD Battery-Box (bydbatterybox.com)
10. Panasonic. Data Sheet NCR18650B Lithium-Ion Battery Cell; Panasonic: Osaka, Japan
11. Samsung SDI. Basic Specification of 94 Ah Lithium-Ion Battery Cell; Samsung SDI: Seongnam-si, Korea
12. LG Chem. Product specification «Rechargeable Lithium Ion Polymer Battery Model: E63B 63Ah cell». LG Chem, Korea.
13. CATL. Product Specification of 280Ah Cell; CATL: Contemporary Amperex Technology Co., Limited, China.
14. Toshiba Industrial Systems. Data sheet of Toshiba 20Ah SCiB Rechargeable Battery Cell; Toshiba Industrial Systems: Kawasaki, Japan.
15. Murata. Data Sheet of Sony Fortelion US26650FTC1 Battery Cell; Murata: Kyoto, Japan.
16. Лиотех. Аккумуляторы третьего поколения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liotech.ru/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tretego-pokoleniya/>

17. АО «Энергия». Литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LiFePO₄, LFP) - ЛИП 72 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jsc-energiya.com/catalog/item/435/>

18. АО. «НИИЭИ». Литий-ионные аккумуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niiei.ru/produkczija/materialyi-dlya-xit/litij-ionnyie-akkumu-lyatoryi.html>

19. SSK. Li-ion батареи и энергокомплексы: Среднеточные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sskgroup.ru/pages/srednetochnie_batarei.html

20. SSK. Li-ion батареи и энергокомплексы: Сильноточные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sskgroup.ru/pages/silnotochnie_batarei.html

21. Уралэлемент. Призматические литий-ионные аккумуляторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uralelement.ru/production/li_ion_prismatic.php

22. Total Eren secures finance for Victoria's biggest solar farm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pv-magazine-australia.com/2019/06/05/total-eren-secures-finance-for-victorias-biggest-solar-farm/>

23. LS POWER. LS Power Energizes Largest Battery Storage Project in the World: the 250 MW Gateway Project in California [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lspower.com/ls-power-energizes-largest-battery-storage-project-in-the-world-the-250-mw-gateway-project-in-california-2/>

24. RenEn. «Хевел» построил крупнейшую в России солнечную электростанцию с накопителем энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://renen.ru/hevel-postroil-krupnejshuyu-v-rossii-solnechnuyu-elektrostantsiyu-s-nakopitelem-energ>

25. Energybase. «Россети Центр» установили первый накопитель электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energybase.ru/news/companies/rosseti-center-installed-the-first-electric-energy-storage-device-2019-12-02>

Образец титульного листа

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

Зачтено с отметкой _____

Дата защиты _____

Преподаватель _____

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Наименование темы научного исследования»

По модулю «Theory and practice of engineering research/ Теория и практика инженерного исследования» направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Руководитель:

Иванов И.И.

Работу выполнил:

студент гр. ХХ-ЭЭм

Иванов И.И.

Калининград
202Х

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ БИБЛИОГРАФИИ

Использованные или рекомендованные литературные источники приводятся под заголовком СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Ссылки даются на языке оригинала (см. примеры оформления библиографии).

Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования или упоминания в работе и должны быть заключены в квадратные скобки.

Книга одного автора

Попков, О. З. Основы преобразовательной техники: учеб. пособие / О. З. Попков. – Москва: МЭИ, 2010. – 200 с.

Книга двух или трёх авторов

Варламова, Л.Н. Управление документацией: англо-русский аннотированный словарь стандартизированной терминологии / Л. Н. Варламова, Л.С. Баюн, К. А. Бастрикова. – Москва: Спутник +, 2017. – 398 с.

Книга четырех авторов

Управленческий учет и контроль строительных материалов и конструкций: монография / В. В. Говдя, Ж. В. Дегальцева, С. В. Чужинев, С. А. Шулепина; под общ. ред. В. В. Говдя. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 149 с.

Книга пяти и больше авторов

Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды: монография / А. Н. Швецов, А. А. Суконников, Д. В. Кочкин [и др.]. – Курск: Университетская книга, 2017. – 196 с.

Книга, не имеющая индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под. ред. С.М. Павлова. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Многотомные издания

Издание в целом

Книга о книгах: библиографическое пособие: в 3 т. – Москва: Книга, 1990. – 100 с.

Отдельный том

Адаптивное растениеводство: в 2 т. / В. А. Наумов, А. С. Ступин, Н. А. Лопачев [и др.]. – Москва: Лань, 2018. – Т. 1. – 352 с.

Описание составной части документа

Статья из журнала

Архипченко, И. А. Микробиологические аспекты очистки сточных вод / И. А. Архипченко, С. П. Сергеев // Известия РАН. Сер. Биология. – 1993. – № 5. – С. 744-758.

Статья из книги, сборника трудов, тезисов докладов

Кафидов, В. М. Рынок и качество продукции / В. М. Кафидов // Инновации в науке и образовании - 2003: междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию рыбохозяйственного образования в России (13-15 окт.): материалы / КГТУ. – Калининград, 2003. – С. 260-261.

Патентные документы

Патент 2191712 Российская Федерация, МПК В 60 V 1/18. Корпус судна на воздушной подушке: (Россия): № 2000122045-28: заявл.: 18.01.2017: опубл. 19.12.2017 / В. А. Булкин, Л. И. Кацнельсон, Л. И. Наумов; заявитель КГТУ. 4 с.

Неопубликованные документы

Отчет о НИР

Изучение проблемы использования вторичных тепловых энергоресурсов на рыбообрабатывающих предприятиях: отчет о НИР / КГТУ; рук. В. В. Селин. - 83-12; № ГР 81091541; инв. № 02840054162. – Калининград, 1984. – 30 с.

Диссертация

Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

Локальный электронный методический материал

Белей Валерий Феодосиевич

Веселовский Кирилл Константинович

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 2,1. Печ. л. 2,1.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1