



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№4(33)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2020



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXXIII международной
научно-практической конференции*

№ 4 (33)
Май 2020 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2020

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXXIII междунар. науч.-практ. конф. – № 4 (33). – М.: Изд. «МЦНО», 2020. – 42 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2020

Оглавление

Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Информатика, вычислительная техника и управление	4
АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНКЕТИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Жарылкасынова Айзат Баратбековна Маликова Феруза Умирзаковна	4
ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ Семенова Дарья Эдуардовна Громов Алексей Юрьевич	8
1.2. Metallургия и материаловедение	12
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Виноградов Константин Олегович	12
1.3. Электротехника	18
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Базылов Алибек Колбаевич	18
1.4. Энергетика	27
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ СОБЫТИЙ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ГЭС Агеева Александра Павловна	27
ИЗУЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НАТРИЕВО-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ, И СРАВНЕНИЕ ЕГО В ЛИТИЙ-ИОННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ Базылов Алибек Колбаевич	31

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНКЕТИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жарылкасынова Айзат Баратбековна

магистрант,

*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы*

Маликова Феруза Умирзаковна

доктор PhD,

*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы*

Аннотация. В настоящее время обсуждается автоматизированная система электронного опроса службы мониторинга потребителя. Во время анкетирования находилось широкое применение в качестве основного средства для сбора данных. Это стандартный набор вопросов по утвержденной схеме для сбора персональных данных по одному или нескольким конкретным темам. Основной целью работы является создание информационной системы для сбора и обработки анкетных данных. Эта информационная система предназначена для сокращения времени и ресурсов на сбор и обработку данных опроса и уменьшения объема бумажной документации, а также для предотвращения ошибок при обработке данных, вызванных человеческим фактором. К работе предъявляются следующие требования:

1. Создание базы данных, необходимой для хранения данных опроса;
2. Разработка формы анкеты для всех пользователей;
3. Разработка приложения для отображения результатов опроса;

4. Введение системы в эксплуатацию;
5. Разработка инструкций пользователя.

Ключевые слова: имитационный модель; система анкетирования; анализ данных; метод анализа иерархий; модуль опроса.

Модуль опроса используется для организации анкетирования и сбора информации о прохождении анкетирования. Этот модуль считается доступным для всех пользователей, имеющих право на прохождение опроса. Если пользователь должен пройти несколько опросов, то при входе в систему он попадает на страницу в списке, доступном для прохождения опроса. В системе предусматривается режим запроса под определенной группой опрошенных без реальной необходимости доступа к системе пользователя. Для этого в информационной системе анкеты открывается страница пользователя с анкетой и на ней проставляется пароль. При этом доступ к опросу будет осуществляться только посредством специально сформированной ссылки с идентификатором и паролем группы пользователей. На рисунке 1 представлена структура информационной системы.



Рисунок 1. Информационная система анкетирования

Услуга модуля опроса отвечает за реализацию услуг по контролю за отражением анкеты на экране респондента, ее заполнением и хранению результатов опроса в реляционной базе данных. Модуль запроса находится в тесном контакте с модулем обработки компонента.

В качестве одной из главных особенностей системы можно указать возможность регистрации ip-адреса респондента при передаче информации на дополнительный сервер. Это особенно позволяет ограничить доступ к системе по определенному сетевому диапазону адресов для

ограничения группы респондентов при проведении анонимного опроса, например, на уровне университета, крупных предприятий и т. д.

Основной функцией модуля управления является управление процессом опроса в системе, создание опросов, групп пользователей, назначение опросов для конкретных пользователей. Подготовка анкеты осуществляется на специальной странице, в которой указывается наименование анкеты и его описание. При создании группы пользователей в системе предусмотрена возможность JavaScript для создания пароля. Администратор может указать длину пароля пользователя по своему усмотрению.

При модуле просмотра результатов осуществляются функции контроля статистики прохождения анкетирования, предварительного просмотра результатов опроса. Результаты выводятся в виде таблиц и гистограмм. Для создания диаграмм при генерации отчетов используется свободно распространяемая библиотека под названием JFreeChart. Компонент управления системой поддерживает редактирование ленты новостей, размещенной на главной странице. В информационной системе анкеты лента новостей является разделом, используемым для информирования посетителей о сроках и другой информации, проводимых на главной странице сайта. В этом случае права на обработку информации предоставляются на странице управления группы пользователей.

Система имеет два типа входа. Виды входа в систему: вход в режим пользователя (редактор запросов, аналитик) и вход в режим администратора. При входе в режим администратора осуществляется использование специальной страницы. Установка паролей пользователей и администраторов в системе хранится в каждом месте. Модуль администрирования доступен только при входе в систему в режиме администратора.

Кластерный анализ используется для выявления скрытых закономерностей данных и их объединения в одной совокупности по тем же законам. Этот анализ используется для решения классификационных задач, то есть для разделения первичных множеств на группы.

Алгоритм кластеризации Microsoft Clustering использует итерационный процесс для кластеров. Алгоритм максимизации ожидания определяется функцией разделения атрибутов входных данных, рассчитываемых на входе итеративных процессов каждого кластера. Для каждого кластера при выполнении алгоритма осуществляется максимизация функции использования действительности в пространстве параметров распределенной функции. Предполагается, что в этом случае будет совместное многомерное нормальное распределение атрибутов непрерывных, а дискретно-совместное дискретное распространение.

При создании собственной информационной системы невозможно представить работу без использования БД. Для этого правильный выбор

СУБД является важным этапом в разработке автоматизированной системы анкетирования. Выбранный программный продукт должен удовлетворять потребности любого рабочего места, при этом необходимо учитывать затраты на разработку и настройку необходимого программного обеспечения, а также обучение персонала работе с ним. Выбор правильного подхода при выборе СУБД основан на знании, в какой мере удовлетворяют основные требования создаваемой информационной системы.

Существует несколько видов выбора СУБД. В них входит:

- моделирование данных;
- особенности архитектуры и функциональные возможности;
- контроль работы системы;
- особенности разработки приложений;
- производительность;
- безопасность;
- требования к рабочей среде;
- разнообразные критерии.

В результате, разработано программное обеспечение информационной системы опроса, которое осуществляет разработку, редактирование анкет с использованием различных моделей, одновременное проведение анкет различных групп респондентов в режиме удаленного доступа по сети интернет, сбор, обработку и хранение результатов опроса. Оперативное рассмотрение предварительных результатов проведения опроса и процесса проведения опроса позволяет контролировать процесс опроса в режиме реального времени. Разработанная система запроса повышает скорость обработки информации, позволяет сократить сроки формирования отчетов и экономить рабочее время пользователей.

Список литературы:

1. Айан Брейс: Анкетирование. Разработка опросных листов, их роль и значение при проведении рыночных исследований. Изд-во Баланс Бизнес Букс, 2005. - 336 с.
2. Макарычев П.П. Анализ информации в системе управления качеством образования: моногр. / П.П. Макарычев, Е.Н. Прошкина. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 140 с.
3. Кинбургский А.В. Как провести учебное социологическое исследование: учеб. пособие. Изд-во Москва, 2009. - 77 с.
4. Введение в запросы LINQ (C#) – [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb397906\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb397906(v=vs.110).aspx)
5. Ядов В.А. Социологическое исследование – методология, программа, методы. – М.: Издательство «Самарский университет», 1995.

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Семенова Дарья Эдуардовна

магистрант,

Рязанский государственный радиотехнический университет,

РФ, г. Рязань

Громов Алексей Юрьевич

канд. техн. наук, доцент,

Рязанский государственный радиотехнический университет,

РФ, г. Рязань

PROBLEMS OF IMPLEMENTING AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

Daria Semenova

Undergraduate,

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan

Alexey Gromov

Candidate of technical science, associate professor,

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan

Аннотация. В данной статье проанализированы ряд вопросов, связанных с техническим, экономическим и организационным аспектом внедрения. Приведены основные проблемы, возникающие в большинстве случаев при внедрении информационных систем.

Annotation. This article analyzes a number of issues related to the technical, economic and organizational aspect of implementation. The main problems that arise in most cases when implementing information systems are given.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; внедрение автоматизированной информационной системы; информационная система.

Keywords: automated information system; implementation of an automated information system; information system.

При разработке проекта по внедрению автоматизированной информационной системы (АИС) могут появиться сложности, не позволяющие обеспечить эффективность функционирования системы. Началом внедрения АИС состоит в следующем: система должна формироваться везде, где выполняется работа по редакции и хранении информации, иначе результативность от внедрения системы будет минимальной.

Главной преградой для внедрения АИС, является применение ноу-хау в предприятиях (организациях), из-за настороженного отношения сотрудников к инновациям. В итоге эта проблема затрудняет процессы по внедрению автоматизированной системы.

Одновременно использование автоматизированных информационных систем вызывает много вопросов, связанных с техническим, экономическим и организационным фактором внедрения.

Организационные факторы связаны с отсутствием мотивации у сотрудников, требует повышения уровня технических познаний для корректного анализа потребностей клиента.

Экономические факторы заключаются в том, что присутствуют небольшие финансовые риски. Технические факторы — это необходимость формирования или развития инфраструктуры с целью обеспечения слияний новой системы с уже разработанными технологическими решениями.

Из перечисленных выше факторов, пристального внимания заслуживает организационный фактор, а именно разработка и утверждение плана внедрения АИС, выбор куратора данного проекта и формирование рабочей группы. Определение конечного результата проекта — главное решение организационных проблем.

Сотрудники предприятия (организации) и специалисты ИТ — службы должны тесно контактировать для достижения успеха.

Так же следует четко распределить прямые обязанности и области ответственности среди работников всех отделов, привлечённых к внедрению. Подготовка нормативных документов по процессам автоматизированной информационной системы должна идти непрерывно с опытной эксплуатацией, так же подготовить подробную инструкцию по введению данных в систему для работников.

Обучение работников также необходимо уделять пристальное внимание при внедрении проекта информатизации. При этом обучение должно выполняться на непрерывной основе и на всех этапах внедрения.

Проанализируем трудности, появляющиеся в большинстве случаев при внедрении АИС:

1. Отсутствие постановки задачи менеджмента в организации;

Является весьма существенным и сложным. Дело в том, что большинство руководителей управляют, только руководствуясь из своего

опыта, своего видения и довольно неструктурированных данных о его состоянии и динамике. Грамотная постановка задач менеджмента характеризуется главной причиной, способствующим, на успех деятельности организации.

В настоящее время в России до конца не вписался национальный подход к менеджменту, и к сожалению российское управление представляет собой гремящую смесь из теории зарубежного менеджмента и российского опыта, которое не соответствует жестким требованиям рыночной конкуренции.

Чтобы проект внедрения ИС стал успешным, нужно систематизировать все те контуры управления, которые изначально предполагается автоматизировать, но без привлечения профессиональных консультантов не обойтись, к сожалению затраты на консультантов слишком велики, что возможно приведет к убыткам проекта.

2. Сопротивление сотрудников организации;

При внедрении ИС возникают случаи активного неподчинения сотрудников на местах, которые способны сорвать или затянуть проект внедрения.

3. Увеличение загруженности сотрудников во время внедрения информационной системы;

На некоторых этапах проекта внедрения частично увеличивается нагрузка на работников предприятия (организации).

Связано это с тем, что помимо выполнения своих обязанностей, работникам приходится осваивать новые знания и технологии.

Несмотря на проблемы внедрения, перечисленные выше, результат от АИС измеряется улучшением качества работы предприятия (организации).

Многие проблемы, возникающие при внедрении системы, хорошо изучены, структурированы и имеют эффективные методологии решения. Заблаговременное ознакомление этих трудностей и подготовленность существенно упрощают процесс внедрения и увеличивают продуктивность последующего использования системы.

Список литературы:

1. Евтеева Е.В. Использование информационных технологий в системе управления предприятием // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева – 2015.
2. Нгуен Т.Т. Информационные технологии в менеджменте // Международный студенческий научный вестник. — 2016.
3. Рочев К.В. Информационные технологии. Анализ и проектирование информационных систем // ЭБС Лань – 2019.

4. Вейцман В.М. Проектирование информационных систем // ЭБС Лань – 2019.
5. Остроух А.В., Николаев А.Б. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография // ЭБС Лань – 2019.
6. Остроух А.В., Помазанов А.В. Теория проектирования распределенных информационных систем: монография // ЭБС Лань – 2020.
7. Грекул В.И. Проектирование информационных систем // ЭБС Лань – 2016.

1.2. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Виноградов Константин Олегович

аспирант,

Череповецкий государственный университет,

РФ, г. Череповец

SIMULATION MODEL OF A LOGISTICS SYSTEM FOR TRANSPORTING LIQUID IRON OF A METALLURGICAL ENTERPRISE

Konstantin Vinogradov

Post-graduate student, Cherepovets State University,

Russia, Cherepovets

Аннотация. Рассматривается задача создания имитационной модели логистической системы транспортировки жидкого чугуна на металлургическом предприятии. Исследование и построение модели выполнено с использованием инструментального средства AnyLogic. В качестве исходных данных были использованы реальные данные с производства. Эффективность работы имитационной модели достигается путём автоматического сбора в режиме реального времени всех статистических значений параметров объектов моделирования и принятия логистических решений на их основе.

Abstract. The article deals with creating a simulation model of a logistic system for transporting molten iron at a metallurgical enterprise is considered. Research and construction of the model was performed using the AnyLogic tool. As initial data, real data from production were used. The efficiency of the simulation model is achieved by automatically collecting in real time all the statistical values of the parameters of the objects of modeling and making logistics decisions based on them.

Ключевые слова: жидкий чугун; миксер; логистика; методы оптимизации.

Keywords: molten iron; mixer; logistics; optimization methods.

Обеспечение конвертерного цеха чугуном в достаточном количестве и требуемого качества является одним из наиболее ответственных процессов металлургического предприятия. Цикличность плавов конвертерного цеха и выпусков доменных печей не совпадают, это несоответствие сглаживается оперативным запасом чугуна в миксере, и чугуном который находится в процессе транспортирования. Характерной особенностью материального потока жидкого чугуна является отсутствие фазы промежуточного складирования на стадии его зарождения (непосредственный слив чугуна из доменной печи в транспортное средство) и весьма ограниченные возможности «складирования» на стадии его погашения (миксер конвертерного цеха) [2].

Количество локомотивов и миксеров зависящие от длительности операций и особенно межоперационных простоев технологического процесса транспортирования чугуна не всегда обеспечивают нормальный ритм основного производства. Это приводит к значительным производственным потерям и свидетельствует о необходимости повышения качества принимаемых управленческих решений и использования для этого имитационных моделей рассматриваемого процесса, более точно отражающих существующее положение с учетом интересов всех участников потокового процесса.

Решение данной задачи можно достичь разными методами, например, разработкой новых или усовершенствованных алгоритмов, основанных на нечёткой логике [5], математическим моделированием [1], имитационным моделированием [3-4].

Учитывая особенности технологических процессов доставки жидкого чугуна и поставленные задачи, определим в качестве объектов моделирования следующие агрегаты:

1. доменные печи;
2. подвижные миксеры для транспортировки чугуна до ворот конвертера;
3. сталелитейные ковши для транспортировки чугуна от ворот конвертера до цеха.

В таблице 1 представлены технические характеристики объектов моделирования, представленных выше.

Таблица 1.

Технические характеристики объектов моделирования

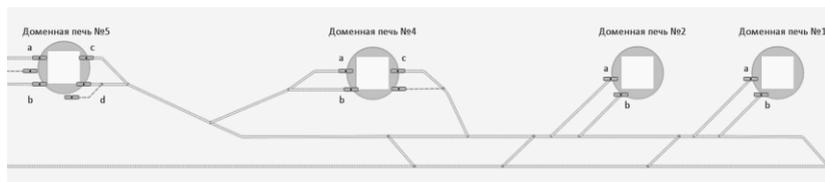
Объект моделирования	Технические характеристики				
	Расстояние до сталеплавильного цеха, м	Расчётное время в пути, мин	Производительность, т\сутки	Грузо-подъёмность, т	
ДП №1(л.1)	1593	26	3300	–	
ДП №1(л.2)	2103	34			
ДП №2(л.1)	1698	28	3200		
ДП №2(л.2)	2208	36			
ДП №4(л.1)	2040	32	7000		
ДП №4(л.2)	2040	32			
ДП №4(л.3)	2910	44			
ДП №5(л.1)	2400	36	13000		
ДП №5(л.2)	2400	36			
ДП №5(л.3)	3527	52			
ДП №5(л.4)	3527	52			
Миксер №2	–	–	–		568
Миксер №3	–	–	–		602
Миксер №4	–	–	–		568
Миксер №5	–	–	–		587
Миксер №6	–	–	–		550
Миксер №7	–	–	–		517
Миксер №9	–	–	–		445
Миксер №10	–	–	–	474	
Миксер №12	–	–	–	489	
Миксер №14	–	–	–	545	
Миксер №15	–	–	–	513	
Миксер №16	–	–	–	513	
Миксер №17	–	–	–	518	
Миксер №19	–	–	–	459	
Миксер №21	–	–	–	564	
Миксер №22	–	–	–	448	
Миксер №24	–	–	–	488	
Миксер №25	–	–	–	517	

Имитационная модель разработана со следующими допущениями:

1. не учитывается изменение химического состава;
2. в начальный момент времени все миксеры находятся под лётками доменных печей либо на запасных железнодорожных путях, доменные печи имеют нулевой объём жидкого чугуна;

С помощью встроенного инструментария AnyLogic построен имитационный план транспортной системы металлургического предприятия.

Реализована симуляция работы четырёх доменных печей. Схема расположения представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Схема расположения доменных печей
в имитационной модели**

Каждая доменная печь имеет определённое количество лёток в соответствии с реальным производственным процессом. Так же предусмотрены запасные пути, выполненные в виде синих пунктирных линий, на которые могут прибывать миксеры для ожидания свободного места под лёткой.

Каждая тонна чугуна создаётся согласно расписанию плавок в модели как отдельный агент. После создания чугуна в количестве равном вместимости миксера, поступает управляющее воздействие на слив чугуна. После наполнения миксер движется через участок взвешивания в сторону конвертерного цеха места слива чугуна в ковши. Если все железнодорожные пути заняты, то миксера останавливается и встаёт в очередь.

После слива чугуна в ковши, миксер разворачивается и движется в обратном направлении к доменным печам до развилки железнодорожных путей.

Сравнительная характеристика результата моделирования и фактического веса доставленного в конвертерный цех чугуна представлена на рисунке 2.

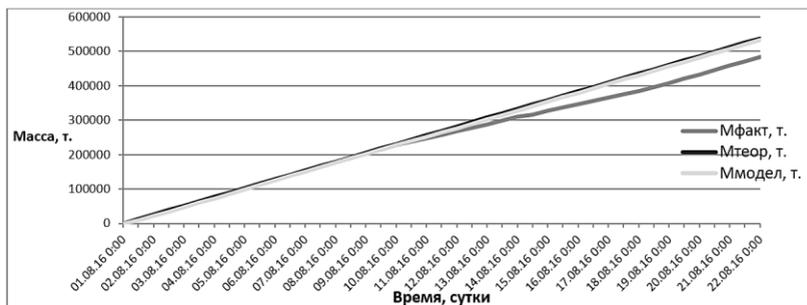


Рисунок 2. График зависимости количества чугуна от времени

График зависимости теоретической массы чугуна доставленной в конвертерный цех от времени ($M_{\text{теор}}$) отражает реальную потребность конвертерного цеха в чугуне, т. е. то сколько должно быть доставлено, чтобы обеспечить отсутствие простоев производственного процесса в следствии недостатка или излишка доставленного чугуна.

График зависимости фактической массы чугуна доставленной в конвертерный цех от времени ($M_{\text{факт}}$) получен на основе реальных данных и отражает результат принятия логистических решений человеком (диспетчером). На рисунке 4 видно, как график $M_{\text{факт}}$ отклонился от $M_{\text{теор}}$, что свидетельствует о недостаточной массе жидкого чугуна, доставленной в конвертерный цех.

График зависимости теоретической массы чугуна доставленной в конвертерный цех от времени ($M_{\text{модел}}$) получен на основе данных моделирования. Графики ($M_{\text{теор}}$) практически совпадают ($M_{\text{модел}}$), что свидетельствует о том, что решения принимаемые имитационной моделью эффективнее, чем решения, принятые диспетчером на указанном промежутке времени.

Проанализировав результаты моделирования, можно сделать вывод о том, что среднее значение относительной погрешности равно 3,43%.

Под относительной погрешностью, в данном случае, понимается отклонение данных, полученных в ходе моделирования, от теоретических (эталонных), то есть реальной потребности конвертерного цеха в жидком чугуне.

Причиной отклонения значений является различие начальных фактических и экспериментальных значений параметров технологического процесса, а именно:

1. начальное расположение миксеров. В имитационной модели на старте миксеры находятся под лётками или на запасных путях.

2. Текущий вес чугуна в доменных печах. В имитационной модели в начальный момент времени он равен нулю.

Выделим основные причины эффективности имитационной модели:

1. Имитационная модель автоматически в режиме реального времени собирает все статистические значения параметров объектов моделирования

2. Система за короткий промежуток времени (менее одной секунды) анализирует собранные данные и на их основе осуществляет принятие решений

3. Управление движением миксеров осуществляется автоматически, без участия диспетчера

Список литературы:

1. Гусев Ю.В. Математическая модель процесса транспортирования чугуна в конвертерный цех // СПб: Питер, 2007. С. 287–293.
2. Емельянова Н.Ю. Информационная технология процесса контроля перевозки жидкого чугуна // Системы обработки информации. 2010 № 9(90) С. 32–36.
3. Bin Ge. A design for simulation model and algorithm of rail transport of molten iron in steel enterprise // Computer modelling & new technologies. 2014 № 11(18) С. 1056-1061.
4. Jun-qing Li. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Hybrid Flexible Flowshop With Dynamic Operation Skipping. IEEE transactions on cybernetics. 2016 №6(46) С. 1311–1324.
5. Su. L. Integrated batch planning optimization based on fuzzy genetic and constraint satisfaction for steel production // School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University. 2016 С. 133–143.

1.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Базылов Алибек Колбаевич

магистрант,

*Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан*

Аннотация. Для серийного производства электромобилей разработка технологии литий-ионных элементов для достижения высокой плотности энергии упаковочных аккумуляторов имеет решающее значение и требует значительных исследований и разработок. В данной статье рассматриваются последние разработки в области клеточных технологий и катодной химии для производства тяговых литий-ионных аккумуляторов. Производятся неразрушающие испытания и сравнительный анализ наиболее важных характеристик аккумуляторов с известной литий-ионной электрохимией. Представлены преимущества и недостатки различных типов литий-ионных клеток. Сделаны выводы о степени применимости литий-ионных батарей соответствующих типов в применениях EV / HEV.

Abstract. For the mass production of electric vehicles, the development of lithium-ion cell technology to achieve a high energy density of packaging batteries is critical and requires significant research and development. This article discusses the latest developments in the field of cell technology and cathodic chemistry for the production of traction lithium-ion batteries. Non-destructive tests and comparative analysis of the most important characteristics of batteries with known lithium-ion electrochemistry are carried out. The advantages and disadvantages of various types of lithium-ion cells are presented. Conclusions are drawn on the degree of applicability of lithium-ion batteries of the respective types in EV / HEV applications.

Ключевые слова: литий-ионная батарея; EV / HEV- Электрические и гибридные транспортные средства; BMS-система управления батареями.

Keywords: lithium-ion battery; EV / HEV- Electric and hybrid vehicles; BMS battery management system.

Введение

Улучшенное производство электрических и гибридных транспортных средств (EV / HEV) зависит от разработки литий-ионных батарей для хранения и управления энергией. Хотя литий-ионная технология является относительно молодой, она обладает значительным потенциалом как для снижения затрат, так и для повышения удельной энергии (удельная энергия Вт / кг энергии) за счет рационализации производственного процесса. Удельная энергия является ключевым показателем при производстве литий-ионных элементов для EV. Преимущество плотности энергии заключается в том, что требуется меньше электролита, что обеспечивает более быструю передачу ионов от анода к катоду, что при сборке приводит к снижению массы элемента и, следовательно, к снижению общего веса аккумуляторного блока для EV. В последние годы был достигнут большой прогресс в разработке технологии литий-ионных элементов для достижения высокой плотности энергии.

Цель работы

Рассмотреть характеристики элементов и химический состав катодных материалов для производства тяговых литий-ионных аккумуляторов. Провести тесты батарей с помощью самых популярных электрохимических элементов на литий-ионных элементах, анализируя преимущества и недостатки различных типов элементов. Сделать выводы о степени применимости соответствующих типов литий-ионных аккумуляторов в приложениях EV / HEV.

Предмет исследования, оборудование и методология

Чтобы определить наиболее перспективные элементы для применения EV / HEV, были проведены неразрушающие испытания основных функциональных характеристик - характеристик внутреннего сопротивления и зарядки / разрядки элементов разной конструкции и различных клеточных электрохимий наиболее популярных типов Li. - Ионные батареи для приложений EV / HEV.

Характеристики наиболее часто используемых элементов батарей для EV / HEV

Наибольшее распространение в производстве батарей EV/HEV получили следующие типы литий-ионных элементов: LFP, NCA и NMC [4, 5].

Наиболее распространенная классическая ячейка LCO с катодным материалом LiCoO₂ имеет высокую удельную энергию (240 Вт / ч / кг), но не подходит для применений EV / HEV из-за ее склонности к воспламенению и вредности. Основные характеристики ячейки следующие:

- Удельная энергия. Эта функция в последнее время оказалась наиболее важной из-за разработки систем управления батареями BMS, которая помогла устранить серьезные недостатки в увеличении плотности (нагрев, загорание и т. д.).

- Химический состав катодного материала. Это зависит от удельной энергии элемента и, следовательно, максимального диапазона EV с одним зарядом [4,5]. - Размер ячейки. До недавнего времени призматический дизайн клеток считался наиболее подходящим для EV. Однако он подходит только для ячеек LFP, которые пожаробезопасны, но имеют низкую плотность энергии. Причина состоит в том, что в этой конструкции существует большая вероятность микроскопических «коротких замыканий» между электродами в зонах складывания и вызывающих эффект «летучего тепла» (самопроизвольное повышение температуры и разрушение ячейки) [6]. Следовательно, большинство NCA и NMC для EV-ячеек имеют цилиндрическую форму, где между электродами нет резких складок, и тепловыделение менее вероятно. Наиболее распространенными при ЭВ являются клетки размером 18650 [11].

- Внутреннее сопротивление (импеданс). Это важная функциональная особенность клетки. Необходимо знать полное сопротивление элемента, чтобы рассчитать выработку тепла челюсти или потерю мощности в элементе. С возрастом клетки его внутреннее сопротивление увеличивается. Это уменьшает способность получать и удерживать заряд, но OCV будет отображаться как обычно и даже выше, несмотря на уменьшенную емкость батареи. Периодическое сравнение фактического внутреннего сопротивления с новым сопротивлением батареи покажет любое ухудшение функциональности батареи [8].

Объект исследования

Объектом исследования являются LFP, NCA и NMC типа 18650 цилиндрических ячеек лития и большая призматическая линия клеток LFP LFP с материалом катода LiFeYPO₄. Цилиндрические ячейки являются новыми, коммерчески приобретаемыми различными дистрибьюторами [1, 2, 3]. Из использованного аккумулятора для электромобиля были испытаны два больших призматических элемента с наибольшей разницей в номинальном напряжении при напряжении OCV результаты показаны в таблице 1. Клетки тестируются без протекторов и систем управления. Испытания подлежат как минимум двум клеткам вида.

Таблица 1.

Коммерческие характеристики вида Литий-ионные элементы, используемые для EV / HEV

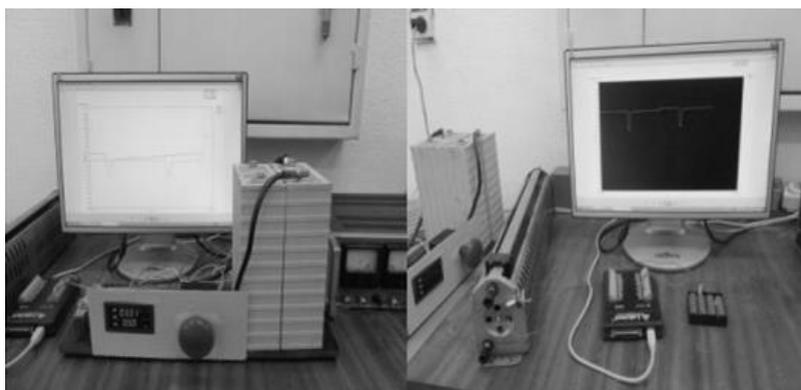
Тип	Формат, мм	Коммерческое название	Номинал В
LFP	Φ12x65	LFP18650 Zelle	3.2
NCA	Φ18x65	NCR18650A	3.6
NMC	Φ18x65	INR18650- 29E	3.7

Методология экспериментальных исследований

- Определить кривую заряда / разбавления и оценить, в какой степени характеристики новых клеток соответствуют характеристикам производителя;

- Провести сравнительный анализ кривых зарядки / разбавления для трех типов наиболее распространенных в практике применения электромобилей литий-ионных элементов с различной электрохимией для выявления различий в их поведенческих моделях во время зарядки / разбавления.

Все ячейки должны быть полностью заряжены до допустимого уровня до начала тестирования. Затем формат ячейки 18650 разбавляется током 0,25 С, причем С - это емкость аккумулятора, взятая из данных изготовителя. Развести в течение от 1 до 4 часов (до 250 минут) в зависимости от емкости типов клеток. Испытание проводится с помощью устройства, показанного на рисунке 1 (б). Результаты теста показаны на рисунке 2.



а

б

Рисунок 1. Изображения блока измерения импеданса и характеристики зарядки / разбавления литий-ионных элементов.

1 а) для крупных призматических клеток;

Рисунок 2.б) для цилиндрических ячеек формата 18650

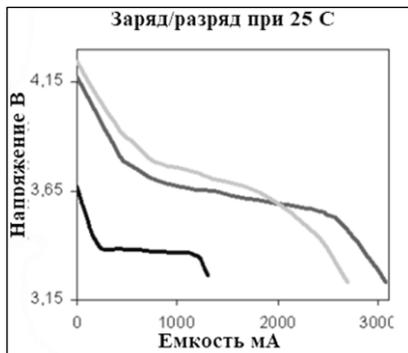


Рисунок 2. Кривые нагрузки / разряда цилиндрической ячейки формата 18650 с различными катодными материалами

На рис. 3 показано напряжение элемента во время цикла предварительного тестирования с током зарядки / разрядки 25 А большого элемента LFP и током зарядки / разрядки 0,8 А малого элемента NCA. Напряжения элемента отображаются в зависимости от состояния заряда (SOC). Это позволяет напрямую сравнивать уровни напряжения между зарядом и разрядкой в одном и том же состоянии заряда двух типов элементов. В большой призматической ячейке время зарядки и разбавления на короткое время останавливается на каждые 10% изменения емкости для измерения напряжения и анализа релаксации при OCV [11]. В ячейке типа NCA релаксация не требуется, поскольку кривая зарядки соответствует кривой разбавления, то есть не требуется никакого специального цикла зарядки / разбавления, как в большой ячейке.

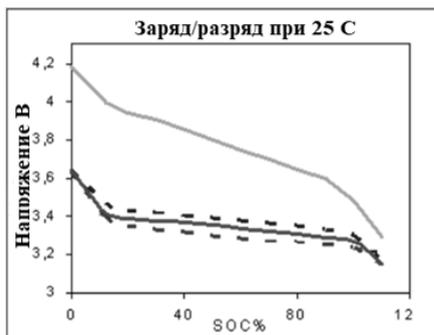


Рисунок 3. Развитие клеточного напряжения при токе заряда / разряда 0,25С с большим разрывом элемента LFP и небольшим элементом NCA

3. Определение внутреннего сопротивления

Электрический метод [8] используется для определения импеданса. Чтобы определить внутреннее сопротивление, сначала необходимо измерить OCV ячейки. Затем нагрузка должна быть подключена через ячейку, что приведет к течению тока. Это уменьшит напряжение элемента из-за падения ИК-напряжения на элементе, которое соответствует внутреннему сопротивлению элемента. Затем напряжение ячейки должно быть измерено снова, когда ток работает. Импеданс R_{in} рассчитывается по закону Ом для V-образной ячейки между двумя измерениями и для разности cell V-ячейки в напряжении I тока, протекающего через ячейку, согласно формуле (1).

$$R_{in} = \Delta V_{cell} / I, \text{ m}\Omega \quad (1)$$

Для теста импульсный ток $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ подается на каждую отдельную ячейку в течение 2 секунд. Использование времени импульса 2 секунды достаточно для стабилизации напряжения элемента, но оно оказывает незначительное влияние на SOC. Импульсный ток для больших ячеек LFP составляет 150 А, а ток для маленького АНБ - 4,5 А.

Анализ экспериментальных результатов и дискуссий

Средние значения данных испытаний импеданса и удельной энергии типов ячеек, рассчитанные по кривым зарядки / разбавления, представлены в таблице 2. Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 3, показывает, что кривые зарядки / разбавления различных типов цилиндрических клетки отличаются.

Таблица 2.

Анализ результатов

Тип	Катодные материалы	Емкость мА	Импеданс R_{in} , mΩ	Энергия Вт/кг
LFP	LiFePO ₄	1.4	40	110
NCA	Li(NiCoAl)O ₂	3.1	79	260
NMC	Li(NiCoMn)O ₂	2.9	75	220

Номинальная (рабочая) площадь ячеек LFP является прямой с очень небольшим наклоном, т. е. Е. напряжение меняется очень мало в течение времени зарядки / разрядки. Также видно, что характеристики клеток NCA и NMC напоминают и различаются только по емкости [4]. Следовательно, фактические характеристики кривой зарядки соответствуют эксплуатационным характеристикам, указанным производителем, и могут быть проведены следующие испытания.

На рисунке 3 представляет кривую заряда / разряда напряжения элемента во время тестирования при заряде / разряде постоянного тока $0,25\text{ }^\circ\text{C}$ с большими разрывами элемента LFP и без паузы (непрерывного цикла) на небольшом элементе NCA. Отличие от графика на рисунке 2 состоит в том, что напряжение на этом графике зависит от SOC, а не от времени достижения максимальной емкости. Верхняя кривая отсечки циклов ячейки LFP представляет заряд (коричневый), а нижняя кривая отсечки (красный) представляет разрыв с минутным перерывом при подсчете OCV. Измерения напряжения ячейки в течение цикла испытаний показывают, что ячейка не достигает баланса в конце пауз, если шаг отклика приостанавливается на 1 минуту, что очень мало. Это делает тест более сложным и игнорирует его, поскольку увеличивает продолжительность цикла тестирования до нескольких дней. Необходимо ускорить время цикла. Это делается с помощью специального алгоритма, в котором непрерывные средние (фиолетовая линия) представляют собой интерполяцию между уровнями напряжения в конце пауз длительностью 1 минута. Это позволяет испытательному циклу проходить в очень короткое время без больших релаксационных пауз [4, 10]. Также из анализа кривых заряда / разбавления двух ячеек подтверждается, что номинальная площадь кривой ячейки NCA имеет нелинейный характер, а область номинальной кривой ячейки LFP имеет линейную характеристику. Это означает, что оценка состояния нагрузки (SOC) в ячейках NCA становится намного проще благодаря измерению только напряжения, тогда как для ячеек LFP из-за небольшого наклона кривой разбавления измерение SOC только при измерении напряжения является неточным. Также необходимо измерить количество электроэнергии (счет Кулона), что усложняет алгоритм и программное обеспечение соответствующей системы управления (BMS).

Рисунок 1 (а) монитора графически показывает импульсы двух больших клеток LFP (LiFeYPO_4), а на рисунке 1 (б) импульсы двух небольших клеток NCA. В больших клетках наблюдается более медленная релаксация OCV, чем в маленьких клетках. Смотрите также, большее внутреннее сопротивление одной ячейки LFP, имеющей более высокий OCV. Следовательно, более крупные элементы с более высоким напряжением имеют более высокое внутреннее сопротивление или плохо сбалансированы. Маленькие клетки NCA имеют точно такой же импеданс и немедленно расслабляются, что означает их высокое качество. Из данных в табл. 2 показывает меньшее сопротивление клеток LFP по сравнению с другими видами. Это означает более длительный срок службы и большее количество циклов зарядки / разрядки этого типа элементов.

Вывод

Клетки LFP отличаются высокой пожарной безопасностью и надежностью. Их функциональность очень хорошая, они имеют большое количество циклов зарядки / разрядки, и до 1-2 лет назад они считались наиболее подходящими для приложений EV / HEV [8, 10]. Однако у них есть один существенный недостаток - низкая удельная энергия, что делает эту батарею непопулярной для современных электромобилей. Особенно сложно сбалансировать и требовать сложного программного обеспечения для определения SOC, больших призматических клеток LFP.

Ячейки NCA обладают высокой плотностью энергии и широко используются в бытовой электронике. Они составляют основу аккумуляторных батарей Panasonic в современных электромобилях двигателей Tesla [11, 12].

Ячейки NMC также подходят для использования в EV. NMC Chemistry используется Renault и BMW для EV. По данным Samsung, текущая удельная мощность его NMC составляет 130 Втч / кг (примерно половина NCA Panasonic, но к 2019/2020 гг. Она составит 250-300 Втч / кг.) Стоимость производства ячеек NMC в настоящее время составляет 12 -19 % выше, чем NCA [9, 11]. В ближайшем будущем интеллектуальные BMS, разработанные ведущими компаниями, специально для элементов NCA и NMC, будут способствовать формированию аккумуляторных батарей EV мощностью более 100 кВт-ч и удельной энергией более 350 Вт-ч / кг с высоким качеством и высокой безопасностью.

Список литературы:

1. www.ev-power.eu/.../WB-LYP100ANA-LiFeYPO4-3-2V100Ah.html.
2. <https://battery-service.bg/kategorija/baterii/li-ionbaterii/visokorzryadni-li-ionbaterii/>.
3. <https://www.liontecshop.com/shop/18650>.
4. H. Popp, J. Attia, F. Delcorso, A. Trifonova, Lifetime analysis of four different lithium ion batteries for (plug-in) electric vehicle, Transport Research Arena (TRA) 5th Conference: Transport Solutions from Research to Deployment, Paris , France, 2014-4-14 to 2014-4-17(2014).
5. http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_io
6. <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?board=48.0>
7. Meng Wang, Anh Le, Daniel J Noelle and other, Effects of electrode pattern on thermal runaway of lithium-ion battery, International Journal of Damage Mechanics 0(0) 1–8, DOI:10.1177/ 1056789516660176 (2016).
8. Zhu Wei, A Smart BMS for Large Format Lithium Ion Cells , utdr .utoledo.edu/cgi/ viewcontent .cgi? article...dissertations, (2011).

9. M. Brand, S. Glaser and other, Electrical safety of commercial Li-ion cells based on NMC and NCA technology compared to LFP technology/ World Electric Vehicle Symposium EVS27(2013).
10. Doerffel, Dennis (2007) Testing and characterisation of large high-energy lithium-ion batteries for electric and hybrid electric vehicles. University of Southampton, School of Engineering Sciences, Doctoral Thesis, (2007) .
11. G. Hawley, <https://evannex.com/blogs/news/understandingteslas-lithium-ion-batteries> (2017).
12. C. Arcus ,<https://cleantechnica.com/2018/03/04/excitingdevelopments-nmc-811-lithium-battery-technology> (2018).

1.4. ЭНЕРГЕТИКА

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ СОБЫТИЙ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ГЭС

Агеева Александра Павловна

*магистрант,
Сибирский федеральный университет,
Саяно-Шушенский филиал,
РФ, г. Саяногорск*

BLOCK DIAGRAM OF THE ALGORITHM FOR THE DETECTION OF LANDSLIDE EVENTS IN THE RESERVOIR OF A HYDROELECTRIC POWER STATION

Alexandra Ageeva

*Undergraduate,
Siberian Federal University,
Sayano-Shushenskiy Branch,
Russia, Sayanogorsk*

Аннотация. Оползни являются опасными геоморфологическими явлениями, особенно если они происходят в водохранилищах гидроэлектростанций. При проектировании гидроэлектростанций проводятся инженерные изыскания, в том числе по изучению будущего водохранилища, исследуют возможные зоны повышенного риска возникновения оползневых явлений и их приблизительные параметры. По этим данным рассчитываются волновые образования от оползневого события. Использование алгоритма по изменениям показаний датчиков уровней верхнего бьефа позволит нам своевременно узнать об оползневом событии в водохранилище ГЭС.

Abstract. Landslides are dangerous geomorphological phenomena, especially occurring in reservoirs of hydroelectric power stations. When designing hydroelectric power stations, engineering surveys are carried out, including the study of the future reservoir. Knowing the possible areas of increased risk of landslide events and their approximate parameters. Based on this data, wave formations from a landslide event are calculated. Using

the algorithm, based on changes in the readings of the upstream level sensors, it will allow us to timely learn about a landslide event in the HPP reservoir.

Ключевые слова: алгоритм; оползень; оползневое событие; водохранилище; датчики уровня воды; волнообразование.

Keywords: algorithm; landslide; landslide event; reservoir; water level sensors; wave formation.

Основные положения

Оползень – опасное геоморфологическое явление, смещение масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и иных процессов [1]. Оползневые события, происходящие в руслах зарегулированных рек, выше гидроэлектростанций, т. е. в водохранилищах, несут дополнительную угрозу как гидротехническим сооружениям, так и населению выше или ниже станции. Примеров этих страшных событий в истории гидроэнергетики немало.

После возникновения оползневого события к плотине придет волна, которую зафиксируют датчики уровня верхнего бьефа.

Рассчитав параметры данной волны по формуле (1), получим характеристики волны от оползневых событий:

$$\eta(x, t) = \frac{2 \cdot D_T}{l} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\cosh \lambda_n x}{\gamma_m \cdot \lambda_n \cdot h_n \cdot \cosh h} \int_0^{t_0} \frac{S' \cdot sh \cdot \lambda_n \cdot [h - S(\tau)]}{h - S(\tau)} \cos \gamma_m (t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

где: η – высота волны;

x - декартова координата;

t – время;

D_T – длина обвального тела;

l – длина;

h - глубина водоема;

$S(\tau)$ – вертикальное смещение обвального тела;

$S'(\tau)$ – его скорость;

c – сцепление грунта;

$$\gamma_m = \sqrt{\lambda_n g t h \lambda_n h},$$

где: $\lambda_n = \frac{n\pi}{l}$,

где: n – порядковый номер [2].

Принимаем это значение за приращение отметки от текущего уровня верхнего бьефа. Используя предложенный алгоритм, определяем факт оползневое событие и его возможные координаты. Через автоматическую систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) отображаем сигнализацию о событии.

Упрощенная структурная схема алгоритма представлена на рисунке 1.

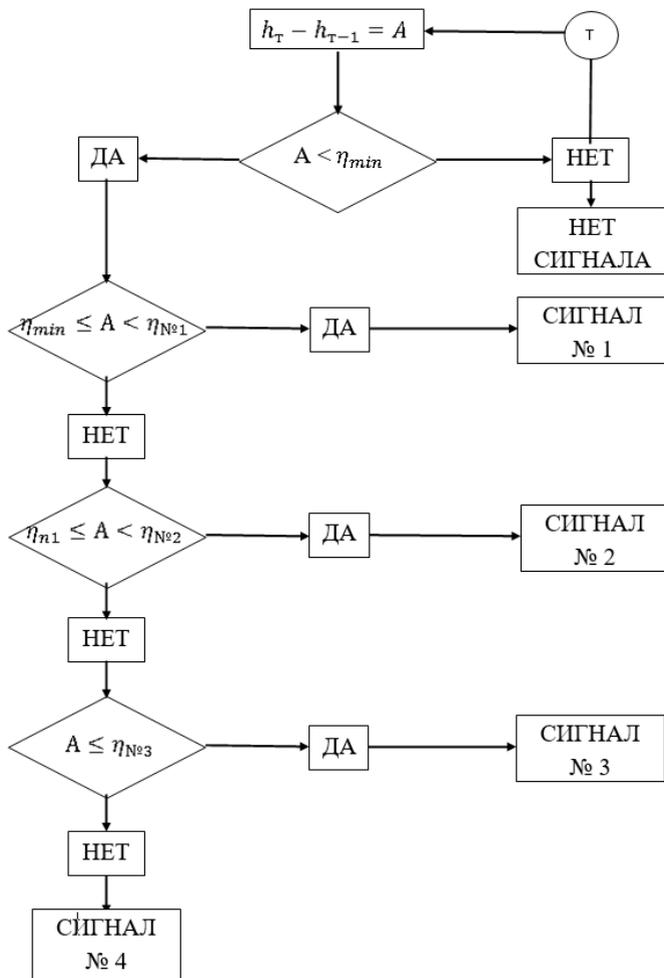


Рисунок 1. Упрощенная структурная схема алгоритма

Описание значений:

T – период времени;

h_T – текущее значение отметки уровня верхнего бьефа;

h_{T-1} – предыдущее значение отметки уровня верхнего бьефа;

A – изменение текущей отметки уровня верхнего бьефа;

$\eta_{N\#1}$ ($\eta_{N\#2}$, $\eta_{N\#3}$) – высота волны, зависящая от оползневых событий.

Описание сигналов:

1) сигнал № 1 – предупредительный сигнал в АСУ ТП «Вероятное оползневое событие в X_1 удаленности от плотины»;

2) сигнал № 2 – предупредительный сигнал в АСУ ТП «Вероятное оползневое событие в X_2 удаленности от плотины»;

3) сигнал № 3 – предупредительный сигнал в АСУ ТП «Вероятное оползневое событие в X_3 удаленности от плотины»;

4) сигнал № 4 – предупредительный сигнал в АСУ ТП «Неисправность определения оползневых событий».

Таким образом, появляется возможность более быстрого реагирования на произошедшие события. Своевременное обнаружение оползневых событий позволит минимизировать ущерб для населенных пунктов выше и ниже гидроэлектростанции.

Список литературы:

1. Определение оползня // Википедия: свободная энциклопедия / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Оползень> (дата обращения: 25.03.2019).
2. Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей по итогам VII Международной научной конференции (31 августа 2019 г.).
3. Последствия Бурейского оползня // Молодой дальневосточник: общественно-политический еженедельник / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://khabarovsk.md/main/16455-posledstviya-bureyskogo-opolznnya.html> (дата обращения: 25.03.2019).

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НАТРИЕВО-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ, И СРАВНЕНИЕ ЕГО В ЛИТИЙ-ИОННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ

Базылов Алибек Колбаевич

магистрант,

*Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан*

Аннотация. Натрий-ионные аккумуляторы (НИА) - это недавняя разработка, которая неоднократно рекламировалась как экономически перспективная альтернатива литий-ионным батареям (ЛИА). Тем не менее, только одно подробное исследование о материальных затратах было опубликовано для этого типа батареи. В этой статье представлена первая подробная экономическая оценка ячеек НИА типа 18 650 с многослойным оксидным катодом и твердым углеродным анодом на основе существующих спецификаций для коммерческих батарей. Результаты сравниваются с результатами конкурирующих клеток литий-ионного аккумулятора ЛИА, то есть с катодами литий-никель-марганец-кобальт-оксид (NMC) и с катодами литий-железо-фосфат (LiFeP). Анализ чувствительности дополнительно оценивает влияние различных цен на сырье на результаты.

Abstract. Sodium-ion batteries (SIB) is a recent development that has been touted more than once as an economically promising alternative to lithium-ion batteries (LIB). However, only one detailed material cost study has been published for this type of battery. This article presents the first detailed economic assessment of 18,650 NIA cells with a multilayer oxide cathode and a solid carbon anode based on existing specifications for commercial batteries. The results are compared with the results of competing cells of the lithium-ion battery LIA, that is, with the cathodes of lithium-nickel-manganese-cobalt oxide (NMC) and with the cathodes of lithium iron phosphate (LiFeP). A sensitivity analysis additionally evaluates the effect of different raw material prices on the results.

Ключевые слова: натрий-ионный аккумулятор (ЛИА); литий-ионный аккумулятор (НИА); оценка стоимости; производство аккумуляторов; литий-железо-фосфатные катоды (LiFeP); Модель производительности и стоимости аккумулятора (BatPaC).

Keywords: sodium-ion battery; lithium ion battery; cost estimate; battery production; lithium iron phosphate cathodes (LiFeP); Battery Performance and Cost Model (BatPaC)

Введение. В настоящее время литий-ионные аккумуляторы (ЛИИ) являются одними из наиболее актуальных технологий накопления электрохимической энергии [1]. Они являются относительно зрелой технологией, демонстрируют высокую гравиметрическую и объемную плотности энергии, высокую эффективность заряда-разряда и хорошие показатели мощности. Эти свойства делают их предпочтительной технологией не только для мобильных приложений, но и в большей степени для стационарного накопления энергии [2–4]. Тем не менее, все еще высокая стоимость литий-ионных аккумуляторов является одним из их основных недостатков [5, 6]. Кроме того, растущий спрос вызывает обеспокоенность по поводу среднесрочной доступности некоторых видов сырья, таких как кобальт или литий, где пики цен или дефицит предложения могут произойти [7, 8]. По этим причинам исследуются альтернативные недорогие системы, в том числе химические системы «вне лития», такие как натрий-ионные батареи (НИИ) [9, 10]. НИИ – это недавняя разработка, которая уже находится на экспериментальной стадии и рекламируется как экономически перспективная альтернатива ЛИИ [11–13]. Подобно ЛИИ, НИИ полагаются на интеркаляцию ионов натрия в материале анода (состояние зарядки) или материалах катода (разряд). Перспективными катодными материалами являются (подобно ЛИИ) многочисленные типы слоистых оксидов или полианионных соединений, в то время как для анода обычно применяется аморфный углеродный материал (в основном, твердые угли). Графит, материал анода, предпочтительный для современных ЛИИ, не подходит для НИИ, так как более крупные ионы натрия не легко внедряются в графитовую структуру. Из-за очень похожих свойств НИИ считаются технологией внедрения, которая может быть создана с использованием существующей инфраструктуры для ЛИИ. Помимо активного материала анода, другим существенным отличием НИИ по сравнению с существующими ЛИБ является возможность использования алюминия для анодных токосъемников, поскольку натрий (в отличие от лития) не сплавляется с алюминием на аноде. Схематическое изображение принципа работы НИИ показано на рисунке 1, а в таблице 1 сравниваются ключевые компоненты ЛИИ и НИИ. Из-за более высокого удельного веса натрия по сравнению с литием и более высокой необратимой емкости твердых углеродных анодов теоретически достижимые максимальные плотности энергии НИИ ниже, чем у ЛИИ. Тем не менее, они считаются интересными, особенно для стационарных приложений, где плотность энергии менее важна [14]. Экономические преимущества ожидаются для НИИ прежде всего из-за замены лития более распространенным (и, следовательно, более дешевым) натрием и возможностью использования

алюминия вместо меди в качестве анодного токосъемника. Недавняя оценка жизненного цикла показала, что НИА являются многообещающими с экологической точки зрения, и выдвинула на первый план некоторые все еще значительные потенциалы улучшения [15]. Хотя аспекты затрат неоднократно используются в качестве аргумента для НИА, только одна предварительная экономическая оценка ячеек НИА была опубликована [8]. Однако в нем основное внимание уделяется материальным затратам и не учитываются различия в расположении ячеек между НИА и ЛИА (обусловленные, например, более высокой необратимой емкостью твердого углерода, требующей увеличения толщины анодного покрытия). Поэтому в настоящей статье изучается потенциальная стоимость полной ячейки 18 650 НИА по сравнению с двумя существующими типами ЛИА, а именно на основе лития, никеля, марганца, кобальта (NMC) и лития, железа и фосфата (LiFeP). Впервые проводится сравнение затрат для круглых ячеек типа 18 650 по восходящему принципу, основанное на технических характеристиках коммерческого аккумулятора.

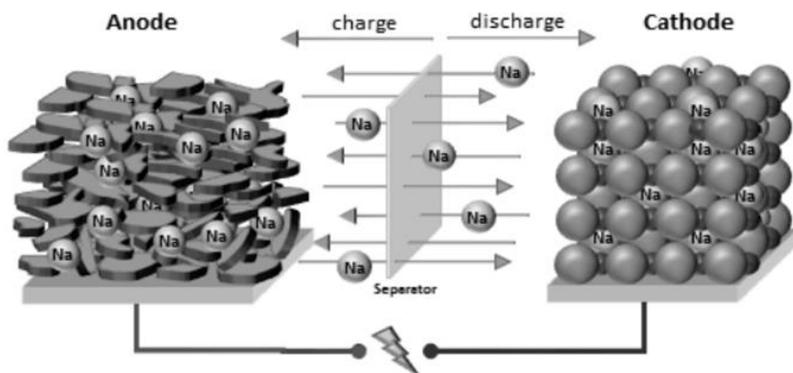


Рисунок 1. Принцип работы натриево-ионной ячейки

Основные компоненты литий-ионных и натрий-ионных батарей (ЛИА и НИА) показаны в таблице 1. Где имеются сокращения такие как - ЕС = этиленкарбонат, DMC = диметилкарбонат, PE = полиэтилен.

Таблица 1.

Основные компоненты литий-ионных и натрий-ионных батарей

Химические элементы	Анод	Катод	Разделитель	Электролит	Корпус клетки
ЛИА	Графит на медной фольге, органическое или водное связующее	Слоистый оксид на алюминиевой фольге, органическое связующее	Полимерная пленка	Li Salt (LiPF ₆ , LiTFSI) в органическом растворителе (EC / DMC)	Мешочек, призматические или круглые ячейки
НИА	Твердый углерод на алюминиевой фольге, органическое или водное связующее	Слоистый оксид на алюминиевой фольге, органическое связующее	Полимерная пленка	Соль Na (NaPF ₆ , NaClO ₄) в органическом растворителе (EC / DMC)	Мешочек, призматические или круглые ячейки

Методология

Расчет стоимости батареи был основан на модели расчета стоимости BatPaC, представленной Аргонскими национальными лабораториями [17]. Эта модель была модифицирована и адаптирована для оценки стоимости производства отдельных круглых ячеек 18650 (первоначально в BatPaC учитывались только призматические ячейки, установленные в автомобильные аккумуляторные батареи). Отдельные компоненты батареи и размеры элементов батареи, необходимые в качестве входных данных для оценки стоимости, были смоделированы на основе технических таблиц и научной литературы и подробно описаны в следующих разделах. Все цены, если не указано иное, указаны в 2017 году. Предполагалось, что производство батарей будет находиться в Германии. Поэтому цены других лет и валют были конвертированы в евро в соответствии со среднегодовым курсом обмена валют соответствующего года, а затем скорректированы на базовый 2017 год в соответствии с Индексом цен производителей промышленных товаров [18, 19]. Альтернативное местоположение с низкой стоимостью рабочей силы оценивается в анализе чувствительности.

Оценка НИА основывалась на слоистом оксидном катоде (NMMT: оксид титаната магния, никеля и марганца, натрия; Na_{1,1}Ni_{0,3}Mn_{0,5}Mg_{0,05}Ti_{0,05}O₂ [20] в сочетании с твердым углеродным анодом и электролитом из гексафторфосфата натрия (NaPF₆) соль в органическом растворителе [13, 15]. Расположение элемента батареи было взято из технических паспортов производителя батареи,

который производит опытные ячейки НИА на экспериментальной стадии [13]. Другие компоненты батареи, такие как фольга коллектора, связыватели электродов, сепаратор и корпус, были идентичны между НИА и ЛИА. Батареи были собраны в круглые элементы типа 18650, и окончательная цена аккумуляторных элементов была рассчитана на уровне элементов, что дает оценка цены не зависит от последующего применения.

Стоимость катодного активного материала

Поскольку исследуемый материал катода НММТ не был доступен на рынке, его цена должна была быть оценена на основе стоимости сырья плюс производственные затраты. Это было сделано в соответствии с уравнением (1) [17]. Для целей валидации стоимость литий-ионного катодного материала (NMC) также была рассчитана таким же образом. Это позволило сравнить полученные результаты с рыночными ценами для установленного активного материала и, таким образом, для проверки модели оценки стоимости.

$$C_{(\$/\text{кг})} = C_0 + \frac{1}{MW} \sum_i x_i C_i MW_i \quad (1)$$

где: C = конечная стоимость (/ кг),

C₀ = базовая стоимость (),

C_i = цена сырья (/ кг),

x_i = молярная стехиометрия (-),

MW_i = Молекулярная масса сырья (г / моль)

MM = Молекулярная масса конечного продукта (г / моль).

Базовая стоимость - это стоимость, связанная с установкой и эксплуатацией производственной линии / завода, и, следовательно, зависит от свойств материала, но не от стоимости материалов-прекурсоров. Базовая стоимость 9,15 / кг для соосаженных оксидов металлов, таких как NMC, приведена в литературе [17]. Это же значение также используется в качестве базовой стоимости для производства НММТ, при условии, что процессы синтеза обоих слоистых оксидов очень похожи. Согласно уравнению (1) и с использованием цен на сырье, указанных в дополнительной информации (SI), для активного материала NMC (более конкретно, NMC333, то есть содержащего стехиометрически эквивалентные доли никеля и марганца) получается цена 23,42 / кг. и кобальт; далее именуемый NMC) и 12,46 / кг для НММТ. Цена NMC, полученная таким способом, находится в пределах значений, опубликованных в литературе (19–28 / кг) [17,21]. Поскольку информация о базовой стоимости фосфатных соединений, таких как LiFeP, не является

общедоступной, уравнение (1) не применимо непосредственно к этому материалу. При расчете с теми же базовыми затратами, что и для слоистых оксидов, тем не менее можно получить цену LiFeP в 13,9, что значительно ниже значений, которые можно найти в литературе [17, 21, 22]. По этой причине цена активного материала LiFeP не рассчитывается явно с помощью уравнения (1), но взято среднее значение из литературы (16,4 / кг) [17,21].

Стоимость других материалов

Помимо электродов и электролита, элемент ЛИА содержит другие компоненты, такие как сепараторы, фольга коллектора, связующие вещества и контейнер элемента. Они обычно не зависят от химического состава ЛИА, и поэтому предполагается, что они не отличаются значительно между литий- и натрий-ионной батареей. Фактически, одним из преимуществ ЛИА является то, что они считаются технологией «вставки», позволяющей использовать те же производственные линии для производства ячеек и имеющей большую долю идентичных частей [10, 15]. Для модели батареи предполагалось, что сепараторы были равномерно изготовлены из полиэтиленовой фольги. Обычной проводящей добавкой для электродов является технический углерод. Для положительного электрода связующее на основе поливинилиденфторида (PVdF; наиболее часто используемое органическое связующее для ЛИА) используется в сочетании с N-метил-2-пирролидоном (NMP) в качестве органического растворителя, тогда как в аноде используется карбоксиметилцеллюлоза в качестве органического связующего на водной основе [15]. Другие типы связующих также часто используются, но для сравнения стоимости, которая фокусируется на различных активных материалах, предполагалось, что они сравниваются между сравниваемыми типами батарей. Цена на оба вида связующего была взята из литературы [17]. По сравнению с исследуемыми литий-ионными элементами (типа NMC и LiFeP), в которых в качестве фольги положительного коллектора используется алюминий, а в качестве пленки отрицательного коллектора - алюминий, алюминий можно использовать для обеих пленок коллектора в СИБ [14]. Трудно было найти данные по стоимости для корпусов ячеек типа 18650, и единственная публикация, в которой содержалась информация по этому вопросу, содержала нереально высокие значения 0,2 для контейнера для ячеек и еще 0,2 для терминалов для ячеек [21]. Таким образом, розничные цены от интернет-поставщиков использовались вместо этого в качестве приблизительного, со средним значением 0,1 на контейнер для ячеек, включая крышку и изоляцию [22]. Обзор предполагаемых затрат на все материалы и компоненты аккумуляторных элементов представлен в таблице 2.

Таблица 2.

**Обзор предполагаемых затрат на все материалы и компоненты
аккумуляторных элементов**

Материалы	Цена \$/кг
Разделитель	1.56
Коллекторная фольга (Алюминиевая)	1.61
Коллекторная фольга (Медная)	4.44
Уплотнитель	3.81
Связующее звено	6.43
Черный уголь	9.46
Растворитель	3.1

Состав и исполнение ячеек 18650. Детальный баланс массы необходим для точного определения количества материалов, необходимых для изготовления одного элемента батареи. В этом отношении существенные отклонения существовали не только между различными научными публикациями, но и между техническими описаниями производителей. Основным источником данных для настоящей оценки послужили технические таблицы, опубликованные Faradion, производителем НИА, который предоставляет информацию о компоновке и электрохимических характеристиках коммерческих ячеек НИА в дополнение к конкурирующей сопоставимой ячейке LiFeP [13]. Ячейка NMC была измерена соответственно на основании литературных данных [22]. Данные о размерах электродов и толщине покрытия позволили детально определить требуемую массу и соответствующий объем активных материалов, фольги коллектора и сепаратора на одну круглую ячейку. Оценка пустотной доли активного материала (пористость) была сделана на основе разницы между плотностью необработанного активного материала и фактической плотностью покрытия в соответствии с таблицами данных [11]. Количество электролита, необходимое для заполнения ячейки, затем рассчитывали по разнице между внутренним объемом банки 18650 и объемом всех компонентов батареи (катода, анода и сепаратора, включая пустоту из-за пористости активного материала). В таблице 3 приведены основные параметры производительности сравниваемых элементов батареи. Считалось, что модель батареи представляет батарею, как указано в базовых спецификациях. Батареи могут быть разработаны для различных целей (высокая мощность / высокая энергия), что влияет на толщину электрода и, следовательно, на баланс материалов. Однако такая детальная модель батареи выходит за рамки настоящего исследования.

Таблица 3.

Параметры производительности на один аккумулятор 18650

	НИА		LiFeP		NCM	
	Катод	Анод	Катод	Анод	Катод	Анод
Удельная емкость А/г	0.15	0.25	0.16	0.31	0.17	0.31
Напряжение В	3.2	3.2	3.3	3.2	3.7	3.7
Актуальная масса г	12.7	8.89	12.33	5.6	13.69	7.1
Емкость Вт/ячейка	6.1		6.32		9.98	
Плотность энергии Вт/кг	138.9		143.2		208.1	

Цена окончательного аккумулятора

Оценка полной стоимости элемента была основана на версии 3.0 BatPaC от Argonne National Laboratories, одного из стандартных инструментов оценки стоимости батареи, который позволяет определять размеры и стоимость модулей батареи электромобиля [17]. Тем не менее, были внесены значительные изменения для адаптации модели к расчету затрат на отдельные элементы независимо от их окончательного применения вместо настройки автомобильных аккумуляторных блоков. Части оценки стоимости производственного предприятия были изменены там, где это было необходимо, и адаптированы к изготовлению 18650 круглых ячеек, в основном на основе данных, предоставленных Ciez и Whitacre [21]. Предполагалось, что пропускная способность завода составит 200 млн. Аккумуляторных элементов в год. Поскольку разные химические составы клеток показали различную емкость хранения, это было эквивалентно 1,2 ГВтч / год для НИА и 1,7 ГВтч / год для NMC (из-за его более высокой плотности энергии). По сравнению с исходной моделью BatPaC (0,8 ГВтч / год) это была значительно более высокая производительность установки с точки зрения производственной мощности хранения (ГВтч / год). Кроме того, поскольку 18 650 круглых ячеек демонстрировали значительно меньшую емкость на одну ячейку, чем призматические ячейки, предполагаемые BatPaC, количество ячеек, производимых ежегодно, было значительно выше, что увеличивало затраты, связанные с заполнением ячейки, герметизацией и циклированием. Поскольку предполагается, что производство осуществляется в Германии, затраты на электроэнергию и рабочую силу были скорректированы соответствующим образом (0,12 / кВтч и 25 / час).

Вывод

В настоящей работе дается углубленная оценка потенциальных цен на натриево-ионные аккумуляторные батареи типа 18650 относительно сопоставимых литий-ионных. Ячейки смоделированы на основе существующих таблиц для коммерческих ячеек, что позволяет детально разбить затраты на компоненты, имеющие индивидуальные требования к компоновке с различными химическими составами ячеек. Для одного элемента батареи элементы натрий-ионного аккумулятора (НИА) демонстрируют преимущества по сравнению с элементами литий-ионного аккумулятора (ЛИА) благодаря более дешевым активным материалам катода и отсутствию меди в анодном коллекторе тока.

Список литературы:

1. Kim H.; Kim H.; Ding Z.; Lee M.H.; Lim K.; Yoon G.; Kang K. Recent Progress in Electrode Materials for Sodium-Ion Batteries. *Adv. Energy Mater.* 2016, 6, 1600943. [CrossRef]
2. Baumann M.; Peters J.F.; Weil M.; Grunwald A. CO2 Footprint and Life-Cycle Costs of Electrochemical Energy Storage for Stationary Grid Applications. *Energy Technol.* 2017, 5, 1071–1083. [CrossRef]
3. Battke B.; Schmidt T.S.; Grosspietsch D.; Hoffmann V.H. A review and probabilistic model of lifecycle costs of stationary batteries in multiple applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 25, 240–250. [CrossRef]
4. CARMEN eV. Marktübersicht Batteriespeicher; Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk: Straubing, Germany, 2017.
5. Weil M.; Peters J.F.; Baumann M.J.; Dura H.; Zimmermann B.M. Elektrochemische Energiespeicher für mobile Anwendungen im Fokus der Systemanalyse. *Tech. Theor. Prax.* 2015, 24, 20–29.
6. Weil M.; Tübke J. Energiespeicher für Energiewende und Elektromobilität. Entwicklungen, Herausforderungen und systemische Analysen. *Tech. Theor. Prax.* 2015, 24, 4–9.
7. Peters J.F.; Weil M. A Critical Assessment of the Resource Depletion Potential of Current and Future Lithium-Ion Batteries. *Resources* 2016, 5, 46. [CrossRef]
8. Vaalma C.; Buchholz D.; Weil M.; Passerini S. A cost and resource analysis of sodium-ion batteries. *Nat. Rev. Mater.* 2018, 3, 18013. [CrossRef]
9. Pan H.; Hu Y.-S.; Chen L. Room-temperature stationary sodium-ion batteries for large-scale electric energy storage. *Energy Environ. Sci.* 2013, 6, 2338–2360. [CrossRef]
10. Palomares V.; Serras P.; Villaluenga I.; Hueso K.B.; Carretero-González, J.; Rojo T. Na-ion batteries, recent advances and present challenges to become low cost energy storage systems. *Energy Environ. Sci.* 2012, 5, 5884–5901. [CrossRef]

11. Barker J.; Heap R.; Roche N.; Tan C.; Sayers R.; Liu Y. Low Cost Na-ion Battery Technology. In Proceedings of the 224th ECS Meeting, San Francisco, CA, USA, 27 October–1 November 2013.
12. BCC Research. Global Market for Sodium-Ion Batteries to Nearly Triple in Value by 2022; BCC Market Research Reports; BCC Research LLC: Wellesley, MA, USA, 18 January 2018.
13. Barker J.; Heap R.; Roche N.; Tan C.; Sayers R.; Liu Y. Low Cost Na-Ion Battery Technology; Faradion Limited: Sheffield, UK, 2014.
14. Hwang J.-Y.; Myung S.-T.; Sun Y.-K. Sodium-ion batteries: Present and future. *Chem. Soc. Rev.* 2017, 46, 3529–3614. [CrossRef]
15. Peters J.; Buchholz D.; Passerini S.; Weil M. Life cycle assessment of sodium-ion batteries. *Energy Environ. Sci.* 2016, 9, 1744–1751. [CrossRef]
16. Daniel C.; Besenhard J.O. Handbook of Battery Materials; John Wiley & Sons: Weinheim, Germany, 2012.
17. Nelson P.A.; Gallagher, K.G.; Bloom, I.; Dees, D.W. Modeling the Performance and Cost of Lithium-Ion Batteries for Electric-Drive Vehicles; Argonne National Laboratories (ANL), Chemical Sciences and Engineering Division: Lemont, IL, USA, 2012.
18. Eurostat. Producer Prices in Industry, Non Domestic Market-Annual Data; Statistical Office of the European Union, European Commission: Brussels, Belgium, 2017.
19. Eurostat. EUR Exchange Rates Versus National Currencies; Statistical Office of the European Union, European Commission: Brussels, Belgium, 2017.
20. Barker J.; Heap, R. Doped nickelate compounds. International Patent Application No. WO2014/009710 A1, 16 January 2014.
21. Ciez R.E.; Whitacre J.F. Comparison between cylindrical and prismatic lithium-ion cell costs using a process based cost model. *J. Power Sources* 2017, 340, 273–281. [CrossRef]
22. Golubkov A.W.; Fuchs D.; Wagner J.; Wiltsche H.; Stangl C.; Fauler G.; Voitic G.; Thaler A.; Hacker V. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC Adv.* 2014, 4, 3633–3642. [CrossRef]

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXXIII международной
научно-практической конференции*

№ 4 (33)
Май 2020 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.05.20. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,625. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru