МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно – Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет «Заочный»
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент
_____
«_____»_____ 2018г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____И.М. Кирпичникова
«_____»_____ 2018 г.

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЭС

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.04.02.2018.558.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель проекта
доктор техн. наук, профессор
_____Ю.И. Хохлов
_____ 2018 г.

Автор проекта
студент группы ПЗ –385
_____И.В.Латочкин
_____ 2018 г.

Нормоконтролер
старший преподаватель
_____ Н.Ю. Аверина
_____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Латочкин И.В. Накопители электрической энергии в системах электроснабжения – Челябинск: ЮУрГУ, факультет ПЗ, 2018, 41 с., 10 ил., 4 табл., библиогр. список 18 – наименований.

Ключевые слова: система электроснабжения, локальная электрическая сеть, накопитель энергии (СПЭНЭ – 1), высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП).

Объект исследования – накопители энергии, электрические сети.

Цель работы – Рассматриваются вопросы разработки методики выбора параметров накопителя энергии для оптимизации системы электроснабжения предприятия по экономическим параметрам. На примере конкретного предприятия ТРК Слон показан экономический эффект применения накопителя энергии в системе электроснабжения.

Особенность выпускной квалификационной работы состоит в разработке принципа выбора накопителя энергии в системах электроснабжения.

Результаты исследования – рассмотрены все типы накопителя энергии и применены к предприятию ТРК Слон

Работа может представлять интерес для проектных организаций, электросетевых компаний, предприятий, планирующих проектирование и реконструкцию

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 5
ВВЕДЕНИЕ 6
1 ТРЕБОВАНИЕ К НАКОПИТЕЛЯМ ЭНЕРГИИ В СЭС 8
Задачи исследования 11
2 НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ 12
2.1 Изучение накопительных возможностей аккумуляторные батареи 12
2.1.1 Свинцово – кислотные батареи 13
2.1.2 Никель – кадмиевые батареи 14
2.1.3 Натрий –серные батареи 16
2.2 Изучение накопительных возможностей суперконденсаторов 16
2.3 Изучение возможностей сверхпроводящий индукционный накопитель энергии (СПИН) 19
2.4 Исследование возможностей гидро – аккумулирующих и пневмо – аккумулирующих накопителей 24
2.5 Исследование возможностей кинетических накопителя энергии 25
Вывод по разделу 2 29
3 ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ 31
3.2 Выбор накопителя энергии 31
3.1 Технико–экономическое обоснование ВСКНЭ 33
Вывод по разделу 3 38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 40

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВКР Выпускная квалификационная работа
СЭС Система электроснабжения
ЛЭП Линия электропередачи
ВЛ Воздушная линия
ГПП Главная понизительная подстанция
ТСН Трансформатор собственных нужд
СПИН Сверхпроводниковый накопитель энергии
ВТСП Высокотемпературная сверхпроводимость
ГАЭС Гидроаккумулирующая электростанция
ИБП Индивидуальный блок питания
СКА Свинцово кислотный аккумулятор
ВСКНЭ Кинетический накопитель энергии
АБП Агрегат бесперебойного питания

ВВЕДЕНИЕ

В наше время период, в Российской федерации увеличился интерес к быстроразвивающемуся во всем обществе научно технологическому инноваторскому направлению по преобразованию электроэнергетики в основе новейшей концепции, получившей и ставшей ранее общепризнанной за рубежом наименование Smart Grid, больше всего читаемое в различных переводах как умная (интеллектуальна) энергосистема (сеть).

Следует рассматривать, то что единого понятие термина Smart Grid сейчас никак не принято. В разных публикациях данное понятие трактуется по – разному, отражая в главную очередность взгляды и позиции основных участвующих и заинтересованных в развитии данного направления сторон в соответствии с их интересами. Таким образом, к примеру, государственные структуры в большинстве стран рассматривают Smart Grid равно как идеологию государственных программ развития электроэнергетики, а производители оборудования, как базу их устойчивого движения вперёд, основанного в инновациях и т.д.

При это реализация новых технических решений, заменяющих применяемые в настоящее время технологии, может вызвать существенные проблемы, обусловленные совместимостью нового и эксплуатируемого оборудования, технологий, и затратами на обслуживание, а также и многое другое, что сейчас трудно и предусмотреть.

Однако основное, что следует выделить — Smart Grid означает инновационное изменение электроэнергетики в полном, а никак не отдельных её многофункциональных и научно –технических сегментов.

Новая теория связана с этим, что прогнозируемое формирование электроэнергетики в обществе характеризуется возникновением единого ряда факторов, вызывающих потребность кардинальных её преобразований. Перечислим многие сих:

1 быстрое формирование технологического процесса, и в главную очередь приборов силовой электроники;

2 возрастающий рост требований потребителей; наметившееся сокращение надежности, в этом числе увеличивающийся рост износа оборудования;

3 произошедшие изменения условий работы электроэнергетического рынка;

4 необходимость повышения требований энергоэффективности, энергосбережения и безопасности, в том числе экологической.

При реализации условий проектов Smart Grid, они могут быть осуществлены посредством формирования как классических, так и формированием новейших многофункциональных свойств и новейших характеристик энергосистемы в целом либо отдельных её компонентов.

В дальнейшем подразумевается в главную очередность развитие последующих характеристик энергосистемы и компонентов: самовосстановление при аварийных возмущениях; формирование условий к активному поведению конечного потребителя, в этом числе расширение рынков мощности; открытый допуск в рынки электроэнергии активного покупателями распределенной гене-

рации; повышение энергобезопастности электрических систем; наличие специальных методов обеспечения устойчивости и их живучести; обеспечение надежности и свойства электричества; стимуляция в формировании и развитии наиболее разных видов электростанций, в главную очередность в возобновляемых источниках энергии, и систем аккумулирования электроэнергии (распределенная генерация).

Для формирования инноваторского научно – технического базиса электроэнергетики возможно отметить несколько главных научно – технических областей, обеспечивающих выполнение поставленных вопросов:

новые технологии и элементы электрической сети, в главную очередность гибкие электропередачи переменного тока (FACTS), постоянный ток, оборудование в основе эффекта сверхпроводимости, полупроводниковая силовая электроника, накопители электрической энергии и др.;

измерительные оборудование и приборы, в том числе, разнообразные датчики состояния режимов энергосистем и оборудования;

усовершенствованные способы управления, содержащие в себе интеллектуальные системы управления и аналитические инструменты с целью помощи в трудовом степени различных объектов энергосистемы, действующие в режиме реального времени, позволяющие реализовать новые методы и технологии управления энергосистемой, в этом количестве управления её активными элементами;

интегрированные коммуникации, позволяющие гарантировать взаимосвязь и взаимодействие друг с другом абсолютно всех компонентов технологической системы Smart Grid.

В России Smart Grid («умная сеть») часто называют активно –адаптивной сетью — это совокупность подключенных к генерирующим источникам и потребителям линий электропередачи, устройств по преобразованию электроэнергии, коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, современных информационно –технологических и управляющих систем, источников генерации, в этом числе использующих возобновляемую энергию. Данный совокупность даёт информацию о текущем состоянии оборудования, образует адаптивную реакцию системы в реальном порядке временив различные возмущения, обеспечивая этим наиболее надежное энергоснабжение потребителей, энергоэффективность и устойчивость функционирования электроэнергетических систем в целом.

В материалах выпускной квалификационной работы будут рассматривается вопрос о применении накопителей электрической энергии в «умной» системе электроснабжение Smart Grid [1].

1 ТРЕБОВАНИЕ К НАКОПИТЕЛЯМ ЭНЕРГИИ В СЭС

Совет по накопителям энергии, сформированный в USA, именует их «шестым измерением» производства и распределения электроэнергии (другие 5 — топливоснабжение, генерирование, передача, распределение электроэнергии и обслуживание потребителей). Накопители энергии подходящим способом объединяют среди собою данные 5 основ энергетики. Тем самым оптимизируется инфраструктура энергетики, в которую вкладываются млрд. Накопители также представляют немаловажную значимость в агрегатах бесперебойного питания (АБП).

В настоящее период применяются следующие основные типы накопителей:

1 Аккумуляторные батареи — широко общераспространенное средство накопления энергии.

Кроме традиционных кислотных все без исключения обширнее используются усовершенствованные аккумуляторы в основе сульфида натрия и никель – кадмиевые, с лучшими характеристиками и огромным сроком службы, чем кислотные. Вводятся особенно компактные ионно – литиевые батареи. Цикл накапливания энергии — суточный.

Родственны по взаимодействиям химических аккумуляторный регенеративные топливные элементы в основе электролитов: бромид цинка, бромид ванадия либо бромид натрия. Распределение электролита в их осуществляется с помощью ионообменных мембран.

2 Сверхпроводниковые накопители (СПИН) запасают энергию в магнитном область индуктивной катушки сверхпроводника, образуемом протеканием постоянного тока. Их основное достоинство — большой КПД преобразования (более 95 %) и возможность выдавать мощность фактически моментально. Сверхпроводящие накопители выдерживают тысячи циклов «заряд –разряд» в отсутствии каких –либо последствий для них.

3 Маховиковые накопители запасают кинетическую энергию при разгоне ротора, для того чтобы затем дать её в нужный период в виде электроэнергии. В качестве разгонного двигателя и средства отбора электроэнергии применяется как правило вертикальный двигатель –генератор. Цикл накопления энергии — минуты.

Высокоскоростные маховики изготовляются с произведенных композитных материалов с невысокой весом и огромный прочностью к центробежным силам. Они наиболее компактны согласно сопоставлению с низкоскоростными, маховик каковых производится из сплава. Минусом кинетических накопителей считается значительная необходимость в уходе, нежели для химических аккумуляторов.

4 Суперконденсаторы — улучшенные конденсаторы, действующие в постоянном напряжении и обладающие весьма высокую плотность заряда вследствие предпочтения конструкции и обработке материала электродов. Емкость подобных конденсаторов способен доходить нескольких фарад.

Компания Eestor (USA) полагает допустимым создать материал для суперконденсаторов с удельной энергией 280 Вт • ч/кг, для литий –ионных батарей

данная величина является только лишь 120 Вт*ч/кг, а для кислотных аккумуляторов — только лишь 32 Вт • ч/кг.

Созданная в институте Arizona технология DESDs (Digitated Energy Storage Devices) с применением нанопор в диэлектрике, позволяет получить в 10 000 раз значительную плотность заряда, нежели в обычных конденсаторах.

Срок службы суперконденсаторов, равно как правило, выше, нежели обычных.

Применяются суперконденсаторы ключевым образом на электротранспорте, равно как накопитель для пусковых токов, разгружающий от их батареи, но имеется возможности применения их и в энергетике.

Накопители обеспечивают:

управление режимами нагрузки — разряд накопителя в период пика нагрузки и зарядка в ночное период (сглаживание дневного и ночного графиков нагрузки);

управление потоками мощности — питание местных нагрузок, если с этим никак не справляется совокупная сеть;

резерв — вероятность быстрого замещения вышедшего с деятельность крупнейшего генератора в энергосистеме;

помощь установкам, использующим возобновляемые источники энергии — сглаживание графика подачи мощности;

повышение возможности передачи электричества — содействие в управлении устойчивостью, регулировке напряжения, частоты и реактивной мощности, увеличивающие устойчивость деятельность электрических сеток сглаживание графика нагрузки в электросетях с значительной частью расчисленных источников электрической энергии;

повышение качества электроэнергии — сохранение стабильности напряжения установкой накопителей, равно как в питающих направлениях, таким образом и напрямую у покупателей, в особенности присутствие стремительно неустойчивом характере нагрузки. Источник мощности для непрерывного электроснабжения;

поддержка работы потребителей с системами частого торможения и запуска, в особенности, в системах рекуперативного торможения.

Накопители энергии дают возможность уменьшить требования к диапазону регулирования электростанций, функционирующих в базовом режиме, увеличить производительность работы ЛЭП, загрузка каковых является в обычном50—65 % их пропускной возможности.

Накопители, равно как запас мощности могут помочь и в случае системных аварий, таким образом к примеру, воздухо – аккумулирующая станция (ВАЭС) Norton в Охайо мощностью 2700 МВт, формируемая несколько лет, имеет целью подсоединение к сети First Energy Corp., в которой отказ ВЛ привел к самой крупной системной аварии в USA и Канаде в августе 2003 г. Согласно мнению профессионалов по накопителям и по передаче электроэнергии ВАЭС Norton имела возможность б прекратить развитие системной аварии.

Важную значимость координации операций единичных производителей и потребителей электроэнергии представляют накопители в распределительных сетях с небольшими генерирующими установками.

Первоочередная цель введения накопителей длительного цикла за рубежом — резервирование ветрокомплексов.

Выбор концепции накапливания энергии находится в зависимости от потребностей сети— сглаживание графика нагрузки потребует длительной выдачи огромный мощности в сеть, предоставление бесперебойного электроснабжения критичных к данному потребителей требует выдачи мощности вплоть до введения резервных аппаратов, демпфирование фликера и под синхронного отклика требуют высочайшего быстродействия и относительно небольшой запасенной энергии.

Соответственно, с целью суточного регулирования экономически более целесообразны в наше время время гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) и ВАЭС, с целью кратковременного регулирования — аккумуляторные и сверхпроводниковые накопители [2].

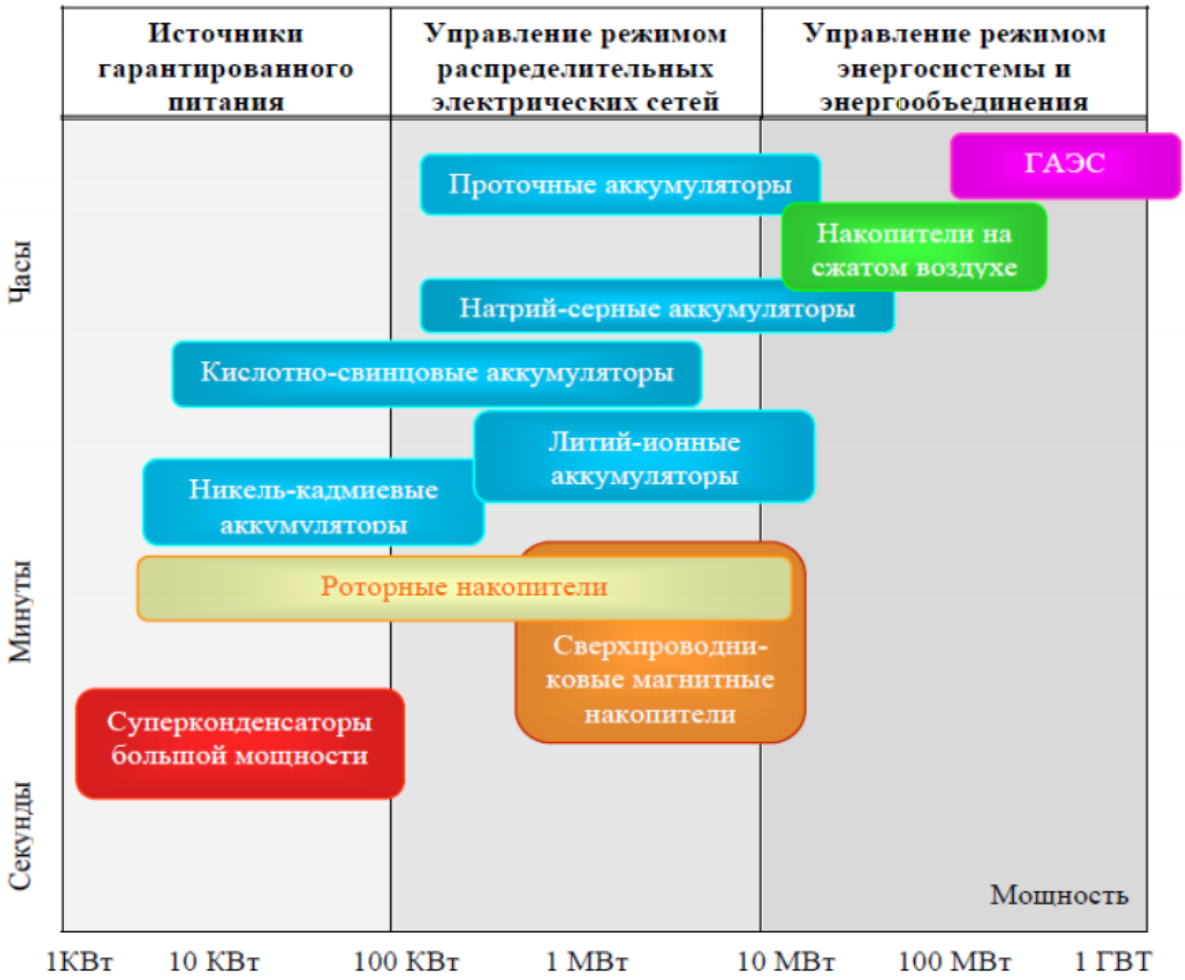

Рисунок 1 – Диаграмма областей применения разных видов накопителей в зависимости от их мощности и времени разряда накопленной энергии

Задачи исследования

В связи с большим разнообразием накопителей энергии возник вопрос о выборе непосредственно накопителя энергии. Разработка методики выбора параметров накопителя энергии для оптимизации системы электроснабжения предприятия по экономическим параметрам является одним из решения большой задачи по построению умной сети Smart Grid. Для решение этой задачи будут рассмотрены каждый накопитель энергии, в частности, с последующей интеграцией на предприятие одного из более перевивных накопителей.

2 НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

2.1 Изучение накопительных возможностей аккумуляторные батареи

В свойстве аккумуляторную батарею в силовые энергетики используются перечень ключей бесперебойного питания ИБП различных типов. В ИБП небольшой мощности она способен быть показана единичным аккумулятором. ИБП средней и большой мощности и системы постоянного тока оборудованы АБ, составленной с разного количества (располагается в связи с модели) аккумуляторов, собранных в последовательные цепочки, которые в свою очередность сумеют вводиться параллельно с целью повышения емкости АБ.

Производители предоставляют несколько стандартных конфигураций комплектования собственных аппаратов в базе 1 –го –2 –ух типов герметичных необслуживаемых батарей.

По систематизации EUROBAT (Организация ведущих европейских производителей аккумуляторных батарей) различают 4группы аккумуляторных батарей, характеризующихся в первую очередь сроком их прогнозируемой службы:

– 10+ years (10+ лет) — группа высокой целостности (High Integrity); применяется в оборудовании, где нужна высокая степень безопасности (телекоммуникационные центры, ядерные электростанции, нефтеперекачивающие сложные комплексы и т.д.);

– 10 years (10 лет) — группа высокого исполнения (High Performance); практически повторяет предшествующую группу, но условия к выполнению и надежности несколько снижены;

– 5 –8 years (5 –8 лет) — группа общего использования (General Purpose); практически повторяет предшествующую группу, но условия к выполнению и надежности менее жесткие;

– 3 –5 years (3 –5лет) — группа обычных торговых использований (Stan – dart Commercial); используется в стационарных установках и в особенности популярна в маленьких ИБП.

Необходимо отметить, в таком случае то что данный срок службы аккумуляторных батарей значительно зависит от условий их эксплуатации и способен значительно отличаться с паспортных данных. К числу наиболее важных условий, оказывающих огромное воздействие в продолжительность эксплуатации батарей, относятся:

– температура окружающей среды;
– количество прошедших циклов заряда –разряда;
– уровень заряженности батареи.
– основные свойства батарей:
– вид батарей (как правило, VRLA);
– рабочее напряжение батареи;
– минимальное напряжение батареи;
– ёмкость батареи (ампер –часы [Ач], вольт на ячейку [В/ячейка]);
– температурные характеристики.

В случае в случае если температура среды понижена вплоть до 20 °С, емкость батареи необходимо увеличить в 4%, если температура возрастает в 10 °С, срок службы аккумуляторов снижается в 2 один раз, невзирая в категорию. Из этого места следует, в таком случае то что наиболее критичные условия к данным находящейся вокруг среды помещения ИБП и систем постоянного тока предъявляет аккумуляторная батарея. С временем емкость батареи опускается. Период, в случае если батарея имеет только 80% начальной емкости, устанавливает окончание срока службы. Отличие в 20% никак не учитывается производителем присутствие указании характеристик батареи, т.е. батареи 1 –го типа могут обладать емкостью, элементом 80% относительно прейскурантных сведений, и наличие этом расцениваться соответствующими [3].

2.1.1 Свинцово – кислотные батареи

Эта химическая концепция изобретена в XIX в., с этих времен претерпела большое число перемен, однако, этим никак не меньше, остается один с наиболее известных видов аккумуляторов по причине собственной дешевизны, популярности, проработанной технологические процессы изготовления. В свинцово –кислотных аккумуляторных батареях (СКА) электролитом считается состав серной кислоты, действующим элементом положительных пластин — диоксид свинца, отрицательных пластин — свинец РЬ. В ходе заряда и ряда аккумулятора в электродах совершаются химические окислительное –восстановительные взаимодействия, а электролит является средой для транспорта ионов между электродами. Забегая в будущем следует выделить, то что каждой химический аккумулятор обладает в собственном составе данные компоненты, исполняющие те же самые функции, изменяются только лишь используемые вещества. Равно как уже рассказывалось выше, СКА довольно обширно известны и все распространены, но, наравне с плюсами владеют и большими минусами — небольшой энергоемкостью (в степени 10—30 Втч/кг), в их применяется токсичный свинец, то что формирует конкретные проблемы присутствие утилизации проработавших ресурс устройств, малый число циклов заряд –разряд и невысокая глубина разряда у многих их видов.

Свинцово –кислотные аккумуляторные батареи применяются в наиболее разных областях, из –за исключения переносных— далее значительным преградой считается их невысокая удельная энергоемкость. В отдельности возможно отметить стартёрные, тяговые и буферные СКА. Первоначальные применяются с целью пуска моторов машин, по этой причине рассчитаны в ряд сравнительно большими токами имеют тонкие электродные пластинки. Их удельная энергоемкость ранее, чем у стационарных аккумуляторов. Стационарные батареи напротив рассчитаны в продолжительный ряд сравнительно небольшими токами, глубина их разряда несколько выше, а массогабаритные свойства похуже. Тяговые батареи захватывают промежуточное положение среди данными 2 – мя видами и предусмотрены с целью применения в цеховом транспорте (электрокары, погрузчики), вплоть до последнего времени кроме того обширно применялись в электротранспорте. Различают СКА закрытого и

открытого вида. В порядке, если напряжённость в составляющем аккумулятора превышает 2,4 В, начинается электрохимическое разделение электролита, то что приводит к выделению водорода. В аккумуляторах прямого вида голубое топливо скидывается в окружающую сферу посредством особые пробки, снабженные клапанами. В подобных аккумуляторах следует осуществлять контроль степень и плотность электролита и время от времени компенсировать утраты воды. По этой причине подобные батареи являются обслуживаемыми. Более распространены батареи прямого вида в неподвижных обстоятельствах, подобных равно как концепции верного питания. Рациональность отступления с обслуживания системы привела к возникновению аккумуляторов замкнутого вида — синтерированными комбинаторами товаров электролиза VRLA. Помимо этого, случился трансформация с водянистого электролита к гелиевому либо адсорбированному в матрице (к примеру, материи в базе стекловолокна). Подобные батареи приобрели вероятность деятельность в каждом состоянии сравнительно горизонтальной поверхности, таким образом равно как электролит прекратил представлять собою независимую жидкую фазу. Разрабатываются и используются новейшие добавки в структура электродов и электролитов, разрешающие повысить допустимую глубину разряда и ресурс. В наше время период легкодоступны аккумуляторы с усовершенствованными ресурсными характеристиками, достигающими 3000 циклов при глубине ряда 50 [4].

2.1.2 Никель – кадмиевые батареи

Никель –кадмиевые батареи кроме того знакомы довольно уже давно. Принцип воздействия основан в формировании гидроокиси кадмия в аноде и гидроксида никеля — в катоде.

Их энергоемкость практически в 2 раза выше, нежели СКА, они работоспособны при низких температурах, присутствие данном допускаемые токи заряда и разряда кроме того значительно выше. Данные плюсы дали возможность никель –кадмиевым аккумулятор найти обширное использование в транспорте, в авиации и стационарных системах. В таком случае ведь время никель – кадмиевым аккумуляторный присущ такого рода минус как эффект памяти — энергоемкость резко опускается при неполном разряде либо заряде, с целью её возобновления необходимы особые алгоритмы заряда. Подобным способом, продолжительное хранение никель –кадмиевых аккумуляторов возможно только лишь в полностью заряженном состоянии. Кроме того, значимым считается в таком случае факт, то что смена полярности аккумулятора приводит к изобильному газ выделению и разрушению аккумулятора. Подобная ситуация возможна приуменьшении напряжения в некоторых элементах, объединенных последовательно в батарею. При данном остальные компоненты принимаются работать в заряд «отстающих», то что и приводит к смене полярности. При длительном сохранении никель –кадмиевых аккумуляторов вероятен рост дендритных кристаллов среди электродов, сопровождаемый механическим повреждением сепаратора и замыканием электродов, то что вводит аккумулятор из строя [5].

Литий –ионные батареи. Правило воздействия этой электрохимической системы основан в интеркаляции ионов лития в различные соединения присутствие различных электрохимических потенциалах. Сам по себе литий считается довольно активным металлом, по этой причине вплоть до окончания 70 –х лет XX в. он применялся только лишь в однократных первичных источниках тока. Изобретение действа реверсируемой интеркаляции лития в углерод, а позже — кобальтит лития позволило сформировать аккумулятор в его основе.

Транспорт ионов лития между электродами исполняется посредством органического электролита, содержащего в себе состав органических растворителей и соли лития.

Применение органических электролитов дает возможность увеличить напряжение в единичном составляющем вплоть до 3—4,5 В по сравнению с 1—1,5 В для кислотных и щелочных систем. При заряде аккумулятора происходит интеркаляция ионов обряд в анодный использованный материал (как правило применяется углеродистый анод). При разряде ионы лития деинтеркалируются и переносятся на катод, а высвободившиеся электроны сформировывают электрический ток во внешней цепи. С целью этого вида аккумуляторов свойственны высокая энергоемкость, глубокие циклы заряда –ряда (70—80 %), недостаток эффекта памяти.

Очевидно, то что системы с высокой энергоемкостью обладают минимальный ресурс и допускают разряд минимальными токами. Использование в качестве анодного материала, нано структурированного титаната лития (LiTiO) дает возможность, в соответствии с увеличить ресурс вплоть до 12 000 циклов, но с уменьшением энергоемкости вплоть до 70—80 Вт • ч/кг.

Несмотря в большие удельные свойства, вплоть до половины 2000 –х лет литий –ионные батареи использовались в основном портативных электрических аппаратах. Применение в свойстве главного катодного материала дорогостоящего и взрывоопасного кобаль – тита лития считалось основным ограничением в количество компонентов в батарее. К этому ведь подобные батареи требовали трудной системы контроля и управления, не допускавшей: чрезмерного разогрева компонентов; значительных значений токов заряда и разряда;

существенной различия напряжений между отдельными элементами батареи.

Нарушение любого из данных условий как правило проводит к взрыву элемента. Очевидно, то что в подобных обстоятельствах о крупных накопителях в базе литий –ионных аккумуляторов не могло быть и речи. Ситуация начала существенно изменяться с возникновением и отработкой новейших катодных материалов — оливин подобных строений (к примеру, дозированного литием фосфата железка) и шпинелей, то что разрешило увеличить безопасность, ресурсные свойства и уменьшить цена батарей в отсутствии значимого снижения энергоемкости. Применение титаната лития в аноде аккумулятора разрешило увеличить тепловой спектр и достигнуть ресурса наиболее 6000 циклов присутствие значительной глубине разряда и значительных значениях токов.

Решение проблем защищенности привело к проникновению литий –ионных аккумуляторов в нишу источников питания для электромобилей. Использова-

ния, сопряженные с электротранспортом, развиваются 2 –мя способами — формирование высокомощных аккумуляторов с целью использования в бортовых энергоустановках электромобилей и высоко ёмких концепций с целью зарядных станций. Вопрос организации деятельность зарядных станций весьма значима равно как с целью промышленности электротранспорта, таким образом и оптимизации деятельность муниципальных сетей [6].

2.1.3 Натрий –серные батареи

Натрий – серные батареи. Включая с окончания 70 –х годов XX в. в USA, Европе, Японии и СССР вели исследования в сфере высокотемпературных натрий –серных аккумуляторов. В определенном семействе этот вид аккумуляторов считается аналогом литий –ионных — в незаряженном состоянии натрий образует с серое химическое соединение (поли сульфид натрия), в заряженном — сера и натрий представлены в варианте чистейших веществ, разъединенных керамической мембраной. Имеется несколько значительных различий — электролит в данной системе керамический, что объясняет высокую рабочую температуру аккумулятора (290—360 °C). Теоретическая энергоемкость этой системы способен доходить 925 Вт • ч/кг, но в действительности достигнуты значительно наименьшие значения — 150 — 100 Вт*ч/кг. Подобные свойства никак не имели возможность не привлечь интереса разработчиков электротранспорта, таким образом, как в таком случае время литий –ионные батареи ещё никак не были достаточно исследованы. Одним из пионеров в этой области была североамериканская фирма Ford Motor Co. Были сформированы и испытаны прототипы автомобилей, но, целый ряд проблем, сопряженных в первую очередь в целом с проблемами безопасности (элементы натрий и сера представляют собою весьма активные элементы) и поддержанием рабочей температуры в протяжение продолжительного периода привели к этому, то что исследования автотранспортных систем пошли по пути смены серного электрода в натрий – никель –хлоридный, то что позволило несколько уменьшить рабочую температуру и уйти от наличия чистой серы в системе. В настоящее период данный проект известен под наименованием ZEBRA. Но в конце 80 –х гг. XX в. интерес к натрий – серным аккумуляторам вновь увеличился — усиленно развивалась возобновляемая, в первую очередь в целом — ветровая электроэнергетика, а доступные в этот период свинцово –кислотные и никель –кадмиевые батареи значительно уступали равно как по удельным характеристикам, так и по ресурсным показателям. По этой причине далее данная ветвь аккумуляторов развивалась исключительно в использовании к традиционной и возобновляемой электроэнергетике. Достигнутые в практике ресурсные свойства демонстрируют значения с 2000 вплоть до 4000 циклов при глубине разряда вплоть до 80—90 % [7].

2.2 Изучение накопительных возможностей суперконденсаторов

Конденсатор является накопителем электрической энергии, полученной из ее источников. Накопленная энергия в конденсаторе хранится в виде статического электромагнитного поля и накопление ее не связано с физическими процессами преобразования других видов энергии в электрическую. Большим преимуществом этого способа является возможность высокого быстродействия протекания процессов заряда –разряда конденсатора. Поэтому использование конденсаторов в качестве накопителей электрической энергии давно привлекало внимание разработчиков электрических систем. Однако запасаемая энергия в конденсаторах зависит от их геометрических размеров и используемых материалов электролитов. Поэтому традиционные виды конденсаторов имеют плохие удельные показатели массы и объема. Наилучшими из них являются электролитические конденсаторы, которые используются в качестве накопителей для регуляторов реактивной мощности типа СТАТКОМ.

Однако созданные в последнее десятилетие молекулярные суперконденсаторы позволяют в сотни раз улучшить удельные показатели некоторых видов конденсаторов за счет использования новых технических решений из области нанотехнологий. Эти конденсаторы выполнены в виде двухслойных конструкций, состоящих из двух электродов, выполненных из материала, содержащего углерод и электропроводящие полимерные пленки. Пространство между электродами заполнено электролитом и разделено пористой мембраной рисунок 2. Диаметр пор мембраны соответствует размерам ионов электролита, вследствие чего они могут проникать от одного электрода к другому. По существу, мембраны позволяют получить эффект микрорасстояния между электродами и существенно повысить емкость конденсатора. В результате в конденсаторе при приложении к электродам напряжения на их границах создается двойной электрический слой, который можно рассматривать как конденсатор с двумя обкладками. Так как расстояние между обкладками очень мало и измеряется ангстремами, емкость образованного двойного слоя велика и энергия, запасенная ими, достигает больших величин. Согласно их удельная емкость составляет более 100 Ф/г. Упрощенная электрическая схема представляет собой два последовательно соединенных конденсатора, через электрически проводящий электролит, каждый из которых соответствует отдельному конденсатору с двойным электрическим слоем на поверхности каждого электрода. В зависимости от вида электролита удельная емкость в этих конденсаторах может изменяться от 40 Ф/г до 175 Ф/г, а напряжение на одном элементе соответствует примерно 1 В для конденсаторов с жидким электролитом, 3—3,5 В с органическими [8].

По удельным характеристикам запасаемой энергии суперконденсаторы существенно уступают аккумуляторным батареям (АБ), а по удельной мощности значительно превосходят их. Иначе говоря, АБ выгодней использовать для длительного питания малыми токами нагрузки, а суперконденсаторы — большими токами в течение короткого времени. По развиваемым разрядным токам суперконденсаторы превосходят практически все известные накопители. По развиваемым разрядным токам суперконденсаторы превосходят практически все известные накопители. Следует также отметить высокие эксплуатационные свой-

ства суперконденсаторов. Они не требуют специального обслуживания, имеют большое число зарядно –разрядных циклов (более 100 000) и высокий КПД.

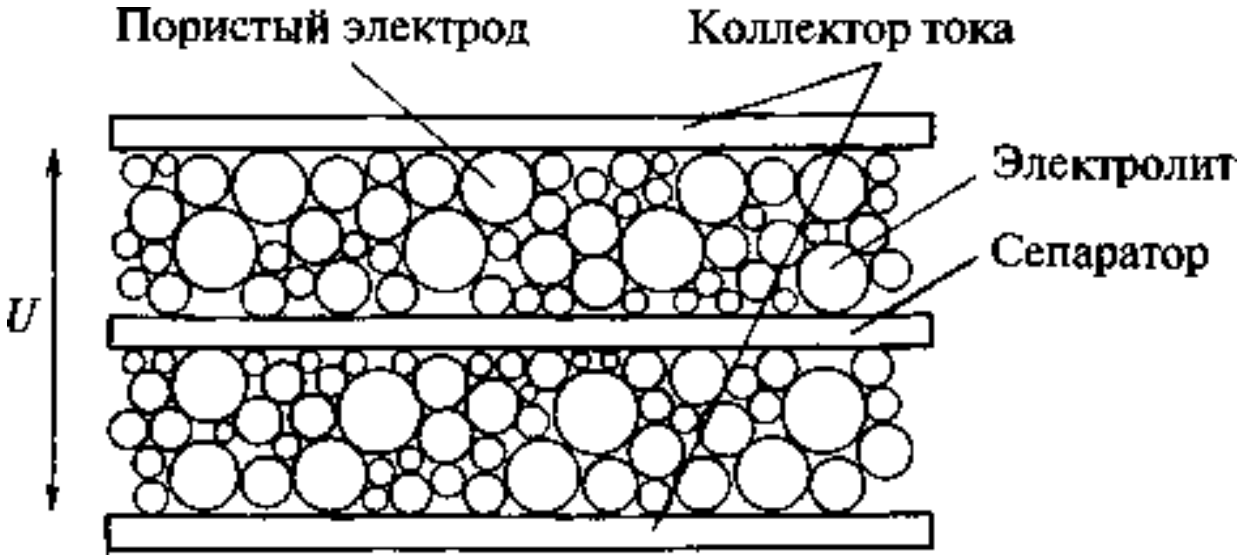

Рисунок 2–Детали конструкции двухслойного суперконденсатора

Двухслойные конденсаторы корпорации Meidensha типа EDLC используются в установке для покрытия провалов напряжения, 70 ячеек по 4,5 Ф 160 В позволяют гасить провалы длительностью 1 с на 6600 В при нагрузке 10 МВ • А.

Исследования университета Marjland показывают, что применяя нанотехнологию, есть возможность запасать в 100 раз большую энергию по сравнению с обычными конденсаторами. Такой конденсатор имеет очень большую поверхность электродов, их материал имеет нанопоры диаметром 50 нм и длиной 30 мкм. Полоска шириной 125 мкм имеет площадь электрода в 250 раз больше, чем у обычного конденсатора таких размеров, емкость полоски — около 100 мкФ/см

Суперконденсаторы могут выдерживать большое число циклов «заряд – разряд» без разрушения, надежны и долговечны, они имеют наивысшую плотность заряда из всех типов конденсаторов и соответственно, самую низкую удельную стоимость на единицу емкости. При одних и тех же габаритах, сравнение обычного типичного электролитического и суперконденсатора одних габаритов следующие: первый имеет емкость 0,1 Ф при напряжении 16 В и накапливает энергию 12,8 Дж, суперконденсатор — 800 Ф на 2,5 В и 2500 Дж.

Первое применение суперконденсаторов — пусковые батареи для двигателей внутреннего сгорания, параллельно включенные аккумуляторы могут при этом выбираться на значительно меньшие токи. Далее они нашли себе применение для компенсации напряжения в слабых транспортных сетях.

Практический пример — на промежуточной подстанции троллейбусной сети в Лозанне. Статический тиристорный компенсатор содержит суперконденсаторы на 21 МДж (5,7 кВт • ч) — 4800 элементов по 2600 Ф/2,5 В. Их масса 2,5 т, объем — 2 м^3.

Изготовляемые в России суперконденсаторы типа ИКЭ, применяемые для пуска двигателей внутреннего сгорания и других целей имеют энергоемкость от 1 до 120 кДж, при плотности энергии от 0,5 до 4,5 Дж/см^2.

К примеру, конденсатор ИКЭ 60/28 имеет следующие параметры: 28 В, 160Ф, максимальный ток 4600 А, масса 38 кг.

Суперконденсаторы относятся к разряду накопителей короткого времени и конкурируют с маховиками и СПИН, однако более компактны и просты: маховики имеют 630 Вт/дм^3 занимаемого пространства, а суперконденсатор — 2000Вт/дм^3.

Все эти свойства делают их весьма привлекательными для использования в энергосистеме, как средство влияния на режим ее работы.

Возможные применения суперконденсаторов в энергосистеме и требуемые при этом их параметры приведены в таблице. 1 [9].

Таблица 1– Функции суперконденсаторов в системах электроснабжения

Функции накопителя	Мощность	Энергия
Демпфирование колебаний мощности в системе (разряд менее 5 с)	100 МВт	500 МДж
Поддержка при перерывах питания до старта резервного дизеля	20—100 МВт	300—1500 МДж
Регулирование частоты в системе (поглощение или выдача энергии)	100—1000 МВт	0,4—40 МДж
Обеспечение качества электроэнергии в составе динамического стабилизатора напряжения DVR	1—5 Вт	10—50 МДж

2.3 Изучение возможностей сверхпроводящий индукционный накопитель энергии (СПИН)

Энергия *E,* запасаемая в электромагнитной катушке, определяется соотношением

$$E = 0,5LI^2,$$

где *I* — ток, протекающий в катушке; *L* — индуктивность катушки.

В соответствии с повышением тока/можно увеличивать запасенную в индуктивной катушке энергию. Ограничением тока считается активное сопротивление катушки, характеризуемое использованным материалом, с которого она сделана, и его геометрическими параметрами — площади сечения и длины. Главной фактором данного ограничения станет выделение тепла, формируемого активными потерями мощности. В таком случае же период эта проблема может быть разрешена за счет снижения сопротивления либо увеличения его проводимости. Подобным образом, понижая температуру окружающей катушку среды, при набирании определённого невысокого уровня температуры возможно получить результат исчезновения электрического сопротивления. Данное событие называется сверхпроводимостью. Оно начинается при различных значениях критических температур в связи с типа металла либо сплавов, с каковых сделана индуктор.

Эффект сверхпроводимости положен в базу формирования электромагнитных систем, холодных намеренно до очень низких температур, именуемых низкотемпературными, формируемых холодящими устройствами, к примеру, с помощью применения жидкого гелия, жидкого азота и др.

Сверхпроводниковые устройства делят в 2 категории: низкотемпературные (НТСП) и высокотемпературные (ВТСП). 1 –ая категория функционирует при температуре 4 К, формируемой жидким гелием, в 2 –ая — при температуре 77 К, формируемой жидким азотом. Главным использованным материалом с целью НТСП считаются сплавы Bd—Ti. Сплавы с целью ВТСП более многообразны и охлаждаются жидким азотом.

Основным ограничением, мешающим получению значительной плотности энергии, считается механическая прочность сверхпроводящей катушки. Так как магнитные поля и токи тут огромны, в таком случае усилия, функционирующие в катушку весьма значительны. Сплавы же, используемые с целью формирования ВТСП хрупкие. настоящее период СПИН смогут являться сформированы в основе НТСП – материалов.

При аварийной потере сверхпроводимости запасенная в накопителе энергия выделится в виде джоуле тепла в месте обмотки, перепрыгнувшем в стандартное положение. Присутствие данном случится трагический подрыв с выбросом жидкого азота и гелия в находящуюся вокруг среду. По этой причине спонтанное освобождение такого рода энергии обязано предупреждаться сложной системой защиты. Большие магнитные поля, появляющиеся около сверхпроводящих обмоток, смогут проявить опасное влияние в живую природу и человека. По этой причине следует формирование буферных зон около местности с функционирующим СПИН, для того чтобы гарантировать защищенность, равно как человека, так и живой природы [10].

Первые СПИН были созданы в начале 80 –х лет XX в. В данное период существовало проблемно осуществить взаимосвязь накопителя с сетью с предоставлением необходимого качества электроэнергии при заряде СПИН с сети и отдаче его энергии в сеть.

Фактором этому было недостаток мощных полностью управляемых полупроводниковых устройств. Изученные в то период промышленностью тиристо-

ры ограничивали возможности статических преобразователей в многофункциональных решениях и предоставление необходимого качества электроэнергии в стороне переменного тока преобразователя, связанного с сетью. Развитие силовой электроники предоставляет возможность на сегодняшний день применять в преобразователях запираемые тиристоры вида IGCT огромный мощности. Это дает возможность осуществить управление потоком энергии СПИН согласно требуемым законам посредством импульсной модуляции тока в высоких частотах. Необходимо отметить, то что многофазный преобразователь функционирует в четырех областях комплексной плоскости характеристик переменного тока. С целью увеличения мощности подобных преобразователей успешно применяется методика многоуровневых преобразователей. Присутствие применении коммутации в высокой частоте делается допустимым увеличить его быстродействие и свойство регулировки выходящих характеристик.

В следствии использования подобного преобразователя с целью взаимосвязи СПИН и трехфазной сети возможно обеспечить следующие функции работы системы:

разряд СПИН (инвертирование);

заряд СПИН (выпрямление);

регулирование активной мощности в двух направленностях с сети к СПИН и наоборот;

компенсацию реактивной мощности в сети и потребителях;

компенсацию временных, глубоких провалов и исчезновения напряжения сети;

активную фильтрацию высших гармоник тока в низкочастотной части его спектра;

обеспечить быстродействующую защиту СПИН.

На рисунке 3 приведены схема преобразователя совместно со СПИН и диаграмма процессов в режимах заряда СПИН, полученные при моделировании системы.

Важным свойством СПИН, подключенного к сети, является его способность обеспечивать динамическую устойчивость системы после больших возмущений, например, возникновения КЗ. До возникновения аварии СПИН может работать в режиме выдачи энергии. После ее возникновения он переводится в режим потребления энергии, создавая дополнительную нагрузку на генераторы электростанции, так как в системе возникает избыток энергии из –за отключенной нагрузки. Как только угловая скорость ротора генератора начинает увеличиваться СПИН отключается или переводится в режим работы с отдачей электроэнергии. Энергоемкость СПИН должна обеспечить три цикла автоматического повторного включения [11].

Основным ограничением, мешающим получению высокой плотности энергии, считается механическая прочность сверхпроводящей катушки. Так как магнитные поля и токи тут огромны, в таком случае старания, функционирующие в катушку весьма значительны. Сплавы ведь, применяемые с целью создания сверхпроводников непрочные.

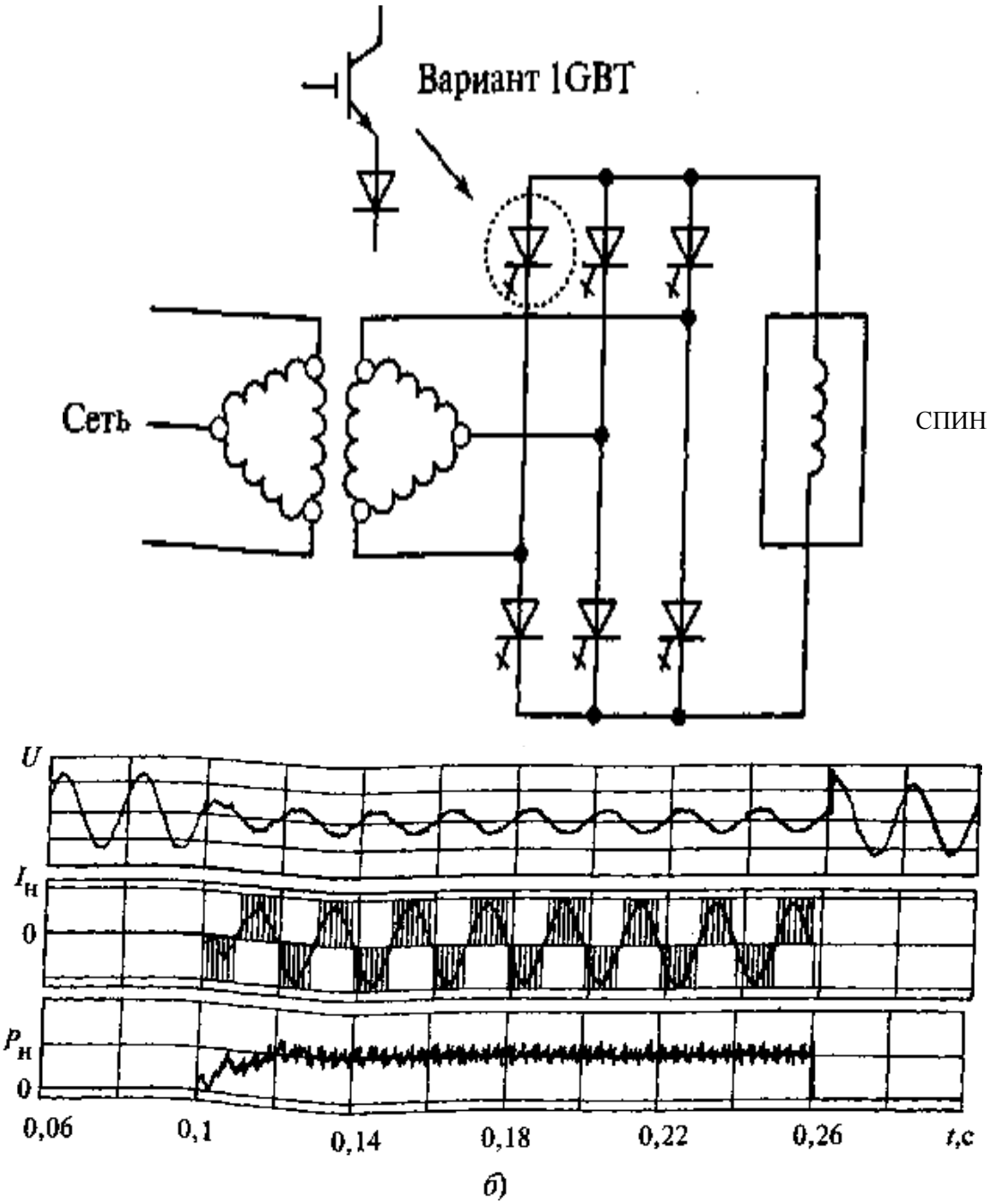

Рисунок 3 – Схема регулятора СПИН (а) и диаграммы его работы в режиме потребления активной мощности

При аварийной потере сверхпроводимости запасенная в накопителе энергия выделится в виде джоулева тепла в месте обмотки, переступившем в стандартное положение. Присутствие данном случится трагический подрыв с выбросом жидкого азота и гелия в окружающую среду. По этой причине самопроизвольное высвобождение такого рода энергии должно предотвращаться сложной системой защиты. Большие магнитные степь, появляющиеся вокруг сверхпроводящих обмоток, смогут проявить опасное влияние в живую природу и человека. По этой причине следует формирование буферных зон вокруг территории с работающим СПИН, для того чтобы обеспечить безопасность, равно как человека, так и живой природы.

Широкому внедрению в энергетику имеющихся планов препятствует весьма высокая цена, обусловленная потребностью многочисленного дополнительного оборудования, мощных опорных систем, дорогостоящих использованных материалов, и сложным процессом изготовления.

Из из – за значительные капиталовложения СПИН в наше время период экономически выгодно использовать только лишь слабые системы (100 – 1000 кВт), обеспечивающие значительную стабильность и качество электричества ответственных потребителей (например, завода по изготовлению микропроцессоров). Период цикла аккумулирования подобных систем является в целом несколько сек.

Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии в отсутствии потерь запасают и дают электрическую энергию с значительной скоростью и при неограниченном количестве циклов «заряд –разряд».

Наиболее популярной с ранних СП –установок с целью регулировки режима в энергосистеме, внедренной в работу в 1985 г. энергокомпанией «BPA» считается накопитель с энергией 30 МДж в тихоокеанской межсистемной связи, рассчитанный с целью демпфирования колебаний из –за под синхронного резонанса.

Сверхпроводниковые индуктивные накопители огромный мощности смогут являться средством управления перетоками активной мощности согласно межсистемным связям энергообъединений. Эксперты ОАО «Институт Энергосеть проект» полагали допустимым использование накопителей 3000—4500 МДж с целью управления перетоками при параллельной работе сетей ЕЭС России и Европы при приемлемых экономических свойствах.

В настоящее период главной производитель сверхпроводниковых накопителей в мире — компания American Superconductor (ASC). Она же изготавливает с 2001 г. преобразователи вида Power Module с целью связи СП –накопителей с сетью в IGBT –транзисторах.

Один с первых СП –накопителей с целью повышения качества электроэнергии установлен в работу в 1995 г. Аккумулятор мощностью 1,4 МВт поддерживает питание при временных перерывах энергоснабжения в заводе кремниевых пластинок (г. Сэйлем, USA).

Первый в Европе СП –накопитель подобного семейства установлен в Австрии в 1999 г. в заводе, изготовляющем дюралевое литье под давлением. СПИН мощностью 2 МВт с накоплением энергии 2,7 МДж определен в ЮАР с целью защиты с временных перерывов напряжения питания бумагоделательных машин в заводах SAPPI.

Корпорация ASC изготавливает накопители с целью повышения качества электроэнергии типа PQ –SMES с 1990 г. Их мощность 3—10 МВт, с поддержкой синхронного введения преобразователей в ЮВТ –транзисторах возможно стыковать согласно несколько катушек, приобретая необходимую мощь. СПИН располагается в 15 –метровом трейлере. Пример общественного использования продукта ASC — система распределенных накопителей энергии D –SMES в северной части электрических сетей 110 кВ энергокомпании Wisconsin HS, максимальная нагрузка каковых является 200 МВт. Определено6 накопителей,

поддерживающих напряжение в сети. Индуктор накопителя —на ниобий – титановом СП –накопителе, охлаждаемая жидким гелием вплоть до 4,2 К, токоотводы — в ВТСП. Мощность, выдаваемая каждым СПИН — 2 МВт, в протяжение 1 с выделяется реактивная мощность 2,8 МВА. Требования к СПИН — сохранение напряжения 90 % в протяжение 0,5 с и 95 % — в протяжение 5 с. Этот ведь итог согласно увеличению надежности питания, в данной сети имел возможность являться достигнут с помощью прокладки дополнительной ВЛ 345 кВ и ВЛ 46 и 110 кВ. В этом случае затраты собрали 15 миллионов долл., а расходы в 6 СПИН собрали только 4 миллионов долл.

Вариант быстродействующего накопителя ASC изобретен с целью регулирования напряжения в сети посредством прибавления реактивной мощности в динамике. Концепция D –VAR применяет силовой преобразователь накопителя D –SMES, однако функционирует только лишь в ответную реакцию реактивной силы с 4 вплоть до 8 Мвар. Концепция мощностью 8 Мвар кратковременно может выдавать 18 Мвар. Оптимальное разрешение трудности прочности электроснабжения предоставляет сочетание накопителей D –VAR и D –SMES. Необходимо выделить, то что обширное использование СПИН связано с возможностью их создания в базе ВТСП [12].

2.4 Исследование возможностей гидро – аккумулирующих и пневмо – аккумулирующих накопителей

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) — наиболее освоенные накопители в виде гидроэлектростанций с насосо –турбинами и двигатель – генераторами. Закачиваемая в верхний резервуар вода с потреблением энергии по низкой цене выдает свою энергию в периоды пика потребления. Цикл накопления энергии — суточное – сезонный.

Основные виды применения ГАЭС — быстрый резерв, срезание пиков нагрузки, и резерв мощности для пуска других электростанций. Типичный КПД 65—80 %, сильно зависящий от выбора места ГАЭС. Современные двигатель – генераторы с регулированием частоты вращения дают возможность регулировать частоту в системе и при работе в насосном режиме. Высокая маневренность агрегатов ГАЭС (переход из одного режима в другой производится за 15 с и менее) позволяет широко использовать их для регулирования и резерва быстрого ввода в энергосистемах.

В зависимости от места ГАЭС, продолжительность выдачи электроэнергии составляет несколько часов. Мощность ГАЭС — от 10 до 1000 МВт, время набора полной мощности — около 90 с.

Во всем мире установленная мощность ГАЭС составляет около 3 % всей мощности электростанций.

На сегодняшний день в России таких станций всего 2: Загорская ГАЭС в Подмосковье и Ставропольская ГАЭС на трассе Большого Ставропольского канала (БСК).

Основным предназначением Загорской ГАЭС является автоматическое регулирование частоты и перетоков мощности, а также покрытие суточных пиковых нагрузок в Московской и Центральной энергосистемах.

Первая очередь Загорской ГАЭС мощностью 1200 МВт была построена в 1980—2003 годах, с 2007 года ведётся строительство второй очереди мощностью 840 МВт.

1 –ая и 2 –ая очередь Загорской ГАЭС способны лишь частично компенсировать дефицит маневренной регулирующей мощности в Центральном регионе России, которая сейчас составляет более 3,0 млн. кВт, в том числе в Москве и Московской области — около 2 млн. кВт.

Воздушно –аккумулирующие установки (ВАЭС) используют ту же концепцию, что и ГАЭС, но носителем запасаемой энергии является воздух. В периоды минимума нагрузки воздух закачивается в подземные резервуары. В период дневного максимума сжатый воздух приводит в действие турбоагрегат. В дополнение к воздушной турбине на валу агрегата может иметься и газовая турбина. Цикл накопления энергии — суточно –недельный.

Примеры ВАЭС — Huntorf в Германии и McIntosh в США. Строится ВАЭС Norton мощностью 2700 МВт в штате Охайо (США). Предполагается, что ВАЭС общей мощностью от 12 до 40 ГВт могут быть созданы в США в ближайшие 5—10 лет. ВАЭС могут быть эффективным средством выравнивания выдачи мощности ветроком – плексов [13].

2.5 Исследование возможностей кинетических накопителя энергии

Маховик — одно из популярных устройств накопления энергии. Он имеет вековую историю накопления энергии во вращающемся диске. Возможность преобразования этой энергии в электрическую получила реализацию в электроэнергию в 70 –х гг. XX в. Маховик представляет собой вращающуюся вокруг оси структуру, в которой накапливается кинетическая энергия посредством электромеханической машины может быть преобразована в электрическую энергию для дальнейшего ее использования. Развитие технологий в машиностроении и энергетике за последние десятилетия сделали его экономически эффективным и надежным способом накопления электрической энергии.

Принцип действия его хорошо известен. В основе его лежит накопление в теле распределенной массы p(x), вращающейся с угловой скоростью w со вокруг оси, энергии W:

$$W = 0,5 \cdot Jw^2,$$

где J— момент инерции, w – угловая скорость.

,

где r — радиус вращения, определяющий расстояние от оси каждой точки распределенной массы p.

Из последней формулы видно, что энергия, накапливаемая маховиком, определяется геометрическими размерами и формой вращающегося тела относительно оси, материалом, из которого оно состоит, и угловой скоростью. Следует также отметить, что окружающая вращающееся тело среда и осевое время играют важную роль в сохранении накопленной в маховых массах энергии. Это в значительной мере влияет на конструкцию маховика и его основные технико – экономические показатели.

Учитывая большую величину накапливаемой в нем энергии, необходимо обеспечивать высокую прочность и безопасность его конструкции. Для этого необходимо использовать высокопрочные материалы и сплавы и обеспечить при изготовлении маховика высокую однородность вращающейся массы. Поскольку всякая неоднородность будет влиять на распределение сил, действующих при вращении. Вращающийся диск должен иметь идеальную симметричность и форму, обеспечивающих максимум запасаемой энергии, с учетом материала диска и допустимых в нем механических напряжений. При этом необходимо учитывать, что при выводе энергии скорость маховика падает. Для его эксплуатации желательно обеспечивать отвод наибольшей части накопленной энергии или, можно сказать, что маховик должен обеспечивать глубокий разряд, накопленной в нем энергии. В рисунке 4 приведен примерный перечень материалов, используемых при изготовлении маховиков [14].

Маховик устанавливается вертикально на специальных опорах, на этой же оси, находится электрический генератор, статорные обмотки которого выводятся наружу для подключения к сети или к другому промежуточному преобразователю статического типа.

Тип маховика	Форма
Постоянное сечение	
Диск с постоянным напряжением	—
Близкое к постоянному сечение	
Диск конического сечения	
Плоский диск без отверстий	
Тонкое кольцо (обод)	
Стержень или округлая щетка	—
Плоский диск с отверстиями	

Рисунок 4 – Формы маховиков

Одно из перспективных направлений связано с созданием высокоскоростных маховиков. Такие накопители работают в вакуумных камерах для ограничения потерь энергии от сопряжения, создаваемого воздухом. Кроме того, в них используются опоры с магнитным подвесом. В результате потери в опоре существенно сокращаются. Используют и ряд других технологических достижений для снижения потерь.

Значительное увеличение количества выводимой энергии стало возможным благодаря достижениям силовой электроники. Трудность решения этой задачи заключалась в уменьшении скорости ротора по мере отдачи энергии и, следовательно, снижение частоты выходного напряжения относительно сетевого. Эффективно ее решить стало возможным с использованием полностью управляемых электронных ключей и применения методов импульсной модуляции токов и напряжений на повышенной частоте. На этом принципе преобразование энергии выполняется преобразователями переменного/постоянного тока, выполненным по структуре, представленной на рисунке 5. В этой структуре оба преобразователя выполнены по одной трехфазной схеме. Преобразователь, получающий питание от накопителя, работает как выпрямитель, а второй, соединенный с сетью, в режиме инвертирования. При использовании схем на основе источников напряжения на стороне постоянного тока включается конденсатор, а на основе инверторов тока индуктивный реактор. Система управления *СУ* преобразователем обеспечивает передачу энергии в сеть на ее рабочей частоте. При этом преобразователь П1, работающий в выпрямительном режиме, поддерживает неизменным напряжение на стороне постоянного тока, а П2 — отдает энергию в сеть. При этом одновременно он может выполнять функции компенсатора реактивной мощности. Качество, отдаваемой электроэнергии поддерживается на высоком уровне посредством управления модуляцией токов или напряжений [15].

В схеме на рисунке 5 используются два преобразователя, рассчитанные на преобразование полной мощности маховика. Это увеличивает потери в полупроводниковых ключах преобразователей.

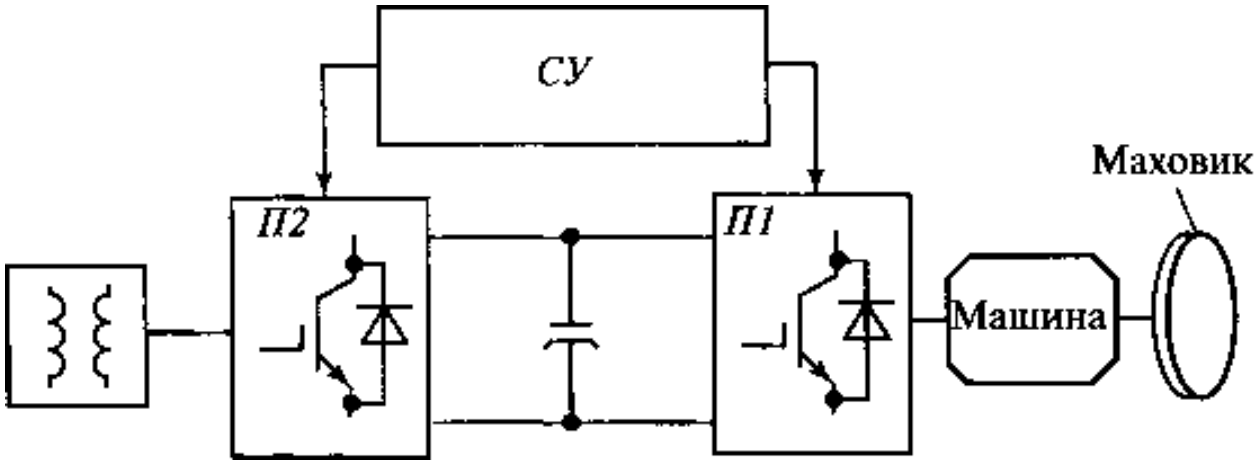

Рисунок 5 – Структурная схема связи маховикового накопителя энергии с сетью

На рисунке 6 приведена диаграмма сравнения маховиков с учетом их мощности и длительности ее выдачи. На этой же диаграмме для сравнения приведены в таких же координатах рациональные области применения аккумуляторных батарей и конденсаторов. Диаграмма показывает, что маховики имеют преимущество в диапазоне мощностей более 80 кВт и временного интервала от 1 до 100 с. В настоящее время разработаны более мощные высокоскоростные маховики на еще более высокие мощности — более 100 МВт.

Больших успехов в этой области достигли США, в частности компания Beacon Power, основанная в 1997 г. Так, например, один из последних проектов этой компании модульного типа содержит 10 маховиковых накопителей с суммарной продолжительной мощностью до 1 МВт и в течение 2 мин до 2 МВт. Время реакции этой системы на уход частоты в контролируемой сети — порядка 5 мс. В планах компании — создание 20 МВт накопителя, выдающего мощность в течение 15 мин.

Для снижения колебаний напряжения и резерва в сети Нью –Йоркской надземки использованы 10 маховиковых накопителей типа FESS мощностью до 100 кВт компании Urenco. Время отдачи при полной мощности — 30 с, потери составляют около 1200 Вт.

Рисунок 6 – Диаграмма сравнения маховиковых накопителей, конденсаторов и аккумуляторных батарей

Следующая разработка компании Urenco — накопители типа KESS, имеют вдвое большую мощность при тех же размерах. Ротор маховика из стеклоуглеродной композиции длиной 900 мм и диаметром 330 мм весит 110 кг. Ротор покрыт магнитным композитом, намагниченным с образованием полюсов двигатель –генератора. Ротор вращается в вакууме, на магнитных подшипниках, с

частотой около 40 тыс. об/мин. Рабочая частота 630 Гц. Накопитель KESS выдает 11 МДж энергии, время отдачи с полной мощностью. Расчетный срок службы — 20 лет или 10 млн циклов разряда. Накопители могут соединяться в группы общей мощностью до 2,4 МВт.

Компания Caterpillar совместно с институтом EPRI разработала серию источников беспрерывного питания на маховиках типа CAT UPS. Мощность установок 250—900 кВт, КПД 97 %. Компания уже реализовала до сотни установок, применяемых в центрах обработки данных, в производстве полупроводников и на других производствах, где перерывы питания недопустимы, вместо аккумуляторных батарей.

Поставщик маховиков компания Active Powers (Техас) предпочитает сравнительно низкую частоту вращения, 7700 об/мин. Ротор маховика — из стали. Потери установки мощностью 480 кВт составляют 3,5 кВт ее КПД выше, чем у аккумуляторных батарей.

Успешным примером применения маховиковой системы как средства воздействия на режим сети является накопительная установка ROTES, разработанная компанией Toshiba. Система представляет собой вертикальный асинхронизированный двигатель –генератор мощностью 26,5МВА с маховиком на валу. Маховой момент системы 710 т· м. Установка ROTES работает с 1996 г. в изолированной энергосистеме Окинава и существенно снижает колебания частоты в системе при работе электропечей (колебания нагрузки порядка 30 МВт при полном потреблении острова 400—1200 МВт). Особенностью установки ROTES является применение для двигатель –генератора асинхронизированной машины, что позволяет регулировать частоту ее вращения и тем самым поглощать или отдавать накопленную при вращении энергию в сеть [16].

Выводы по разделу 2

Рассмотренные ранее типы накопителей и ниши их применения весьма разнообразны. Из чего следует вывод о том, что рекомендовать какую –либо аккумулирующую систему для всех типов энергоустановок на основе ВИЭ невозможно. Тем не менее, можно сформулировать некоторые требования и ограничения, облегчающие проектировщику выбор накопителя для своей системы. Так, например, если речь идет необходимости регулирования энергетических потоков в системе, где их мощность исчисляется десятками и сотнями МВт, нет смысла применять дорогие и маломощные электрохимические накопители, если только речь не идет о распределении их между конечными потребителями мощностью 10 –100 кВт и последующей согласованной работе под единой системой управления. Задача управления крупными энергетическими потоками мощного ветропарка, крупной приливной электростанции или территориального комплекса на основе ВИЭ в масштабах региона может быть решена за счет применения ГАЭС или НЭСВ, а в ряде случаев – водородного цикла с тепловым двигателем. Применение водородного цикла целесообразно в системах, для которых характерна большая энергоемкость при малой мощности и есть ограничения по объему и массе накопителя. В отсутствие последних имеет смысл

применение проточных редокс – накопителей с целью повышения кпд системы и отказа от работы с взрывоопасными газами в сосудах под давлением. В нише малых энергоустановок с ВИЭ пока доминируют СКА, однако постоянное развитие ЛИА в направлении повышения безопасности и снижения цены, как за счет применения новых материалов, так и наращивания объемов производства вкупе с такими «врожденными» недостатками СКА как малая энергоемкость, низкая допустимая глубина разряда и малый ресурс в конечном итоге может привести к частичному вытеснению их ЛИА. Применение суперконденсаторов, маховиков и адиабатических НЭСВ целесообразно в системах с быстропротекающими процессами, причем ранжирование этих трех технологий в порядке убывания мощности следующее: НЭСВ, маховики, суперконденсаторы. Наконец, в сложных системах с различными требованиями могут быть применены гибридные накопители электрической энергии, включающие в себя комбинации различных технологий, объединенные единой системой преобразования и управления.

3 ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ

3.2 Выбор накопителя энергии

Вопросы выбора оптимальных параметров накопителя энергии и оценки результатов его использования недостаточно освещены в литературе. Цель данной работы – разработка методики выбора параметров накопителя энергии, позволяющей с максимальной эффективностью оптимизировать систему энергоснабжения предприятия и оценка, с ее помощью, экономических результатов применения накопителя энергии на примере конкретного предприятия.

В качестве объекта исследования выбрана система энергоснабжения торгового центра (ТЦ) «Слон», находящегося в г. Миассе Челябинской области. Суточный график потребления ТЦ электрической энергии приведен на рисунке 7.

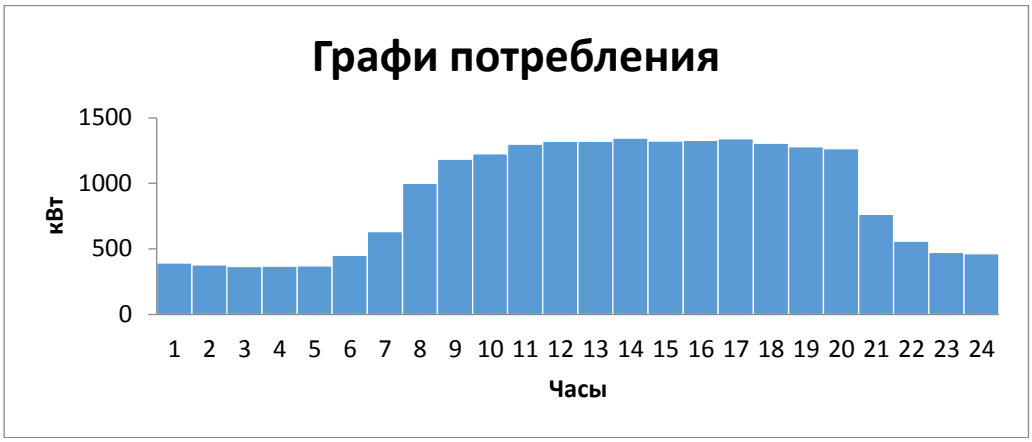

Рисунок 7 – нагрузка на предприятие без ВСКНЭ

Определим неизменную загрузку источника питания системы электроснабжения при переменной части нагрузки в течение суток. Найдём среднее потребление предприятием:

$$P_{ср} = \frac{P_{i\Sigma}}{t}; \qquad (1)$$

$$P_{ср} = \frac{21750}{24} = 906\,КВт.$$

Для определения необходимой энергоемкости накопителя энергии определим разность значений мощностей нагрузок, приведенных на рисунах 8 и 9, в одинаковые моменты времени

$$P_{ВСКНЭ} = P - P_{ср}. \qquad (2)$$

Результаты, характеризующие режимы работы накопителя энергии приведены на рисунке 8.

Рисунок 8 – нагрузка на предприятие с ВСКНЭ

Периоды времени с 0 часов до 7 часов и с 21 часа до 24 часов соответствуют избытку электрической энергии в системе. В эти периоды происходит накопление электрической энергии от источника электрической энергии, а период времени с 8 часов до 20 часов соответствует дефициту электрической энергия, происходит отдача электрической энергии в сеть. Для определения величины накопленной энергии и отданной в сеть энергии необходимо произвести численное интегрирование соответствующих областей на рисунке 9.

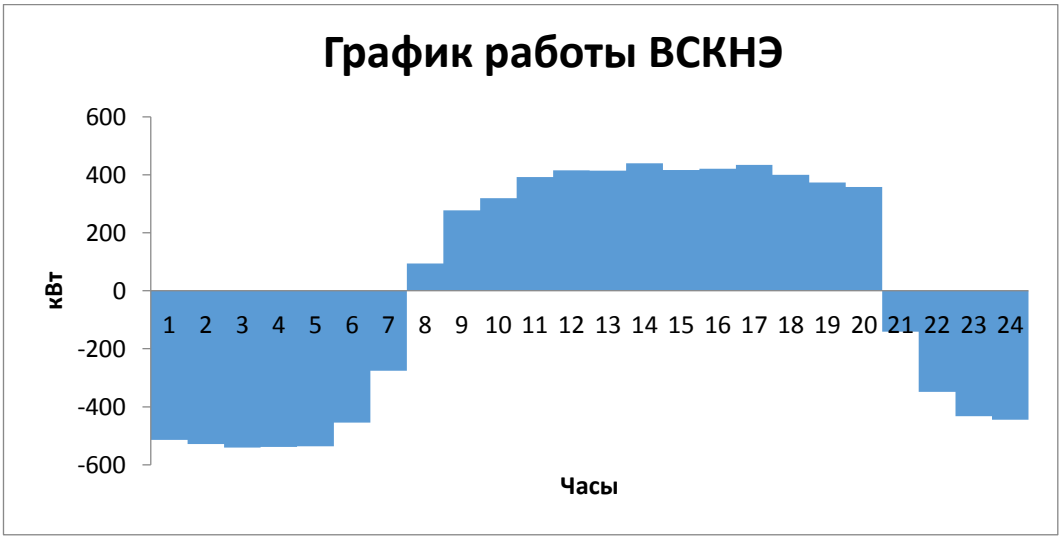

Рисунок 9 – график работы ВСКНЭ

Произведём расчёт необходимой энергии для выравнивания графика нагрузки.

$$P_{ВСКНЭ} = \sum_{P=0}^{P\to\infty} Pi; \quad (3)$$

$$E_{ВСКНЭ} = P_{ВСКНЭ} \cdot 3.6; \quad (4)$$

$$P_{ВСКНЭ} = 4754\,кВт;$$

$$E_{ВСКНЭ} = 4754 \cdot 3.6 = 17115\,МДж.$$

Как следует их формул (4), накопленная энергия практически равна отданной в сеть электрической энергии , поэтому дефицит электрической энергии минимален. Бесперебойную работу системы электроснабжения сможет обеспечить накопитель энергии с энергоемкостью не менее 4755 кВт· ч или 17,11 МДж.

Работу накопителя энергии можно представить следующим образом. В системе электроснабжения, содержащей источник энергии, линию электропередачи, потребитель, процессы генерации, передачи и потребления происходят одновременно, в этом заключается своеобразие электрической энергии. Накопитель энергии может выполнить роль «склада», в который помещается избыточная энергии при снижении ее потребления. При дефиците электрической энергии потребитель забирает со «склада» сохраненную энергии и восполняет ее дефицит. Таким образом, происходит временной разрыв процессов генерации и потребления электрической энергии, что придает системе электроснабжения новые качества и новые возможности. Например, возможность применения сетевых технологий, аналогичных сетевым технологиям в области передачи информации. Накопитель энергии позволяет производить коммерциализацию электрической энергии при неоднородном по времени тарифе на электрическую энергию. Из всего разнообразия положительных результатов применения накопителей энергии рассмотрим вопрос об экономии электроэнергии на примере ТРК «Слон». [16]

3.1 Технико–экономическое обоснование ВСКНЭ

Рассмотрим два варианта в 1–вом без ВСКНЭ во 2–ром с ВСКНЭ. Во всех варианта будут выбрано оборудование трансформатор и кабельная линия. После чего будет произведён расчёт потерь на этих элементах [17].

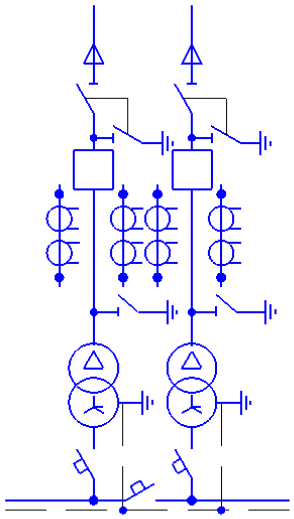

Рисунок 10 – Схема СЭС цеха

Рассчитаем мощность трансформатора по формуле.

$$S_{тр} = \frac{\sqrt{P_{\max} + Q_{\max}}}{2 \cdot k_{над}}; \quad (5)$$

$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot 0.35; \quad (6)$$

$$S_{тр1} = \frac{\sqrt{1346 + 1346 \cdot 0,35}}{2 \cdot 0,8} = 891 кВА;$$

$$S_{тр} = \frac{\sqrt{906 + 906 \cdot 0,35}}{2 \cdot 0,8} = 600 кВА;$$

где 0,35 коэффициент соотношения потребления активной и реактивной мощности, приказ МЭ 23 июня 2015 г. N 380.

Поскольку производство 2рой категории надёжности то $k_{над} = 0,8$

1 Для подстанции без ВСКНЭ выберем трансформатор ТМГ 1000/10

2 Для подстанции с ВСКНЭ выберем трансформатор ТМГ 600/10

1 Технические характеристики ТМГ 1000/10:

Ток холостого хода, 0,5%; Потери холостого хода, 1,37кВт; Напряжение короткого замыкания, 5,5%; Потери короткого замыкания, 10кВт.

2 Технические характеристики ТМГ 630/10:

Ток холостого хода, 0,5%; Потери холостого хода, 1,1 кВт; Напряжение короткого замыкания, 5,5%; Потери короткого замыкания, 8,4кВт.

Коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах будут соответственно:

$$K_{з\ норм} = \frac{\sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}}{N_m \cdot S_{н.т}}; \quad (7)$$

$$K_{з\ п/ав} = \frac{\sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}}{(N_m - 1) \cdot S_{н.т}}; \quad (8)$$

$$K_{з\ норм1} = \frac{\sqrt{1346^2 + (1346 \cdot 0{,}35)^2}}{2 \cdot 1000} = 0{,}71;$$

$$K_{з\ п/ав1} = \frac{\sqrt{1346^2 + (1346 \cdot 0{,}35)^2}}{1 \cdot 1000} = 1{,}42;$$

$$K_{з\ норм2} = \frac{\sqrt{906^2 + (906 \cdot 0{,}35)^2}}{2 \cdot 630} = 0{,}76;$$

$$K_{з\ п/ав2} = \frac{\sqrt{906^2 + (906 \cdot 0{,}35)^2}}{1 \cdot 630} = 1{,}52;$$

Во втором случаем в послеаварийном режиме необходимо будет снять 12% нагрузки или 75,6 кВт.

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_m = N \cdot (\Delta P_{xx} + K_{з.норм}^2 \cdot \Delta P_{кз}); \quad (9)$$

$$\Delta P_{m1} = 2 \cdot (1{,}31 + 0{,}71^2 \cdot 10) = 12{,}8 кВт;$$

$$\Delta P_{m2} = 2 \cdot (1{,}1 + 0{,}76^2 \cdot 8{,}4) = 11{,}03\ кВт;$$

где N – число ТП в цехе;

$K_{з\ норм}$ – коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме;

ΔP_{xx} – потери холостого хода в трансформаторе;

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания.

Потери реактивной мощности в трансформаторах:

$$\Delta Q_m = N \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100\%} \cdot S_{н.т} + K_{з.норм}^2 \cdot \frac{U_{кз}}{100\%} \cdot S_{н.т}\right) \quad (10)$$

$$\Delta Q_{m1} = 2 \cdot \left(\frac{0{,}5}{100\%} \cdot 1000 + 0{,}71^2 \cdot \frac{5{,}5}{100\%} \cdot 1000\right) = 5{,}9 кВар$$

$$\Delta Q_{m2} = 2 \cdot \left(\frac{0{,}5}{100\%} \cdot 630 + 0{,}76^2 \cdot \frac{5{,}5}{100\%} \cdot 630\right) = 46{,}5 кВар$$

где I_{xx} – ток холостого хода;

$U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания;

$S_{н\ т}$ – номинальная мощность трансформатора.

Расчётная мощность с учётом потерь

$$S_{тр} = \sqrt{P_{\max}{}^2 + \Delta P_{пот}{}^2 + Q_{\max}{}^2 + \Delta Q_{пот}{}^2}\ ; \qquad (11)$$

$$S_{тр} = \sqrt{P_{тр}{}^2 + Q_{тр}{}^2}\ ;$$

$$S_{тр1} = \sqrt{1346^2 + 12.8^2 + (1346 \cdot 0.35)^2 + 65.9^2} = 1461.2\ кВА$$

$$S_{тр2} = \sqrt{906^2 + 11{,}03^2 + (906 \cdot 0.35)^2 + 46.5^2} = 986{,}8\ \text{кВА}$$

Выберем кабельную линию

Ток протекающий в проводе рассчитывает по формуле

$$I_{кл} = \frac{S_р}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном}}\ ; \qquad (12)$$

$$I_{кл1} = \frac{1461.2}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 42.2 A;$$

$$I_{кл2} = \frac{986{,}8}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 57 A\ .$$

Сечение проводов в линии находим по экономической плотности тока при $jэ$=1,2:

$$F = \frac{I_{кл}}{1{,}2}\ ; \qquad (13)$$

$$F_1 = \frac{42.2}{1.2} = 35 мм^2;$$

$$F_2 = \frac{57}{1.2} = 23.75 = 25 мм^2\ .$$

Произведём расчёт потерь в кабельной линии

$$\Delta P_л = \frac{P_{тр} \cdot r_0 \cdot l}{n \cdot U_н^2}\ ; \qquad (13)$$

$$\Delta Q_л = \frac{Q_{тр} \cdot x_0 \cdot l}{n \cdot U_н^2};$$

Потери в сетях 6 кВ составят

$$\Delta P = \Delta Pт + \Delta Pл; \qquad (13)$$

$$\Delta Q = \Delta Qт + \Delta Qл$$

Расчётные данный потерь в линии и трансформаторах за сутки по формулам (1–13) сведём в таблицу 2

Приведенные затраты за потреблённую электроэнергию

С 1 июля 2013 года потребители, максимальная мощность энергопринимающих устройств которых составляет не менее 670 кВт, обязаны рассчитываться по почасовым объемам потребления электроэнергии пункт 97 ПП № 442 от 04.05.2012 г.

$$З_{мощ} = P_{ср} \cdot Ц_{расцмощ}; \qquad (17)$$

$$З_{мощ} = 906 \cdot 384 = 341904 \ руб.$$

$Ц_{расцмощ}$ =384 (06.2016) – расценка ПАО Челябэнергосбыт за кВт в часы пиковых нагрузок.

Затраты на потребление электроэнергии.

$$З_{мощ} = Ц_{р.опт} \cdot P; \qquad (18)$$

Расходы за транспортировку электроэнергии возьмём равной расходам за потребленную электроэнергию, для упрощения расчетов, а также пренебрежём сбытовой надбавкой поскольку она крайне мала.

Расчётные данные сведём в таблицу 1.

Затраты во втором варианте меньше чем во втором на:

$$З_{потр} = 21668{,}5 - 19566{,}1 = 2102{,}4 руб; \qquad (19)$$

Экономия за год

$$З_{потр} = 2103{,}15 \cdot 365 = 767376 руб; \qquad (20)$$

Сведём суммарную выгоду в таблицу 2.

Таблица 2 – Потребляемые мощности в СЭС.

Часы	Потребление на низкой стороне тр		Потери тр вариант 1		Потери тр вариант 2		Потери в линии вариант 1		Потери в линии вариант 2		Потребление 1 варинт			Потребление 2 вариант		
	Рпотр кВт	Qпотр Квар	ΔРт1	ΔQт1	ΔРт2	ΔQт2	ΔРл1	ΔQл1	ΔРл2	ΔQл2	P1	Q1	S1	P2	Q1	S2
0 –1	392	137	3	15	11	47	4	2	10	4	399	154	428	927	368	997
1 –2	378	132	3	14	11	47	4	2	10	4	386	149	413	927	368	997
2 –3	366	128	3	14	11	47	4	2	10	4	373	144	400	927	368	997
3 –4	368	129	3	14	11	47	4	2	10	4	375	144	402	927	368	997
4 –5	370	130	3	14	11	47	4	2	10	4	378	146	405	927	368	997
5 –6	452	158	4	16	11	47	5	2	10	4	460	176	493	927	368	997
6 –7	631	221	5	22	11	47	7	3	10	4	642	246	688	927	368	997
7 –8	1000	350	8	41	11	47	11	5	10	4	1019	395	1093	927	368	997
8 –9	1184	414	10	53	11	47	13	5	10	4	1207	473	1296	927	368	997
9 –10	1226	429	11	56	11	47	13	6	10	4	1250	491	1343	927	368	997
10 –11	1298	454	12	62	11	47	14	6	10	4	1324	522	1423	927	368	997
11 –12	1322	463	12	64	11	47	14	6	10	4	1348	533	1449	927	368	997
12 –13	1321	462	12	64	11	47	14	6	10	4	1348	532	1449	927	368	997
13 –14	1346	471	13	66	11	47	14	6	10	4	1373	543	1477	927	368	997
14 –15	1322	463	12	64	11	47	14	6	10	4	1349	533	1450	927	368	997
15 –16	1327	465	13	64	11	47	14	6	10	4	1354	535	1456	927	368	997
16 –17	1340	469	13	65	11	47	14	6	10	4	1367	541	1470	927	368	997
17 –18	1307	457	12	63	11	47	14	6	10	4	1333	526	1433	927	368	997
18 –19	1279	448	12	61	11	47	14	6	10	4	1305	514	1402	927	368	997
19 –20	1264	442	12	59	11	47	13	6	10	4	1289	507	1385	927	368	997
20 –21	765	268	6	28	11	47	8	3	10	4	779	299	834	927	368	997
21 –22	558	195	4	20	11	47	6	2	10	4	568	217	609	927	368	997
22 –23	474	166	4	17	11	47	5	2	10	4	483	185	517	927	368	997
23 –24	462	162	4	17	11	47	5	2	10	4	471	368	597	927	368	997
Итого	21750	7613	196	974	265	1117	232	100	233	101	22179	8874	23913	22242	8831	23931

Таблица 3 – Капитальные затраты

Вариант	Оборуд	Цена	Кабель	Цена за км	Затраты на кВт за 24ч руб	Затраты на кВт за год руб	ИТОГ руб
1	ТМГ1000	493 980	2 ААШП 10 35х3	692000	21 668,50	7 909 002,22	9 094 982
2	ТМГ630	327 725	2 ААШП 10 25х3	244000	19 566,10	7 141 626,95	7 713 352
ИТОГ		166 255		448000	2 102,40	767 375,27	1 381 630

Таблица 4 – Исходные данные по расчету экономии электроэнергии путем применения накопителя энергии

Часы	Потребление электрической энергии ТРК «Слон», Рпот, кВт	Режимы работы накопителя энергии		Баланс		Стоимость	
		Накопленная энергия $E_{НАК}$, кВт	Отданная энергия $E_{ОТД}$, кВт	Цена энергии, руб/кВт	Стоимость энергии у потребителя без накопителя, руб	Стоимость накопленной энергии, руб	Стоимость энергии, отданной накопителем, руб
1	2	3	4	5	6	7	8
0 –1	392	-515		3038	1190189	1564719	
1 –2	378	-528		2976	1126052	1571402	
2 –3	366	-540		2937	1074307	1585996	
3 –4	368	-539		2487	914254	1340687	
4 –5	370	-536		2831	1048415	1517309	
5 –6	452	-455		3008	1358110	1368426	
6 –7	631	-275		3059	1929782	841217	
7 –8	1000		94	3213	3212302		301996
8 –9	1184		277	3395	4018732		940551
9 –10	1226		320	3435	4211724		1099344
10 –11	1298		392	3473	4508223		1361424
11 –12	1322		415	3470	4585613		1440042
12 –13	1321		415	3417	4513730		1418026
13 –14	1346		440	3411	4590961		1500660
14 –15	1322		416	3408	4506496		1417641
15 –16	1327		421	3421	4540745		1440127
16 –17	1340		434	3391	4543300		1471586
17 –18	1307		400	3403	4446998		1361364
18 –19	1279		373	3405	4355523		1270080

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
19 –20	1264		358	3398	4294677		1216488
20 –21	765	-141		3409	2607104	480663	
21 –22	558	-348		3446	1923419	1199208	
22 –23	474	-433		3288	1557385	1423786	
23 –24	462	-444		3151	1455599	1399008	
Итого	21750	4754	4755	77870	72513643	14292422	16239326

Выводы по разделу 3

В частности, представлены исходные данные по объемам потребления и стоимости электрической энергии в зависимости от времени суток для потребителя ТРК «Слон», а также приведены режимы работы накопителя энергии, взятые из графика 3 и формул (4).

Как следует из таблицы, при работе без накопителя энергии стоимость потребленной ТРК «Слон» за сутки электроэнергии составляет 21050294,8 рублей.

Стоимость накопленной энергии за сутки составила 2862885,1 рублей, стоимость отданной накопителем электроэнергии в сеть составила 5013381,8 рублей. Таким образом, экономия электрической энергии равна 5013381,8 руб. – 2862885,1 руб. = 2150496,7 рублей, что составит порядка 10% от стоимости всей потребляемой ТРК «Слон» электроэнергией за сутки. Также выгода второго варианта, приведённого к годовым затратам составило 1 миллион рублей что составляет 10 % от всех капиталовложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены множество накопителей энергии. Каждый накопитель имеет своё применение в СЭС, но не каждый используется. На сегодняшней момент самые распространённые накопители химические литий–ионные, которые уже на сегодняшней момент используются в системе Smart Grid, но с развитием высокотемпературных сверхпроводников в силовые энергетики начнут преобладать кинетические накопители и СПИН из-за своей белее высокой надёжности, мощности и срока службы.

Также были рассмотрены вопросы разработки методики выбора параметров накопителя энергии для оптимизации системы электроснабжения предприятия по экономическим параметрам. На конкретные предприятия ТРК Слон показан экономический эффект применения накопителя энергии в системе электроснабжения что составил порядка 10% от стоимости всей потребляемой ТРК «Слон» электроэнергией за сутки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Кобец, Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Кобец Б. Б., Волкова И. О. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

2 Интеллектуальные сети (SmartGrids) и энергоэффективность/Материалы конференции компании GeneralElectric. Москва. 11 февраля 2010 г.

3 Четошникова Л.М. Процесс управления мощностью в распределенной интеллектуальной сети/Л.М. Четошникова, Н.И. Смоленцев, С.А. Четошников//Электрика. -2011. -№ 7. -С. 6-9.

4 Дасоян, М.А. Современная теория свинцового аккумулятора/ М.А. Дасоян, И.А. Агуф. − Л.: «Энергия», 1975. − 312 с

5 А.Рыкованов, Системы баланса литий-ионных батарей// Силовая электроника, 1(2009), С. 52-55;

6 Попова, С.С. Химические источники тока. Литий - ионные аккумуляторы пленочной конструкции Учебное пособие./ Попова С.С., Денисов А.А., Денисова Г.П. — Саратов, СГТУ, 2009. — 53 с.

7 Кочуров, А.А. Теоретические основы решения проблемы увеличения сроков службы аккумуляторных батарей при хранении и повышения эффективности способов их восстановления: монография / А.А. Кочуров, Н.П. Шевченко, В.Ю. Гумелев; под общ. ред. А.А. Кочурова. – Рязань: РВАИ, 2009. – 249 с.

8 Степаненко В. П. Применение возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов на открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 8. – С. 175–182.

9 Денщиков К. К. Комбинированные энергетические установки на основе суперконденсаторов / Конференция ОВИТ РАН «Результаты фундаментальных исследований в области энергетики и их практическое значение». Москва, 22–26 марта 2008 г. –М., 2008.

10 Методика расчета индуктивности многосекционного тороидального СПИН для тяговой подстанции / А. Л. Быкадоров, Т. А. Заруцкая // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения.- 2003. - № 1. - С. 36-40. Ю

11 Моделирование динамики лайнера в магнитном компрессоре установки МОЛ при питании ускорителя от индуктивного накопителя энергии / Галанин М.П., Крылов М.К., Лотоцкий А.П., Родин А.С. — Саратов, СГТУ, 2005. — 53 с.

12 Лыков С.В. Сверхпроводимость полупроводников – С-Пб.: Наука, 2001. – 104 с. Ли С.Р., Олейников Н.Н. Гудилин Е.А. Проблемы и перспективы развития методов получения ВТСП материалов из расплавов // Неорганические материалы 1993. Т.29.- №1 – С. 3-17

13 Участие ГАЭС с асинхронизированными синхронными генераторами-двигателями в нормированном первичном регулировании частоты / Плотникова Т. В., Сокур П. В., Тузов П. Ю., Шакарян Ю. Г., Кулешов М. А.//Электрические станции, 2015, № 3. С. 36 -41.

14 Грибанов, С.В. Расчет магнитных систем с элементами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов Грибанов С.В., Кулаев Ю.В., Матвеев В.А.//Электричество. 2009. №2. С. 51-57.

15 Патент на полезную модель РФ МПК; H02K7/02, H01F6/00, F16H33/02, F16C32/04 Кинетический накопитель энергии с ВТСП подвесом/Полтавец В.Н., Ковалев Л.К., Ковалев К.Л. и др.//Открытия. Изобретения. 2013. № 30.

16 Смоленцев, Н. И. Накопитель энергии на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) для нетрадиционной энергетики Смоленцев Н. И., Четошникова Л. М. //Электрика. № 5. 2011. С. 38-41.

17 Потребители с максимальной мощностью энергопринимающих устройств от 670 кВт до 10МВт ПАО Челябэнергосбыт http://esbt74.ru/files/jr_litsa/nerc/2016/06/06_energosnab670_10.xls