

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Накопитель механической энергии

УДК 621.355:621.311.61-563

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Керимкулов Арген Туйгунбекович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, зван	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Костюченко Тамара Георгиевна	к.т.н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, зван	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын Владислав Владимирович	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, зван	Подпись	Дата
Доцент ОТД ИШНКБ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, зван	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гормаков Анатолий Николаевич	к.т.н. доцент		

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10); ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11,12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-3,ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4В	Керимкулову Аргену Туйгунбековичу

Тема работы:

Накопитель механической энергии

Утверждена приказом директора (дата, номер)	16.11.2017 №9067/с
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small></p>	<p>Накопитель механической энергии. Необходимое количество энергии $W_{\text{необх}} = 2 \text{ кВт} \cdot \text{сут}$; время разгона маховика $t_p = 2 \text{ ч}$; максимальная скорость вращения маховика $\Omega_{\text{max}} = 16000 \text{ об/мин}$; минимальная скорость вращения маховика $\Omega_{\text{min}} = 5000 \text{ об/мин}$. Ресурс работы – 7 лет.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Аналитический обзор литературных источников, патентов, журналов, статей, сайтов производителей. Конструкция накопителя энергии. 3D модель накопителя механической энергии. Дополнительные разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	3D модель элементов конструкции накопителя энергии, сборочный чертеж накопителя механической энергии, чертеж маховика.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>
--

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Спицын Владислав Владимирович
«Социальная ответственность»	Анищенко Юлия Владимировна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:
Все разделы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Костюченко Тамара Георгиевна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Керимкулов Арген Туйгунбекович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4В	Керимкулову Аргену Туйгунбековичу

Инженерная школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Научно-техническое исследование проводится в лабораторной аудитории №105, 4 корпус, ИШНКБ, ТПУ, отделение электронной инженерии. В работе над проектом задействованы 2 человека: научный руководитель и студент-дипломник
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; Минимальный размер оплаты труда в 2018 году составляет 9750 рублей.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Потенциальные потребители результатов исследования; - Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, и организация закупок</i>	- Структура работ в рамках научного исследования; - Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения научного исследования; - Бюджет научно-технического исследования (НИИ).
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	- Анализ и оценка научно-технического уровня проекта;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График проведения и смета затрат</i>	
2. <i>Диаграмма Ганта</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИИ	Спицын Владислав Владимирович	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Керимкулов Арген Туйгунбекович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4В	Керимкулову Аргену Туйгунбековичу

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является накопитель механической энергии для отдалённых регионов страны.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1.1. Вредные факторы при разработке и эксплуатации: – Повышенный уровень электромагнитных излучений; – Отклонение параметров микроклимата; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; 1.2. Опасные факторы при разработке и эксплуатации: – Электрический ток
2. Экологическая безопасность Анализ влияния используемого оборудования на окружающую среду	Утилизация вредных отходов производства.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможны следующие чрезвычайные ситуации: пожары, ситуации природного характера.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены; использование оборудования и мебели согласно антропометрическим факторам.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОТД ИШНКБ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Керимкулов Арген Туйгунбекович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 82 страницы, 17 рисунков, 14 таблиц, 11 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: накопитель механической энергии, маховик, автономное электроснабжение, программный комплекс T-Flex CAD, отдаленные регионы России.

Объектом исследования является накопитель механической энергии.

Цель работы – разработка накопителя механической энергии в программной среде T-Flex CAD для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в отдаленных регионах Российской Федерации.

В процессе работы проводились расчетно-проектные работы основных и эксплуатационных характеристик накопителя механической энергии, разработки 3D моделей деталей накопителя энергии в программном комплексе T-Flex CAD.

В результате исследования были получены эксплуатационные характеристики накопителя механической энергии.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: необходимое количество энергии 2 кВт·сут; время разгона маховика 2 ч.; максимальная скорость вращения маховика 16000 об/мин; минимальная скорость вращения маховика 5000 об/мин, ресурс работы 7 лет.

Степень внедрения: стадия разработки эскизного проекта.

Область применения: обеспечение автономным электроснабжением частных жилых домов в отдаленных регионах Российской Федерации.

Экономическая эффективность или значимость работы: разрабатываемый накопитель механической энергии является конкурентоспособным (таблица 2.1).

Оглавление

Введение.....	13
1 Накопитель механической энергии.....	15
1.1 Виды накопителей энергии.....	15
1.2 Преимущества накопителя кинетической энергии.....	18
1.3 Применение накопителей механической энергии.....	19
1.4 Варианты конструкций накопителей кинетической энергии.....	21
1.5 Общий вид конструкции.....	25
1.5.1 Типы маховиков.....	25
1.5.2 Системы подвески маховиков.....	27
1.5.3 Корпус и вакуумная система.....	29
1.6 Проектирование накопителя механической энергии.....	31
1.7 Описание конструкции накопителя механической энергии.....	32
1.7.1 Маховик.....	33
1.7.2 Система разгона.....	33
1.7.3 Опоры.....	35
1.7.4 Корпус и кожух конструкции накопителя механической энергии..	35
1.7.5 Транспортировка.....	36
1.8 Выбор и обоснование применения материалов.....	37
1.9 Расчет основных технических и эксплуатационных характеристик накопителя механической энергии.....	38
1.9.1 Расчет параметров маховика.....	38
1.9.2 Расчет критической угловой скорости.....	40
1.9.3 Расчет момента сопротивления.....	42
1.9.4 Расчет потребляемой мощности двигателя.....	44
1.9.5 Расчет основных размеров двигателя.....	44
1.9.6 Расчет ресурса работы накопителя механической энергии.....	45
1.9.7 Расчет массы накопителя механической энергии.....	46
1.9.8 Расчет массовой энергоемкости накопителя механической энергии	46
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	47
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	47
2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	47

2.1.2	Анализ конкурентных технических решений	48
2.2	Планирование научно-исследовательских работ	50
2.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	50
2.2.2	Определение трудоемкости выполняемых работ	51
2.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	52
2.3	Бюджет научно-технического исследования	57
2.3.1	Расчет затрат на сырье и материалы НТИ	57
2.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование.....	58
2.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	58
2.3.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	61
2.3.5	Отчисления на социальные нужды.....	62
2.3.6	Накладные расходы.....	62
2.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	63
2.4	Заключение	64
3	Социальная ответственность.....	65
3.1	Производственная безопасность	65
3.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации накопителя механической энергии	65
3.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	68
3.1.3	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	71
3.2	Экологическая безопасность	72
3.2.1	Анализ влияния накопителя механической энергии на окружающую среду.....	72
3.2.2	Анализ «жизненного цикла» накопителя механической энергии....	72
3.2.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	73
3.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
3.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
3.4.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	74
3.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	76
3.4.3	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны при разработке накопителя механической энергии	77

Заключение	78
Список использованных источников	79
Список публикаций студента.....	80
Приложение А.....	81
Приложение Б.....	82

Введение

Вопросы накопления, хранения и увеличения плотности накапливаемой энергии связаны с самыми передовыми и перспективными направлениями в науке и технике. От их решения зависит успех как ряда областей физических исследований, так и большого числа самых разнообразных инженерных проектов.

Сейчас возобновляемые источники энергии постепенно занимают все более важное место в генерации электроэнергии. Однако их интеграция в электрические сети общего пользования (равно как и автономное использование) сопряжена с рядом трудностей. Наиболее ярко выраженная из них – это значительная степень непостоянства выработки энергии из-за переменчивых погодных условий. Солнце может скрыться за облаками, сильные порывы ветра могут сменяться штилем - все это приводит к непредсказуемым скачкам электроэнергии, ухудшая качество электросети или лишая автономного потребления энергии. Из этого возникает задача — сохранить полученную энергию на какое-то время, чтобы использовать тогда, когда потребность в ней максимальна, а поступление недостаточно.

В настоящее время все чаще возникают проблемы с энергоснабжением удаленных потребителей. Поэтому для удаленных потребителей выгодно иметь источник электроэнергии непосредственно на месте потребления, и одним из вариантов решения этой проблемы является либо использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), либо аккумулирующих устройств, либо и тех, и других вместе.

В настоящее время для аккумуляции энергии все еще широко используются различного типа электрохимические накопители, которым присущи свои недостатки, среди которых можно выделить недолговечность. Поэтому очень важно найти альтернативу таким накопителям, которые отвечали бы определенным требованиям – это долговечность, надежность, габариты. Одним из них может стать механический накопитель на базе

маховика, совмещенный с электрической машиной и генератором. Особенно это актуально для систем автономного электроснабжения, которые позволяют обеспечить потребителей электрическим током там, где это затруднено традиционным способом через электрическую сеть. Это позволит снизить капитальные затраты на установку и сделать установки ВИЭ более доступными.

Таким образом, объектом исследования в данной работе является накопитель механической энергии.

Целью данной работы является разработка накопителя механической энергии в программной среде T-Flex CAD для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в отдаленных регионах Российской Федерации.

Для осуществления цели решается задача расчета основных и эксплуатационных характеристик накопителя энергии, а также проектирования накопителя в программной среде T-Flex CAD.

Результаты, приведенные в ВКР могут быть применены для реализации разработки накопителя механической энергии, который обеспечит электроэнергией потребителей в удаленных регионах страны.

1 Накопитель механической энергии

1.1 Виды накопителей энергии

Существуют следующие виды аккумулирующих систем:

- гидроаккумулирующие станции;
- тепловые аккумуляторы;
- аккумулирование энергии с помощью сжатого воздуха;
- батареи;
- маховики;
- аккумуляторы на сверхпроводниках;
- суперконденсаторы;
- плазмодные аккумуляторы.

- Гидроаккумулирующие станции (ГАС) (рис.1) используются с 1929. ГАС состоит из 2 больших резервуаров, разнесенных по высоте. Для аккумулирования энергии вода закачивается в верхний резервуар. Для выдачи энергии вода сливается в нижний через гидротурбину с генератором [1].



Рисунок 1 - Гидроаккумулирующая станция (ГАС)

Аккумулирование энергии с помощью ГАС:

- Требуется как минимум 100 м подъёма воды (разность высот резервуаров);

- Требуется искусственного водохранилища значительного объема на высоте или подземного водохранилища;
- КПД гидроподъема и выработки электроэнергии относительно низкое.

-Теплоаккумуляторы – устройства, накапливающие тепло, предназначенные для покрытия пиков тепловой нагрузки или для получения других видов энергии. Устройства такого типа эффективны в прямой зависимости от существующей в агрегате и вокруг него разницы температур. Тепловые аккумуляторы уже использовались на спускаемых аппаратах АМС «Венера-9» [1] и других автоматических зондах для охлаждения аппаратуры.

В рамках Инновационного форума Росатома предлагался проект теплового аккумулятора для блока АЭС с ВВЭР-1000. В настоящее время предлагается схема отбора пара турбины на нагрев аккумулирующего вещества в период низкого энергопотребления и производство дополнительного пара на турбину от саккумулированного тепла в период пиковых нагрузок.

-Химические аккумуляторы – устройства для получения электрического тока и напряжения в результате химической реакции, как правило, в группе из однотипных батарей (многоразовых гальванических элементов), соединенных электрически и конструктивно. В настоящее время широко используются в аэрокосмической технике. Попытки улучшения энергомассовых характеристик этого типа аккумуляторов ведут многие электрические, электронные и автомобильные компании мира.

-Маховики и супермаховики [1, 2]:

Маховики в настоящее время используются очень широко. Исследования по использованию для хранения энергии начаты сравнительно недавно. Маховик состоит из махового колеса, которое вращается с очень высокой скоростью и имеет связь с электрическим аппаратом, который может работать как двигатель или как генератор. Основные проблемы в прочности материала колеса, способного выдержать сверхвысокие скорости вращения.

В развитых странах, таких как США, Англия, Германия, Япония, развернуты обширные исследования различных устройств аккумуляции

энергии с использованием маховиков. Однако приоритет в разработках маховичных накопителей и вариаторов принадлежит профессору, доктору технических наук Нурбею Гулиа [1], заведующему кафедрой Московского государственного индустриального университета МГИА (бывший автомобилестроительный ВТУЗ ЗИЛ – МАСИ), которому принадлежат десятки патентов в этой области.

-Сверхпроводящие аккумуляторы [6] – электронакопительные системы, состоящие из бесконечно длинного (замкнутого) проводника с нулевым сопротивлением. Очевидный плюс этой системы – компактность, энергоемкость, способность хранить энергию без потерь на протяжении сколь угодно долгого времени, пока в проводнике будет сохраняться состояние сверхпроводимости. Учитывая, что в настоящее время широко производятся только холодные и теплые сверхпроводники (с хладагентами гелием и азотом соответственно), при длительном использовании такого аккумулятора понадобятся дополнительные расходы энергии на охлаждение сверхпроводников. Наилучшим вариантом было бы создание сверхпроводящего аккумулятора из горячих сверхпроводников, сохраняющих свои свойства при температурах (+100...+200) и выше градусов Цельсия. Работы по созданию таких материалов в настоящее время усиленно ведутся во всем мире.

-Пневматические аккумуляторы [6] - аккумулялирование энергии с помощью сжатого воздуха: использует непииковую энергию для сжатия и хранения воздуха в воздухонепроницаемом подземном резервуаре или пещере. При пиковой нагрузке запасенный воздух выпускается из пещеры и пропускается через турбину с генератором. Пневмоаккумуляторы – устройства, накапливающие газ и отдающие ее в моменты наибольшего расходования с преобразованием в другие виды энергии или без этого преобразования.

-Конденсаторные аккумуляторы [6] – системы, накапливающие электрические заряды, состоящие из двух и более подвижных или неподвижных электродов (обкладок), разделенных диэлектриком (бумагой,

слюдой, воздухом и др.); самые старые из известных электрических аккумуляторов.

Один из несомненных «плюсов» конденсаторов – способность выдать всю или часть запасенной энергии в самые короткие сроки, один из «минусов» – опасность непредвиденного пробоя, который при мгновенном выделении всей запасенной энергии будет сравним со взрывом. В перспективе конденсаторные батареи вполне могут значительно повысить свои энергомассовые характеристики – настолько, что станут вполне конкурентоспособными с любыми применяющимися аккумуляторами или даже превзойти их. Все зависит от того, сумеют ли современные ученые значительно повысить емкость конденсаторов за счет применения новых технологий, материалов и конструкций.

Суперконденсаторы [6] находятся на самой ранней стадии развития в качестве технологии хранения энергии. Электрохимический конденсатор состоит из двух противоположно заряженных электродов, сепаратора, электролита и сборки. В настоящее время только маленькие суперконденсаторы в диапазоне семи – десяти ватт широко доступны для домашних электрических устройств. Развитие конденсаторов большего масштаба было сосредоточено на электрических транспортных средствах.

- Плазмоаккумуляторы [6] для хранения большого количества энергии используют, свойства и способность плазмы создавать долгоживущие сгустки энергии в виде шаровой молнии.

1.2 Преимущества накопителя кинетической энергии

Наиболее характерной чертой маховичных накопителей энергии является их высокая удельная мощность. Эти устройства могут накапливать и отдавать энергию с очень большой скоростью; развиваемая ими мощность ограничивается лишь характеристиками передачи и предельным крутящим моментом, который выдерживает сам маховик.

Эта особенность маховичных накопителей наиболее полно используется в устройствах, предназначенных для получения кратковременных импульсов большой мощности, в частности в экспериментальных установках для осуществления ядерного синтеза. По аналогии с применявшимися ранее для этой цели электрическими конденсаторами, маховичные накопители энергии часто называют «механическими конденсаторами». Для превращения импульсов механической энергии в электрические применяют генераторы, которые при работе в течение коротких периодов времени могут выдерживать очень большие перегрузки.

Практически полное отсутствие какого бы то ни было загрязнения окружающей среды — химического, термического и, при правильном монтаже системы, акустического — является еще одним достоинством маховичных накопителей энергии. Однако при сравнении маховичных накопителей с аккумуляторами энергии других типов следует принимать во внимание возможность загрязнения, связанную не только с эксплуатацией накопителя, но и с его конструктивными особенностями. Так, при использовании маховика из армированных пластиков возможно выделение вредных для здоровья веществ в процессе его изготовления или при разрушении в результате аварии.

Накопители энергии на базе маховиков обладают рядом существенных преимуществ перед другими видами аккумуляторов: они достаточно компактны, могут работать в широком диапазоне температур, чрезвычайно надежны и не требуют ремонта в течение 15-20-летнего срока эксплуатации, имеют более высокий КПД.

1.3 Применение накопителей механической энергии

Следует различать области применения, в которых маховик служит только для поддержания постоянной угловой скорости какого-либо устройства, и области, где он используется в качестве накопителя энергии, хотя граница между ними не всегда четко выражена.

В настоящее время есть потребность в накопителях механической энергии в ряде областей деятельности человека: энергетика, космонавтика, автомобилестроение, медицина, коммунальное хозяйство. В связи с разработкой новых материалов появилась возможность технической реализации таких накопителей высокой энергоемкости.

Аккумуляторы энергии на базе маховиков могут быть использованы для:

- аварийного электропитания систем безопасности АЭС и других промышленных объектов, требующих надежного резервирования электропитания;

- покрытия пиковых нагрузок электросетей, участия в общем первичном регулировании частоты сети;

- источника электропитания электромобилей;

- источника электропитания электропоездов;

- источника электропитания водных судов и других транспортных средств;

- источников бесперебойного электропитания в быту и промышленности.

На практике маховики как аккумуляторы уже неоднократно применялись.

В 1860 году российский изобретатель, инженер-поручик З.Шуберский опубликовал идею использования мощных маховиков на железнодорожном транспорте, новый вид транспорта назвали «маховозом».

В 1918 году изобретатель-самоучка А.Г.Уфимцев получил патент на идею маховикового аккумулятора, в 1920-х годах предложил использовать инерционные аккумуляторы для приведения в движение трамваев в г.Курске, но проект не был воплощен в жизнь. По неподтвержденным данным, маховик Уфимцева, возможно, испытывали на Кольском полуострове.

Американский ученый, изобретатель Дэвид Рабенхорст сумел даже построить и испытать 2-местный махомобиль. В 1990-х годах западные автомобилестроительные фирмы испытали, по крайней мере, еще одну модель, но на серийный выпуск никто не решился.

Так или иначе, если не считать создания нескольких экспериментальных моделей маховичных автомобилей, работа по созданию и испытанию супермаховиков в мире, а тем более в России, практически не ведется, хотя это направление и обещает большие открывающиеся перед конструкторами перспективы.

1.4 Варианты конструкций накопителей кинетической энергии

Вариант конструкции накопителя кинетической энергии определяется многими факторами. Одним из критериев является область его применения.

Все современные накопители энергии состоят из собственно маховика, корпуса (который обеспечивает определенный уровень разрежения и защиту от осколков в случае разрушения маховика), систем подвески и уплотнения и, как правило, систем вакуумирования и управления. .

Аккумуляторы энергии, пригодные для установки на транспортных средствах, крайне необходимы. Большинство транспортных средств используется для внутригородских перевозок.

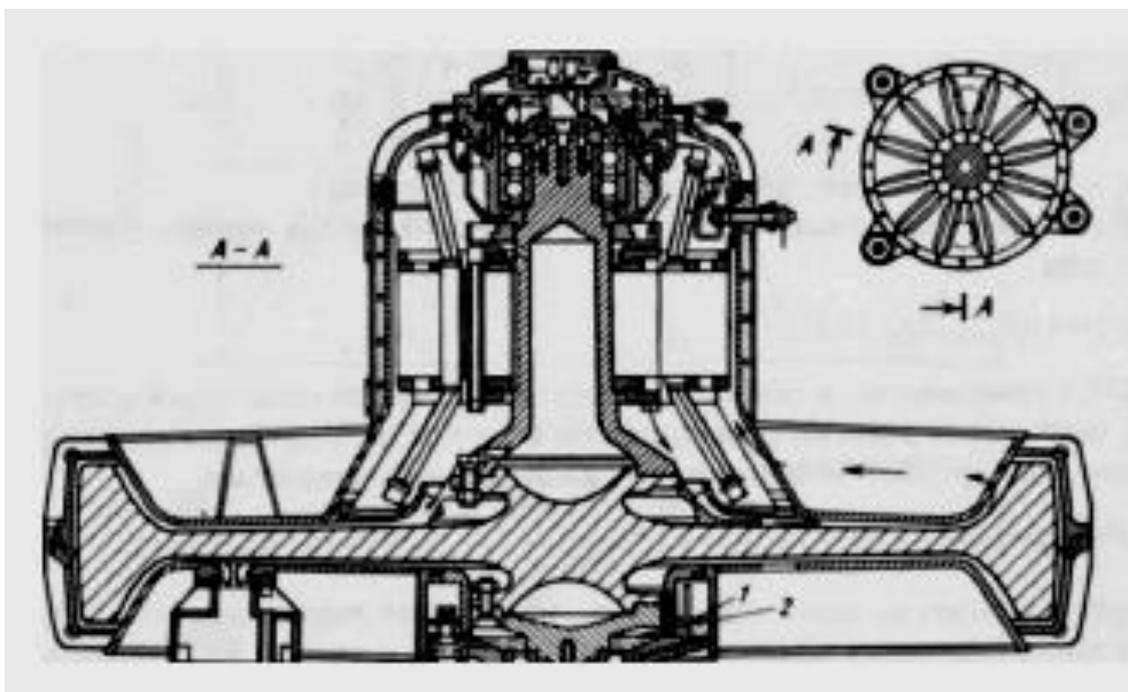


Рисунок 2 - Накопитель механической энергии гиробуса фирмы «Эрликон»

На рисунке 2 представлен вариант использования только маховичной системы в качестве привода автобуса с маховичным приводом (гиробуса) фирмы «Эрликон» [2].

Данный вид конструкции не имел широкого применения, т.к. при расчете емкости в этом случае надо ориентироваться на количество энергии, необходимое для поездки по всей линии от начала до конца с учётом периодов маневрирования на протяжении всего цикла движения. Это требование не было учтено при разработке, что привело к недостаточной длине пробега.

Еще одной интересной областью применения накопителей кинетической энергии в дорожных транспортных средствах являются системы запуска двигателей (рис. 3). Количество горючего, расходуемого городским транспортом в периоды торможения и остановок, довольно велико. Отключение двигателя на эти периоды может дать значительную экономию. Для запуска двигателя после остановок можно использовать маховик, который разгоняется этим же двигателем во время поездки и свободно вращается после остановки двигателя.

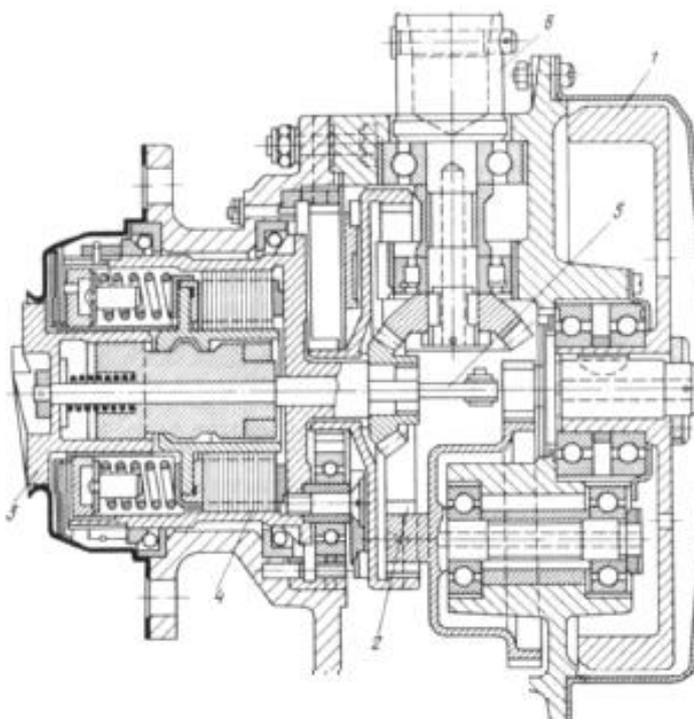


Рисунок 3 - Маховичная система запуска двигателя
1 — маховик; 2 — зубчатая передача; 3 — вал двигателя;
4 — предохранительная фрикционная муфта сцепления;
5 — шпоночная муфта сцепления; 6 — вал передачи

Для соединения маховика с двигателем пригодна обычная муфта сцепления. Первоначальный разгон маховика и поддержание его скорости на необходимом уровне можно осуществлять обычным электрическим стартером. В настоящее время начато производство ряда устройств такого рода, обеспечивающих, по имеющимся данным, экономию более 10% горючего.

Кроме городских транспортных средств, конструкции накопителя кинетической энергии применяются на транспортных средствах, двигатели которых должны развивать большую мощность в короткие промежутки времени (рис. 4). К таким транспортным средствам относятся, например, вездеходы и самодвижущиеся механизмы для подъемных и земляных работ.

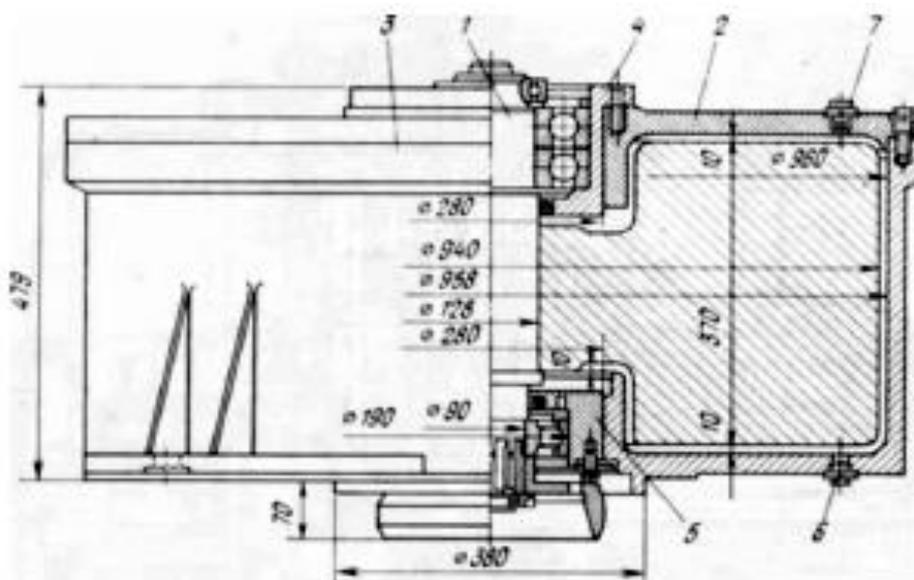


Рисунок 4 - Маховик гирилокомотива

1 — вал; 2 — крышка корпуса; 3 — корпус; 4 — верхний подшипник вала;
5 — нижний подшипник вала; 7 — пробки

Электромеханический накопитель энергии ЭМНЭ-500 предназначен для рекуперации энергии торможения электропоезда метрополитена. При торможении ЭМНЭ накапливает энергию, при трогании отдает. Кроме того, ЭМНЭ выравнивает напряжение в электросетях метрополитена.

Преимущества электромеханических накопителей заключаются в высокой экологичности и долговечности (более 20 лет), простоте технического обслуживания, в самой высокой удельной мощности из всех типов аккумуляторов энергии.

На рисунке 5 представлена конструкция накопителя, предложенная к применению в Московском и Минском метрополитенах [6].

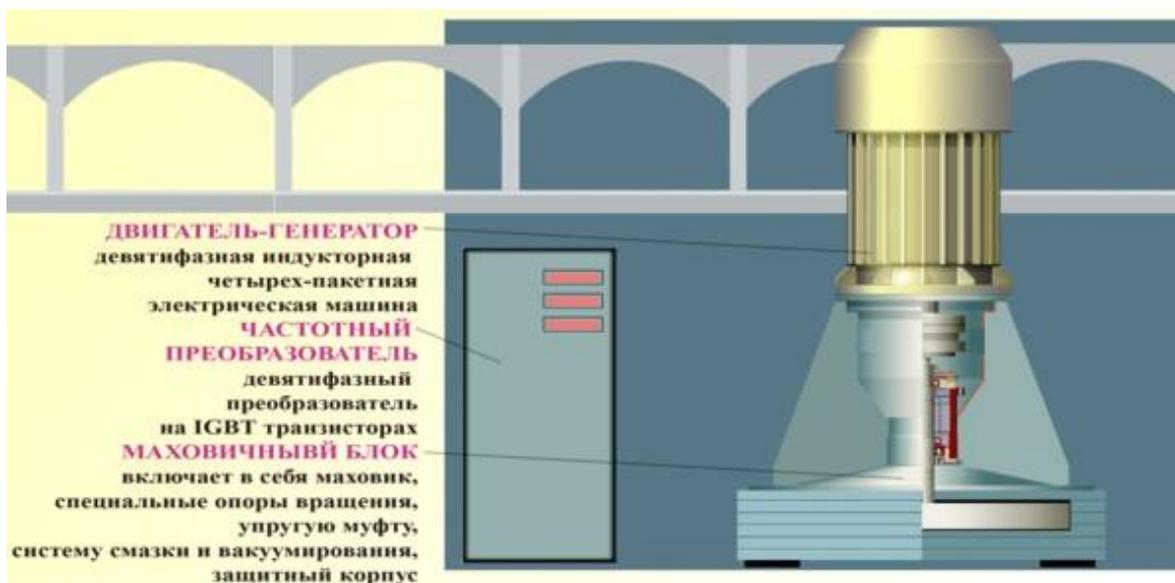


Рисунок 5 - Электромеханический накопитель энергии ЭМНЭ-500

Американская компания Beacon Power, основанная в 1997 году, создала целую линейку тяжелых стационарных маховиков, предназначенных для включения в промышленные энергосети.

Расчетный срок службы этой конструкции – 20 лет, диапазон рабочих температур – от минус 40 до плюс 50 по Цельсию. Заявленная устойчивость системы к землетрясениям – 40 секунд без повреждений при силе толчков до 7,6 по шкале Рихтера.

Beacon Power сообщает, что потеря энергии, закачанной и позднее забранной из этих накопителей, составляет 2%, что заметно лучше, чем у систем хранения энергии, основанных на иных принципах (химические аккумуляторы, гидроаккумулирующие станции). Аккумуляторы предназначены для работы в качестве буфера, компенсирующего резкие пики и спады потребления в течение суток. В США, например, уже действует многомиллионный рынок регулирования частоты тока в сети. Специализированные компании предлагают генерирующим компаниям услуги по регулированию частоты в сети.

1.5 Общий вид конструкции

Конструкция накопителя механической энергии должна состоять из следующих частей:

- маховика;
- опор (подшипников);
- системы разгона (двигателя-генератора или отдельно двигателя и генератора);
- вакуумированного кожуха;
- системы поддержания вакуума (насос).

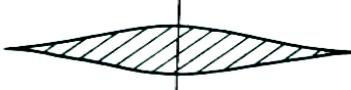
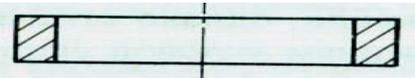
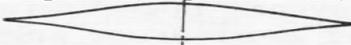
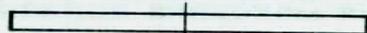
1.5.1 Типы маховиков

Множество маховиков различных типов уже применяется в инженерной практике; оцениваются возможности и многочисленных новых конструкций.

За исключением давно известных изотропных монолитных роторов, большинство новых конструкций основано на технологиях, находящихся в стадии разработки, и поэтому для выбора наилучшего варианта должны быть тщательно изучены различные сочетания материала и формы маховика, даже если потенциальные возможности некоторых из них кажутся на первый взгляд ограниченными.

Маховик нельзя проектировать, не принимая во внимание особенностей всей системы накопления энергии в целом, поскольку разные ее части весьма существенно влияют друг на друга. Важными параметрами оценки маховичных систем являются массовая энергоемкость и связанный с нею коэффициент формы K . В таблице 1 приведены значения коэффициентов формы K для различных конструкций маховика [2].

Таблица 1 - Коэффициенты формы К для некоторых видов дисковых, ободковых и стержневых конструкций маховиков

Тип		К
1	Равнонапряжённый диск(теоретический) 	1
2	Равнонапряжённый диск(реальный) 	0,7-0,98
3	Конический диск 	0,7-0,95
4	Диск постоянной толщины 	0,608
5	Тонкий обод 	0,5
6	Равнонапряжённый стержень(теоретический) 	0,5
7	Диск с ободом 	0,4-0,5
8	Цилиндрический стержень 	0,333
9	Диск постоянной толщины с отверстием 	0,303

Еще одним критерием, по которому нужно выбирать тип маховика, является угловая скорость вращения.

Если угловая скорость вращения маховика должна быть низкой, то ротор должен иметь максимально возможный радиус. В этом случае наилучшим конструктивным решением может оказаться массивный обод из материала с высокой плотностью, соединенный с валом спицами или тонким диском. Если же ограничений на угловую скорость нет, то максимальную массовую энергоёмкость можно обеспечить с помощью небольшого

профилированного равно-напряженного диска из легкого высокопрочного материала.

С другой стороны, поскольку распределение напряжения от центробежных сил обычно пропорционально квадрату окружной скорости, любое увеличение угловой скорости при постоянных значениях окружной скорости на наружном радиусе и, следовательно, величины максимальных напряжений приводит к увеличению поля центробежных сил, что само по себе вызывает ряд осложнений.

На выбор угловой скорости, кроме того, оказывают влияние применяемая система подшипников и соображения динамики системы, что дополнительно усложняет задачу.

1.5.2 Системы подвески маховиков

Подшипники маховичных систем зачастую испытывают высокие нагрузки — как статические, обусловленные весом ротора и (иногда) воздействием элементов передачи, так и динамические. Проектирование подвески маховика нередко осложняется сочетанием высоких нагрузок со значительными угловыми скоростями. Дополнительные трудности связаны с необходимостью свести к минимуму тормозной момент подшипников. Для преодоления этих трудностей предложено много путей — как традиционных, основанных на сочетании известных технических решений, так и нетрадиционных, использующих новые и необычные приемы. Выбор системы подвески маховика в значительной степени определяется и типом используемой передачи. В большинстве случаев применяют подшипники качения, реже — гидростатические и гидродинамические. Магнитные подвески, применяемые уже в ряде специальных устройств, могут оказаться весьма перспективными и существенно улучшить в будущем характеристики маховичных систем. Вполне возможны и устройства, сочетающие в себе разные типы подвесок. В качестве примера можно привести разработанную систему, в

которой вес маховика, установленного на вертикальной оси, воспринимается пассивной магнитной подвеской, а радиальные перемещения оси ограничиваются шариковыми подшипниками. Малые осевые нагрузки в этом случае позволяют применить облегченные упорные шарикоподшипники с низким сопротивлением вращению

Динамические нагрузки могут быть вызваны либо самим маховиком, либо перемещениями корпуса, в котором маховик установлен.

Динамические нагрузки от перемещений корпуса определяются условиями работы. В стационарных устройствах такие нагрузки создает только очень малый гироскопический момент, связанный с вращением Земли.

При проектировании стационарных маховичных систем сейсмические нагрузки учитываются так же, как и при проектировании зданий. Гироскопические моменты, действующие на маховик, установленный на транспортном средстве, не учитываются. Расчет динамических нагрузок, возникающих при линейных ускорениях транспортного средства, труда не представляет.

В большинстве случаев подшипники передачи следует устанавливать в вакуумной камере. При работе подшипников в вакууме, по крайней мере при средних разрежениях, особых проблем не возникает, поскольку для смазки можно применять масла или консистентные смазки. Давление паров большинства смазок достаточно мало, и только в отдельных случаях может возникнуть необходимость в применении специальных вакуумных смазок. Следует, однако, иметь в виду, что очень высокие окружные скорости подшипников могут усугубить проблемы, возникающие при работе в условиях вакуума. Поскольку в этом случае смазка «масляным туманом» становится невозможной, тепловыделение в отсутствие такой охлаждающей среды, как воздух, вызывает определенные трудности. Если использовать смазочное масло, то охлаждать его нужно вне подшипника, герметизируя всю систему охлаждения, иначе воздух, растворенный в масле, может попасть внутрь вакуумированного корпуса. Следует также иметь в виду, что с повышением температуры возрастает и давление паров смазочных материалов.

Подшипники на воздушной подушке не применимы для работы в условии вакуума. В вакуумных гидростатических подшипниках для смазки следует использовать масло. Момент сопротивления вращению (тормозной момент) масел, по сравнению с другими жидкостями, более высок; стоимость гидростатической подвески также довольно значительна.

Простейшее конструктивное решение подвески маховика основывается на использовании подшипников качения. В большинстве случаев для высокооборотных систем применяются радиально-упорные шарикоподшипники с предварительным осевым натягом. Однако для маховичных накопителей энергии все же наиболее перспективна, по-видимому, магнитная подвеска.

1.5.3 Корпус и вакуумная система

Конструкция корпуса накопителя кинетической энергии должна обеспечивать стабильное разрежение объема, в котором вращается маховик, защищать обслуживающий персонал от соприкосновения с маховиком при работе и от осколков в случае его разрушения. Современные малоэнергоемкие маховики типа используемых на прессах зачастую и сейчас, подобно первым маховикам, применяются в установках открытого типа. Если напряжения в роторе настолько низки, что опасность разрушения исключена, то для безопасной эксплуатации вполне достаточно защитного ограждения, предотвращающего соприкосновения людей или оборудования с вращающимся ротором. Безопасность устройства (т. е. исключение возможности катастрофического разрушения маховика) может быть обеспечена лишь существенным понижением максимальных напряжений. Однако при этом массовая энергоемкость маховика, пропорциональная максимальным напряжениям, значительно снижается. Повышение характеристик энергоемкости маховика так или иначе связано с повышением уровня эксплуатационных напряжений, что неизбежно увеличивает вероятность аварии (при этом авария может произойти также из-за случайного разрушения других

элементов накопителя) и требует установки кожуха для защиты окружения от разрушающего действия осколков.

Не все современные маховики нуждаются в защитном кожухе, например маховики, используемые на беспилотных космических аппаратах. Поскольку разрушение ротора так или иначе влечет за собой прекращение функционирования космического аппарата, в защитном кожухе нет необходимости. Если маховик раскручивают вне земной атмосферы, то излишним становится и вакуумный корпус. В других случаях укрытие персонала и некоторого оборудования может оказаться более целесообразным, нежели заключение ротора в защитный кожух. Обычно вакуумирование рабочего пространства применяется лишь для высокоскоростных маховиков средней и высокой энергоемкости с целью уменьшения потерь энергии на аэродинамическое сопротивление и предотвращения перегрева ротора.

Аэродинамическое сопротивление быстро возрастает с увеличением окружной скорости ротора, т. е. с увеличением энергоемкости. У тихоходных маховиков величина этого сопротивления пренебрежимо мала — обычно на много меньше, чем сопротивление в подшипниках (особенно у тяжелых тихоходных маховиков с высоконагруженными подшипниками). По мере улучшения эксплуатационных характеристик маховичных систем снижение аэродинамического сопротивления становится все более важной задачей. Аэродинамический разогрев маховика непосредственно связан с аэродинамическим сопротивлением. Маховики из композитов, особенно на основе органоволокон с полимерным связующим или без него, наиболее чувствительны к такому перегреву. Механические характеристики органоволокон при повышенных температурах существенно снижаются, а теплоотвод затруднен низкой теплопроводностью этих материалов.

1.6 Проектирование накопителя механической энергии

В разделе 1.4 были рассмотрены несколько разных вариантов конструкторского исполнения накопителей механической энергии. Были проанализированы достоинства и недостатки этих накопителей, а также варианты возможного решения проблем их проектирования и эксплуатации. На основании изученных вариантов конструкций был выбран вариант конструкции с разнесённым двигателем и генератором.

При проектировании накопителя для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в удаленных регионах страны нужно знать количество потребляемой энергии всех электроприборов в течении необходимого времени. Исходя из среднестатистических подсчётов, количество потребляемой электроэнергии получилось равным 2 кВт·сут.

Накопитель проектировался при следующих исходных данных:

$W_{\text{необх}} = 2 \text{ кВт} \cdot \text{сут}$ — количество энергии, которое должен запасть накопитель;

$t_p = 2 \text{ ч}$ — время разгона маховика накопителя;

$\Omega_{\text{max}} = 16000 \text{ об/мин}$ — максимальная скорость вращения маховика накопителя;

$\Omega_{\text{min}} = 5000 \text{ об/мин}$ — минимальная скорость вращения маховика накопителя.

Проектирование накопителя осуществлялось на базе программного комплекса T-Flex CAD.

1.7 Описание конструкции накопителя механической энергии

Конструкция накопителя состоит из следующих элементов: маховика, двигателя, генератора, корпуса, опор, кожуха.

На рисунках 6 и 7 представлены 3D модели конструкции накопителя энергии в собранном и разобранном виде. В Приложении А приведен сборочный чертеж накопителя механической энергии.

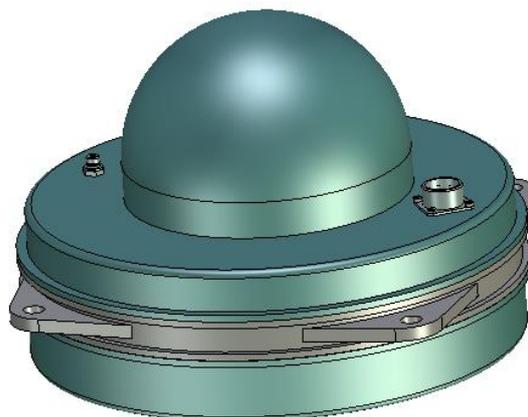


Рисунок 6 – 3D модель конструкции накопителя механической энергии в собранном виде

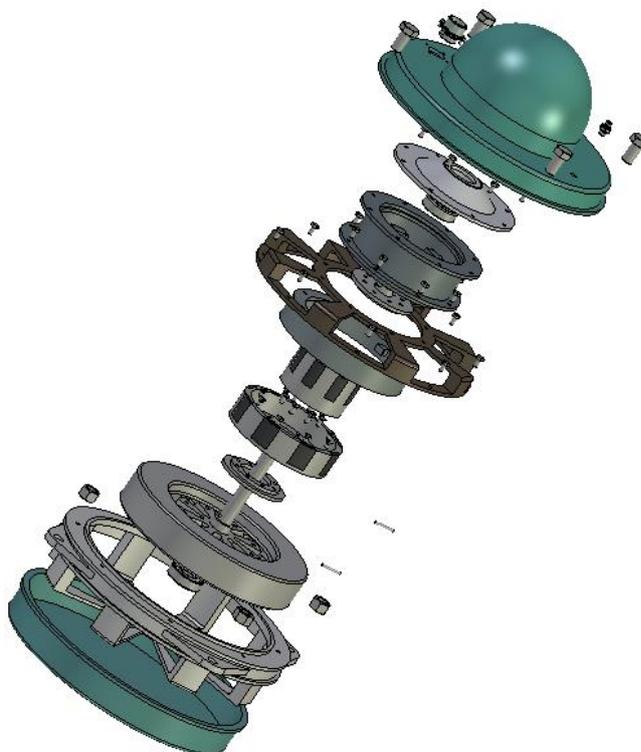


Рисунок 7 – 3D модель конструкции накопителя в разобранном виде

1.7.1 Маховик

Маховик (поз.10) выполняется из стали, т.е. изотропным.

Основным достоинством изотропных маховиков является хорошо отработанная технология изготовления, позволяющая эффективно использовать их потенциальные возможности. Несмотря на невысокую массовую энергоемкость, изотропные дисковые и ободковые роторы все же могут рассматриваться в качестве маховиков малой или средней энергоемкости.

Изотропные маховики в общем можно условно разделить на три группы:

1) дисковые, 2) ободковые и 3) квазикруговые маховики.

Для конструкции был выбран дисковый маховик, 3D модель которого представлена на рисунке 8.

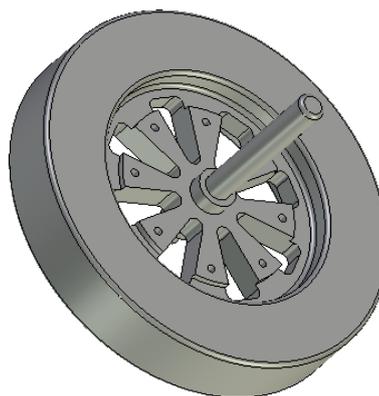


Рисунок 8 – 3D модель маховика

1.7.2 Система разгона

Для разгона маховика выбран бесконтактный двигатель постоянного тока. Данный тип двигателя позволяет регулировать момент и частоту вращения, то есть реализовать режим разгона при постоянном моменте [5]. В качестве датчика положения ротора использован датчик на основе эффекта Холла (поз.12). Коммутацию токов в обмотках статора осуществляет система управления. Двигатель крепится следующим образом. Ротор (поз.2) крепится непосредственно на маховик (поз.10) при помощи восьми винтов (поз.15), а статор (поз.4), в свою очередь, крепится к корпусу при помощи восьми болтов

(поз.14). Такой вид крепления позволяет достичь соблюдения соосности конструкции.

На рисунке 9 представлена 3D модель конструкции двигателя в собранном виде.

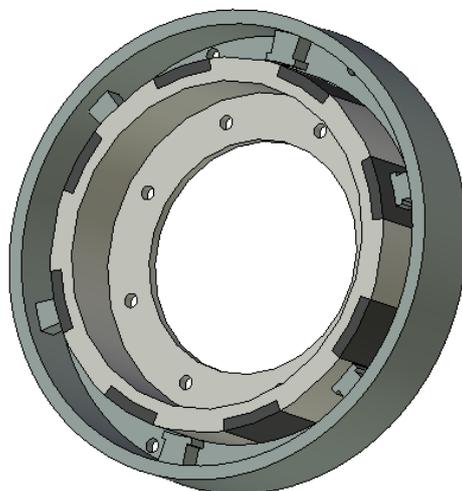


Рисунок 9 – 3D модель двигателя в собранном виде

Для съема энергии с маховика выбран генератор (поз.2). Он, как и двигатель, является бесконтактным и выдает постоянный ток. На рисунке 10 представлена 3D модель конструкции генератора в собранном виде.

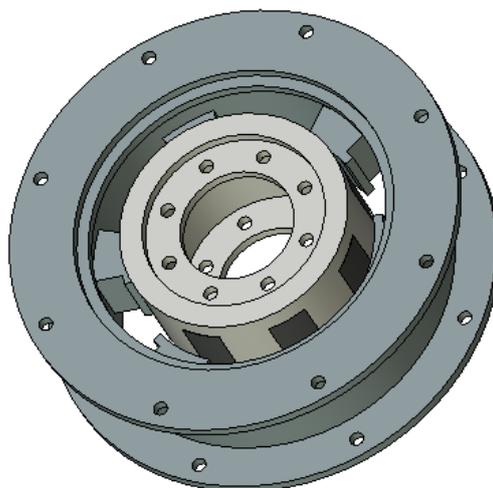


Рисунок 10 – 3D модель генератора в собранном виде

1.7.3 Опоры

Подшипник 46204К представляет из себя шариковый однорядный радиально-упорный подшипник и комплектуется исключительно латунным сепаратором. Тип действующих нагрузок - радиальные и осевые (до 150% неиспользованной допустимой радиальной). Угол контакта, как и у всех подшипников 46000 серии, составляет 26° . Данный подшипник соответствует требованиям работы в диапазоне высоких скоростей с осевой и радиальной нагрузкой.

1.7.4 Корпус и кожух конструкции накопителя механической энергии

Корпус накопителя, 3D модель которого представлена на рисунке 11, состоит из двух составных частей (поз.5, поз.6) и выполняется из прочной стали в виде каркаса. Такая форма корпуса выбрана для уменьшения массы и безопасности потребителя. Корпус так же служит для закрепления на нём опор, в которых будет вращаться маховик и активные части двигателя и генератора. Обе части корпуса между собой соединяются при помощи болтов (поз.15).

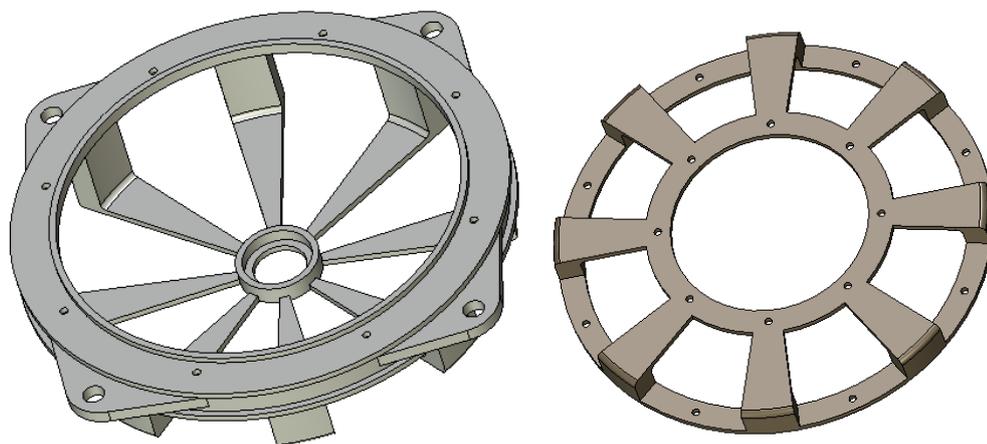


Рисунок 11 – 3D модель корпуса

Конструкция накопителя защищена кожухом (поз.7, поз.8), который выполняется из лёгкого, но прочного листового алюминия, поддающегося

пайке, т.к. все активные части конструкции должны находиться в вакууме. 3D модели составных частей кожуха представлены на рисунке 12.

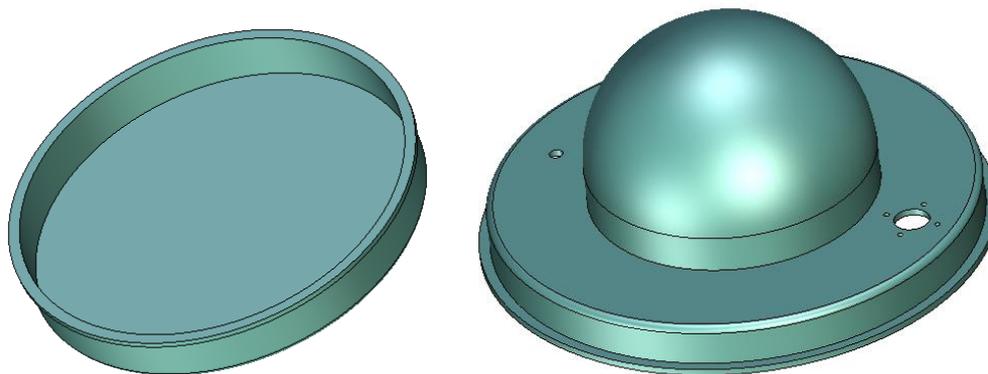


Рисунок 12 – 3D модели составных частей кожуха

1.7.5 Транспортировка

Для удобства перемещения конструкции накопителя кинетической энергии спроектирован узел транспортировки, 3D модель которого представлен на рисунке 13. При помощи транспортировочного узла конструкция может занимать устойчивое положение.

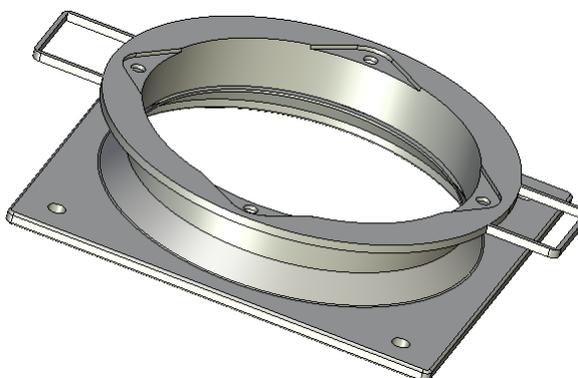


Рисунок 13 – 3D модель транспортировочного узла

На рисунке 14 представлена 3D модель накопителя, установленного на транспортировочном узле, сделанного при помощи фотореалистичного вида.

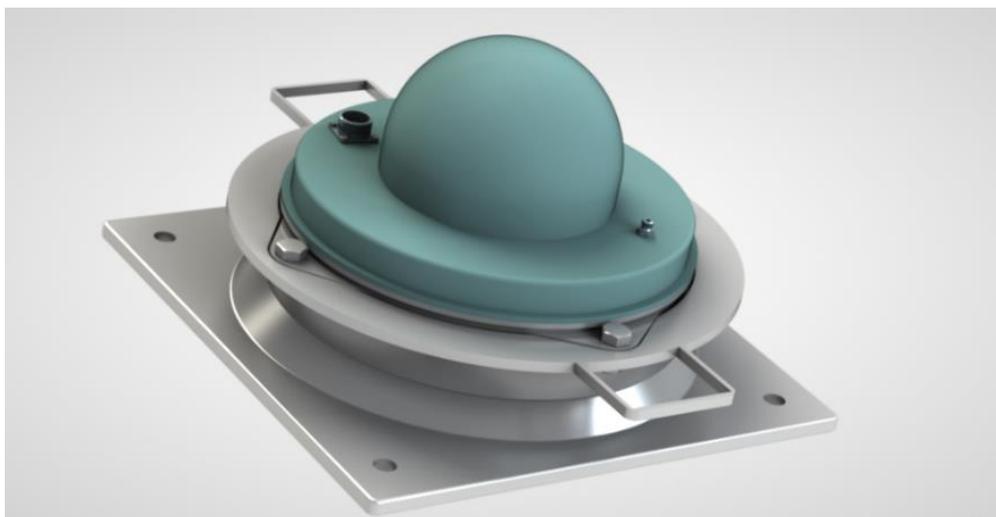


Рисунок 14 – 3D модель накопителя,
установленного на транспортировочном узле

1.8 Выбор и обоснование применения материалов

При проектировании накопителя кинетической энергии были рассмотрены различные конструкционные материалы, которые целесообразно применять для изготовления деталей. Материалы должны обладать высокой прочностью в связи с тем, что на конструкцию накопителя энергии действуют внутренние моменты и требуется повышенная безопасность для потребителя.

Для изготовления материалоемких деталей и силовых конструкций были выбраны лёгкие стали, обладающие по сравнению с традиционными материалами малым удельным весом. Однако применение лёгких материалов целесообразно не для всех деталей накопителя энергии, в том числе и по технологическим соображениям. Так, например, маховик нецелесообразно изготавливать из лёгких металлов, обладающих малым удельным весом. Объем обода маховика для получения требуемого момента инерции J будет во много раз больше, чем при использовании специализированной стали.

Для изготовления маховика, рабочая скорость которого составляет 16000 об/мин., применяется специальная сталь 03Н15К10М5Ф5, предел прочности которой $\sigma=2000$ Н/мм². Это высокопрочный сплав, разработан специально для изготовления маховиков, имеющих большую частоту вращения

и поставляется по специальным техническим условиям. Прочность обода маховика, изготовленного из этой стали, удовлетворяет требованиям по прочности, предъявляемым к элементам, вращающимся с высокой скоростью. Кожух накопителя энергии выполняется из лёгкого, но прочного листового алюминия марки АД1Н.

Для обмотки электрических машин используется медный провод. Корпус статора выполнен из алюминия.

Для подведения питания к обмоткам электродвигателя и генератору используется кабель марки КУСГ (КУСОГ) 11-0.2 и 14-0.1 (ТУ 16-505.038-82).

1.9 Расчет основных технических и эксплуатационных характеристик накопителя механической энергии

1.9.1 Расчет параметров маховика

Энергия, запасаемая маховиком, определяется по формуле:

$$W_{\text{необх.}} = \frac{E}{3600} \Rightarrow E = 3600 \cdot W_{\text{необх.}} \text{ (Дж)}, \quad (1)$$

где E – полная кинетическая энергия определяется по формуле [2]:

$$E = \frac{J \cdot (w_{\text{max}}^2 - w_{\text{min}}^2)}{2}, \quad (2)$$

где J – момент инерции маховика, w_{max} и w_{min} – максимальная и минимальная скорости вращения маховика.

$$\Omega_{\text{max}} = 16000 \text{ об/мин}; w_{\text{max}} = \frac{16000 \cdot \pi}{30} = 1676 \text{ (рад/с)};$$

$$\Omega_{\text{min}} = 5000 \text{ об/мин}; w_{\text{min}} = \frac{5000 \cdot \pi}{30} = 523,6 \text{ (рад/с)}.$$

Из формулы (2) выражаем значение для момента инерции маховика:

$$J = \frac{2 \cdot E}{w_{\text{max}}^2 - w_{\text{min}}^2}. \quad (3)$$

Момент инерции маховика также можно вычислить по другой формуле:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot R^2, \quad (4)$$

где m вычисляется по следующей формуле:

$$m = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho, \quad (5)$$

где R - внешний радиус маховика, а $h = 0,05$ м – высота обода маховика, ρ –плотность материала, равная 8100 кг/м^3 .

Подставив формулу (5) в формулу (4) для значения момента инерции, получим:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R^4 \cdot h \cdot \rho . \quad (6)$$

Из формулы (6) выражаем значение для внешнего радиуса маховика:

$$R = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot J}{\pi \cdot h \cdot \rho}} . \quad (7)$$

Подставив формулы (1) и (3) в формулу (7), получим окончательное выражение для расчета внешнего радиуса маховика:

$$R = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot W_{\text{необх.}}}{(w_{\text{max}}^2 - w_{\text{min}}^2) \cdot \pi \cdot h \cdot \rho}} . \quad (8)$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 3600 \cdot 83.3}{(1676^2 - 523,6^2) \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 7830}} = 0,14 \text{ (м)}.$$

Для расчета внутреннего радиуса маховика определим общую массу маховика из формулы (5):

$$m = 3,14 \cdot 0,14^2 \cdot 0,05 \cdot 8100 = 24,55 \text{ (кг)}.$$

Исходя из технических соображений и конструкции маховика (приложение Б), 60 % массы приходится на обод, а 40% массы на диск маховика, следовательно:

$$m_{\text{общ.}} = m_{\text{обода}} + m_{\text{диска}} . \quad (9)$$

$$m_{\text{обода}} = m_{\text{общ.}} \cdot 0,6 = 14,73 \text{ (кг)}; \quad (10)$$

$$m_{\text{диска}} = m_{\text{общ.}} \cdot 0,4 = 9,82 \text{ (кг)}. \quad (11)$$

Масса диска:

$$m_{\text{диска}} = \pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot h, \quad (12)$$

где r – внутренний радиус маховика, равный

$$r = \sqrt{\frac{m_{\text{диска}}}{\pi \cdot \rho \cdot h}} = 0,89 \text{ (м)}. \quad (13)$$

Высота диска меньше высоты обода и равна $h_{\text{д.}} = 0.01$ м, следовательно масса диска:

$$m_{\text{диска}} = \pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot h_{\text{д.}} = 1,96 \text{ (кг)}. \quad (14)$$

Следовательно общая масса маховика будет равна:

$$m_{\text{общ.}} = m_{\text{обода}} + m_{\text{диска}} = 14,73 + 1,96 = 16,69 \text{ (кг)},$$

что с небольшой погрешностью совпадает со значением массы маховика, вычисленного в T-Flex на основе 3D модели (рисунок 15).

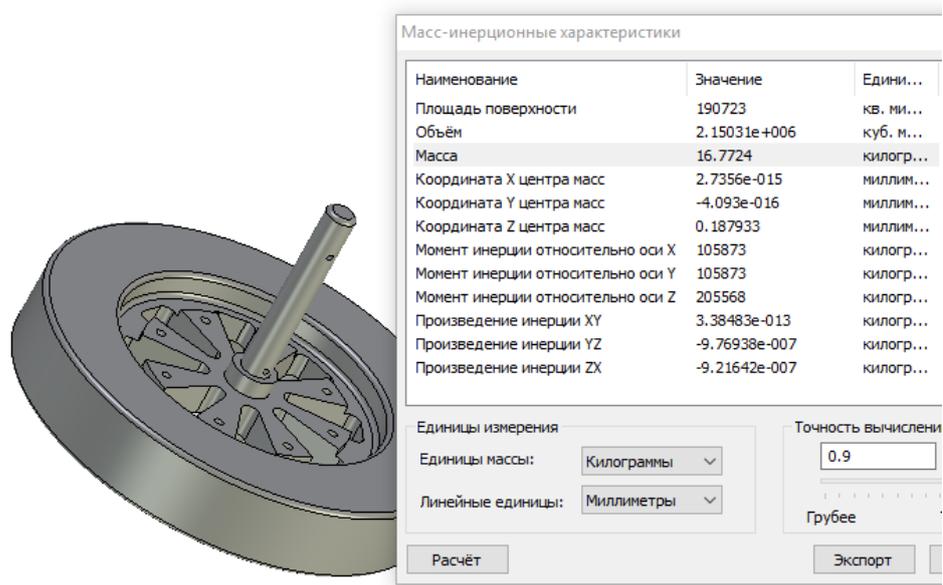


Рисунок 15 – Расчет массы маховика в T-Flex

Момент инерции маховика:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{общ.}} \cdot (R^2 + r^2) = 0,225 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}. \quad (15)$$

1.9.2 Расчет критической угловой скорости

Одной из важных характеристик маховика является критическая угловая скорость.

Приближение угловой скорости вращения вала к критической может вызвать резонанс, что проявляется в сильной вибрации всей конструкции и может привести к разрушению.

Критическая угловая скорость определяется выражением [3]:

$$\Omega_{\text{к}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot (\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + m \cdot J \cdot (\alpha \cdot \beta - \gamma^2)}}}, \quad (16)$$

где α, β, γ – коэффициенты влияния; m – масса маховика, J – момент инерции маховика.

Значение коэффициентов определяется по формулам:

$$\alpha = \frac{a^3 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot J_1 \cdot l} + \frac{a^2 \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot J_2 \cdot l^2}; \quad (17)$$

$$\beta = \frac{a^3}{3 \cdot E \cdot J_1 \cdot l^2} + \frac{b^3}{3 \cdot E \cdot J_2 \cdot l^2}; \quad (18)$$

$$\gamma = \frac{a \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot J_2 \cdot l^2} + \frac{a^3 \cdot b}{3 \cdot E \cdot J_1 \cdot l^2}, \quad (19)$$

где $a = 0,025$ м – расстояние от левой опоры до центра масс маховика; $b = 0,128$ м – расстояние от правой опоры до центра масс маховика; $l = 0,153$ м – расстояние между опорами; $J_1 = 1,054 \cdot 10^{-5}$ кг · м² – момент инерции сечения вала (от левой опоры до центра масс маховика); $J_2 = 7,133 \cdot 10^{-5}$ кг · м² – момент инерции сечения вала (от правой опоры до центра масс маховика), $E = 190 \cdot 10^9$ Па – модуль упругости I рода.

Значение для критической угловой скорости равно:

$$\Omega_{\text{к}} = 3007 \text{ рад/с}.$$

Принято, что рабочая и первая критическая скорость должны быть связаны соотношением $\Omega_{\text{р}} < 0,7 \cdot \Omega_{\text{к}}$; $1676 \frac{\text{рад}}{\text{с}} < 2105 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Из соотношения видно, что критическая угловая скорость превышает рабочую, следовательно, угловая скорость вращения маховика оптимальна для работы.

1.9.3 Расчет момента сопротивления

Расчет момент сопротивления относится к числу основных эксплуатационных характеристик, потому что оказывает непосредственное влияние на потребление энергии. Значение M_c находится по следующей формуле [3]:

$$M_c = M_a + M_{\text{тр}}, \quad (20)$$

где M_a – момент аэродинамического сопротивления; $M_{\text{тр}}$ – момент трения шарикоподшипника.

Момент аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

$$M_a = 2 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{ср.}} \cdot C_a \cdot \Omega^2 \cdot \Gamma_{\text{ф}}, \quad (21)$$

где $\rho_{\text{ср.}}$ – плотность окружающей среды; C_a – аэродинамический коэффициент; $\Gamma_{\text{ф}}$ – геометрический фактор, значение которого зависит от геометрической формы и размеров маховика.

Плотность окружающей среды имеет сложную зависимость от давления и температуры, поэтому для проведения расчетов обычно пользуются стандартной атмосферой, которая определяется средними значениями температуры, давления и плотности воздуха $\rho_{\text{ср.}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Аэродинамический коэффициент при ламинарном движении:

$$C_a = 0,53 \cdot R_e^{-0,5}, \quad (22)$$

где R_e – число Рейнольдса. Применительно к маховикам число Рейнольдса определяется по формуле:

$$R_e = \frac{(\Omega \cdot R)^2}{\nu}, \quad (23)$$

где ν – коэффициент кинетической вязкости

$$R_e = \frac{(1676 \cdot 14)^2}{0,144} = 3,8 \cdot 10^9.$$

Тогда аэродинамический коэффициент равен

$$C_a = 0,53 \cdot \frac{1}{\sqrt{38 \cdot 10^8}} = 0,086 \cdot 10^{-4}.$$

Геометрический фактор вычисляется исходя из формы маховика (рисунок 16). Для проектируемого маховика расчетная формула выглядит следующим образом:

$$\Gamma_{\phi} = R^4 \cdot H + l \cdot (r_1^4 + r^4) - l_1 \cdot (r_1^4 + r^4) + \frac{2}{5} \cdot r^5 + \frac{2}{5} \cdot R^5. \quad (24)$$

$$\Gamma_{\phi} = 0,14^4 \cdot 0,05 + 0,03 \cdot (0,02^4 + 0,089^4) - 0,01 \cdot (0,02^4 + 0,089^4) + \frac{2}{5} \cdot 0,089^5 + \frac{2}{5} \cdot 0,14^5 = 4,42 \cdot 10^{-5} (\text{м}^5).$$

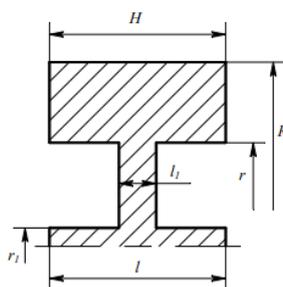


Рисунок 16 – Форма маховика

Момент аэродинамического сопротивления равен

$$M_a = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,086 \cdot 10^{-4} \cdot 1676^2 \cdot 4,42 \cdot 10^{-5} = 0,008 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Момент трения шарикоподшипника состоит из следующих составных частей: момента трения качения шариков с наружными и внутренними кольцами; момента трения скольжения шариков с кольцами; момента трения скольжения шариков с сепаратором и сепаратора с центрирующим кольцом; момента, вызываемого сопротивлением движению смазки.

Момент трения шарикоподшипника приближенно определяется эмпирической зависимостью [3]:

$$M_{\text{тр.}} = M_0 + 1,2 \cdot k_{\text{тр.}} \cdot \left(\frac{D_0}{d_{\text{ш}}} \right) \cdot F_r, \quad (25)$$

где M_0 – момент трения ненагруженного шарикоподшипника; D_0 – диаметр окружности, проходящей через центры шариков; $d_{\text{ш}}$ – диаметр шариков; $k_{\text{тр.}} = 0,001 \div 0,005$ см – коэффициент трения качения; F_r – радиальная нагрузка.

Для подшипника 46204К значения $D_0 = 33,5$ мм; $d_{\text{ш}} = 7,94$ мм.

$$M_{\text{тр.}} = 1,2 \cdot 0,0005 \cdot \left(\frac{33,5}{7,94}\right) \cdot 12,5 \cdot 10^3 = 3,2 \text{ (Н} \cdot \text{мм)}.$$

$$M_{\text{тр.}} = \frac{3,2}{1000} = 0,0032 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Момент сопротивления равен

$$M_c = M_a + M_{\Pi} = 0,008 + 0,0032 = 0,0112 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

1.9.4 Расчет потребляемой мощности двигателя

В разрабатываемом накопителе механической энергии используется бесконтактный двигатель постоянного тока. Электродвигатель создает вращение маховика, потребляя при этом мощность. Потребляемая мощность зависит от величины угловой скорости и общего момента сопротивления. Вычисляется по следующей формуле [3]:

$$P = 1,028 \cdot M_c \cdot \Omega. \quad (26)$$

$$P = 1,028 \cdot 0,0112 \cdot 1676 = 19,3 \text{ (Вт)}.$$

1.9.5 Расчет основных размеров двигателя

Расчет основных размеров двигателя осуществляется по следующей формуле [4]:

$$\frac{D^2 \cdot L_p \cdot w_{\text{max}}}{P} = \frac{6,1 \cdot 10^{11}}{a_{\delta} \cdot K_B \cdot K_0 \cdot A \cdot B_{\delta}}, \quad (27)$$

где $K_B = K_0 = 1$ для машин постоянного тока;

K_B — коэффициент, зависящий в основном от формы кривой поля;

K_0 — обмоточный коэффициент для первой гармонической кривой э.д.с.;

B_{δ} — максимальная индукция в воздушном зазоре;

a_{δ} — коэффициент полюсного перекрытия, значение которого лежит в пределах 0,63-0,72;

A — линейная нагрузка;

D – диаметр якоря машины, равная 16 см;

L_p – длина якоря машины.

$$L_p = \frac{6,1 \cdot 10^{11} \cdot P}{a_\delta \cdot K_B \cdot K_0 \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2 \cdot w_{max}} \cdot \quad (28)$$
$$L_p = \frac{6,1 \cdot 10^{11} \cdot 19,3}{0,65 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 6500 \cdot 16^2 \cdot 16000} = 3,5 \text{ (см)}.$$

При расчет получены следующие значения:

- диаметр якоря машины $D = 160$ мм;
- длина якоря машины $L_p = 35$ мм.

1.9.6 Расчет ресурса работы накопителя механической энергии

Причины выхода из строя накопителя механической энергии могут быть различными. Но наиболее вероятная причина – выход из строя шарикоподшипника. Высооскоростные подшипники, как правило, выходят из строя из-за нарушения смазки и, как следствие, чрезмерного нагрева подшипникового узла, отпуск металла колец и шариков и разрыв сепаратора.

Рассчитаем долговечность шарикоподшипника в зависимости от нагрузки [3]:

$$h_{\Pi} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{C}{Q}\right)^{\alpha}, \quad (29)$$

где h_{Π} – долговечность подшипника в час.; n – скорость вращения в об/мин; Q – приведенная нагрузка в кг; C – коэффициент работоспособности; α – коэффициент, зависящий от формы кривой контактной усталости и принимаемый для шариковых подшипников $\alpha = 3$.

$$h_{\Pi} = \frac{1}{16000} \cdot \left(\frac{31060}{7,1}\right)^3 = 63470 \text{ (ч)}.$$

Полученная долговечность шарикоподшипника удовлетворяет условиям технического задания.

1.9.7 Расчет массы накопителя механической энергии

Расчет массы накопителя энергии производится автоматически в окне T-FLEX программы. Программа позволяет рассчитать массу для трехмерной модели при условии, что для всех элементов конструкции определен материал.

На рисунке 17 приведен расчет полной массы разрабатываемого накопителя энергии. Масса накопителя равна $m_{\text{нак.}} = 31,05$ кг.

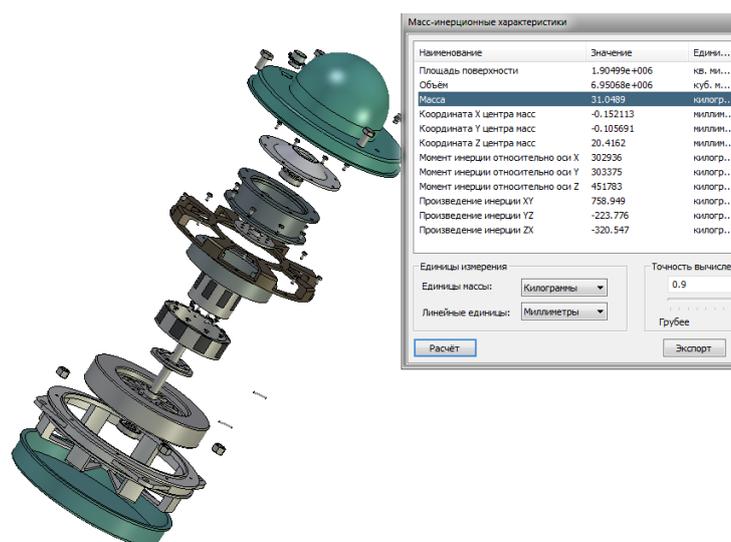


Рисунок 17 – Расчет массы накопителя механической энергии

1.9.8 Расчет массовой энергоемкости накопителя механической энергии

Качество накопителя энергии оценивают величиной массовой энергоемкости, т.е. отношением запасаемой энергии к массе. Следует принимать во внимание массу системы в целом, а запасаемой считать энергию, которую система отдает в обычном эксплуатационном режиме. Определяется по формуле [2]:

$$\frac{E}{m_{\text{нак.}}} = \frac{3600 \cdot 83,3}{31,05} = 9658 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right). \quad (31)$$

Для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в отдаленных регионах энергией в 2кВт·сут, такое значение массовой энергоемкости приемлемо

2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Темой научной исследовательской работы является разработка накопителя механической энергии в программной среде T-Flex CAD.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной дипломной работе разрабатывался накопитель кинетической энергии для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в отдаленных регионах страны. Соответственно, первичными потребителями продукции

являются жители отдаленных областей, где обеспечение бесперебойного электропитания затруднено и источником энергии являются: солнечный свет, водные потоки, ветер.

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Конкурент 1 – Накопитель механической энергии российской фирмы Kinetic Power

Накопитель «Кинетик» является результатом многолетних разработок в области кинетических накопителей энергии. В конструкции накопителя «Кинетик» применяется уникальный супермаховик, делающий «Кинетик» единственным разрыво- и взрывобезопасным накопителем на рынке. Супермаховик состоит из упругого центра, вокруг которого навита лента из материалов с высокой одноосной прочностью. Использование супермаховика и высокоскоростных электромашин позволяет накопителю «Кинетик» переключаться между режимами хранения, накопления и отдачи энергии за несколько миллисекунд, что обеспечивает мгновенную реакцию на любой запрос. Группы таких накопителей достаточно для регулирования нагрузки

сети целого города или региона; для обеспечения бесперебойным питанием крупных датацентров и фабрик; для поддержки солнечных полей и других источников возобновляемой энергии. Ресурс непрерывной работы- 25 лет.

Конкурент 2 – Электромеханический накопитель энергии компании Beason Power

Американская компания Beason Power, основанная в 1997 году, создала целую линейку тяжелых стационарных маховиков, предназначенных для включения в промышленные энергосети. Beason Power сообщает, что потеря энергии, закачанной и позднее забранной из этих накопителей, составляет 2%, что заметно лучше, чем у систем хранения энергии, основанных на иных принципах (химические аккумуляторы, гидроаккумулирующие станции). Аккумуляторы предназначены для работы в качестве буфера, компенсирующего резкие пики и спады потребления в течение суток. Расчетный срок службы конструкции - 20 лет.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$K = \sum B_i * B_i$, где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i-го показателя.

Таблица 2.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	4	5	4	0,32	0,4	0,2
2. Помехоустойчивость	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Энергоэкономичность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,5
4. Надежность	0,09	4	5	4	0,36	0,45	0,36
5. Уровень шума	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
6. Безопасность	0,09	4	5	5	0,36	0,45	0,45
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
8. Простота эксплуатации	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2

2. Уровень проникновения на рынок	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
3. Цена	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,3
6. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
Итого	1	58	65	61	4,07	4,74	4,27

Вывод по пункту: Сравнение конкурентных технических решений показало, что разрабатываемый накопитель механической энергии является практически конкурентоспособным и по показателям не сильно уступает перечисленным выше конкурентам.

2.2 Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также распределение исполнителей по видам работ, представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по работе	Студент (дипломник)
	3	Выбор направления для исследования	Руководитель, студент (дипломник)
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент (дипломник)
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент (дипломник)
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Студент (дипломник)

		ваний	
	7	Построение моделей и проведение моделирования	Студент (дипломник)
	8	Сопоставление результатов моделирования с реальными данными	Руководитель, студент (дипломник)
	9	Повторная корректировка моделируемой модели	Студент (дипломник)
	10	Контроль результатов исследований	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Анализ полученных результатов, выводы	Студент (дипломник)
	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент (дипломник)
Оформление отчета НИР	13	Составление пояснительной записки	Студент (дипломник)

2.2.2 Определение трудоемкости выполняемых работ

Стоимость разработки, как правило, зависит от трудовых затрат персонала. Трудоемкость выполнения научного исследования оценена экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости выполнения 1-й работы составило:

$$t_{\text{ож.1}} = \frac{3 * 2 + 2 * 4}{5} = 2,8 \text{ чел. - дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определена продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

, где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность 1-й работы:

$$T_{p1} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб. дн.}$$

Вывод по пункту: Наиболее трудоемкими этапами работы 5, 6, 7 и 9. По продолжительности выполнения работ также больше всего времени занимают 5, 6, 7 и 9 пункты.

2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

С целью построения ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведена в календарные дни. Для этого была использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

, где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определен по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

, где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности в 2017 году составил:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,477$$

Продолжительность выполнения 1-й работы в календарных днях

$$T_{k1} = 2,8 * 1,477 = 4 \text{ кал. дн.}$$

Наиболее продолжительные работы – 7 и 9 этапы. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	4	2,8	Научный руководитель	2,8	4
Подбор и изучение материалов по теме	2	5	3,2	Студент (дипломник)	3,2	5
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Руководитель, студент (дипломник)	0,7	1
Календарное планирование работ по теме	2	3	2,4	Студент (дипломник)	2,4	4
Проведение анализа литературы по теме ВКР	10	15	12	Студент (дипломник)	12	18
Проведение теоретических расчетов и обоснований	10	15	12	Студент (дипломник)	12	18

Построение моделей и проведение моделирования	30	60	42	Студент (дипломник)	42	62
Сопоставление результатов моделирования с реальными данными	2	5	3,2	Руководитель, студент (дипломник)	3,2	5
Повторная корректировка моделируемой модели	10	20	14	Студент (дипломник)	14	21
Контроль результатов исследований	2	3	2,4	Научный руководитель	2,4	4
Анализ полученных результатов, выводы	3	5	3,8	Студент (дипломник)	3,8	6
Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1,8	Руководитель, студент (дипломник)	0,9	1
Составление пояснительной записки	2	4	2,8	Студент (дипломник)	1,4	2

Вывод: Разработанный календарный план-график показывает, что наиболее времязатратными являются такие пункты, как «построение моделей и проведение моделирования», «повторная корректировка модели» и др. На «построение модели» отведено 62 календарных дня, а на «повторную корректировку модели» - 21 день.

Таблица 2.4 – календарный план график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																				
				декабрь			январь			февраль			март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	4	█																				
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент (дипломник)	5	█																				
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент (дипломник)	1	█																				
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент (дипломник)	4		█																			
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент (дипломник)	18		█	█	█																	
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент (дипломник)	18				█	█	█															
7	Построение моделей и проведение моделирования	Студент (дипломник)	62						█	█	█	█	█	█	█									
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими	Руководитель, студент (дипломник)	5																					

2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ учтены следующие виды расходов:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

2.3.1 Расчет затрат на сырье и материалы НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний)

и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований). Затраты на материалы представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Стоимость материалов

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Ручка	шт.	3	60	180
Карандаш	шт.	3	20	60
Ластик	шт.	2	15	30
Линейка	шт.	1	30	30
Транспортир	шт.	1	35	35
Маркеры	шт.	3	60	180
Степлер	шт.	1	100	100
Скобы для степлера	шт.	2	45	90
Бумага офисная	л.	500	0,4	200
Термопаста для ноутбука	шт.	1	350	350
Итого				1255

Материалы и сырье берутся с запасом.

2.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме научного исследования. Затраты на оборудование представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Цена, руб.
Программа автоматизированного проектирования T-Flex CAD	118 950

В стоимость данного пакета входят все модули, представленные в версии 15.2, а также консультация в течение полугода.

2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителей рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда, которая предполагает состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. Оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд и т.д.

3) Иные выплаты; районный коэффициент.

Заработная плата руководителя темы и инженеров (дипломников)-3-х человек, непосредственно участвующих в выполнении работ по моделированию (включая премии, доплаты), включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

, где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя темы, инженеров (дипломников) рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

, где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

, где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

,где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$З_{\text{м}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 54704$$

Месячный должностной оклад инженера (дипломника), руб.:

$$З_{\text{м}} = 17000 \cdot (1 + 0,2 + 0,2) \cdot 1,3 = 30940$$

Таблица 2.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	14	4
Действительный годовой фонд рабочего времени	204	214

Среднедневная заработная плата руководителя темы, руб.:

$$З_{\text{дн}} = \frac{54704 \cdot 10,4}{204} = 2788,83$$

Среднедневная заработная плата инженера (дипломника), руб.:

$$З_{\text{дн}} = \frac{30940 \cdot 11,2}{214} = 1619,29$$

Рабочее время:

Руководитель:

$$T_{\text{р}} = 8,2 \text{ округляем в большую сторону } T_{\text{р}} = 9 \text{ раб.дн}$$

Инженер:

$$T_{\text{р}} = 95,6 \text{ округляем в большую сторону } T_{\text{р}} = 96 \text{ раб.дн}$$

Основная заработная плата руководителя темы составила:

$$З_{\text{осн}} = 2788,83 \cdot 9 = 25099,47 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера (дипломника) составила:

$$Z_{\text{осн}} = 1619,29 * 96 = 155451,84 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Расчёт основной заработной платы руководителя темы и инженера (дипломника) непосредственно участвующих в выполнении работ по разработке накопителя механической энергии

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель темы	26300	0,3	0,3	1,3	54704	2788,83	9	25099,47
Инженер (дипломник)	17000	0,2	0,2	1,3	30940	1619,29	96	155451,84
Итого $Z_{\text{осн}}$								180551,31

Вывод по пункту: Таким образом, затраты на основную заработную плату составили 180551,31 руб. При том, что заработная плата руководителя больше, инженер-дипломник был задействован в течении большего рабочего времени. Так, зарплата инженера составила по расчетам 155451,84 руб.

2.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 2.9 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер (дипломник)
Основная зарплата	25099,47	155451,84
Дополнительная зарплата	2509,95	15545,18
Итого, руб	198606,44	

Вывод по пункту: в данном пункте произвели расчет дополнительной общей заработной платой руководителя и инженера. Суммарная заработная плата руководителя и инженера составила 198606,44руб.

2.3.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

,где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.3 * 198606,44 = 59581,93 \text{ руб.}$$

Вывод по пункту: Отчисления в социальные нужды составили 0.3 от общей суммы заработной платы, что составило 59581,93 рубля.

2.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, электроэнергия, размножение материалов и т.д. Их величина определена по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}}$$

,где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов взята в размере 10%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1255 + 118950 + 180551,31) * 0,1 = 30075,63 \text{ руб}$$

Вывод по пункту: Коэффициент накладных расходов был взят равным 10% от суммы статей расчета затрат на сырье, оборудование и зарплату работников. Накладные расходы составили 30075,63 рубля.

2.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 11.

В ходе формирования бюджета затрат НТИ были сведены воедино все статьи, по которым производился расчет затрат. Для более глубокого анализа в таблице приведены затраты бюджет затрат на научно-исследовательские проекты конкурентов. Оцениваемые затраты конкурентов основывались на заключениях специалистов.

Конкурент 1 – Накопитель механической энергии российской фирмы «Kinetic Power»

Конкурент 2 – Электромеханический накопитель энергии компании «Beacon Power»

Таблица 2.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Оцениваемые затраты конкурентов, руб	
		Конкурент 1 «Kinetic Power»	Конкурент 2 «Beacon Power»
1. Материальные затраты НТИ	1255	2000	3500
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	118950	389000	327000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	180551,31	200000	143815
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	198606,44	30000	25000
5. Отчисления во внебюджетные фонды	59581,93	69000	50644.5
6. Накладные расходы	30075,63	59100	46431.5
7. Бюджет затрат НТИ	589020,31	749100	596391

Вывод по пункту: Таким образом, бюджет затрат НИИ составляет 589020,31 руб. Сравнение результатов таблицы показывает, что наша разработка является более экономически-выгодными по сравнению с предложениями конкурентов. Стоимость проекта входит в обозначенные бюджетные проекты в начале исследования.

Вывод по подразделу: Наиболее затратной статьёй в ходе выполнения НИИ является затраты на оплату труда и закупка специального оборудования (программного обеспечения). Общая стоимость НИИ составляет 589020,31 рублей, что намного ниже, чем оцениваемая стоимость проведения таких же работ у конкурентов. Относительно низкая стоимость проекта показывает о высоком коммерческом потенциале исследования.

2.4 Заключение

Проведенные расчеты показали, что разрабатываемый накопитель механической энергии является практически конкурентоспособным и по показателям не сильно уступает перечисленным выше конкурентам. Дальнейшие исследования в данной области позволят существенно сократить затраты на производство отдельных деталей.

Расчет коэффициента календарности позволил сделать план-график научно-технического исследования. Содержание работ для проведения исследования составило 13 пунктов. Для иллюстрации календарного графика была использована диаграмма Ганта, обладающая высокой степенью информативности. Общая продолжительность исследования составила 151 день.

Проведенный расчет стоимости НИИ показал, что общая стоимость составляет 589020,31 рублей и не превосходит по стоимости конкурентов, ближайшая стоимость которых составляет примерно 596391 рублей.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная разработка обладает достаточно высокой ресурсоэффективностью.

3 Социальная ответственность

В данном разделе приводятся вопросы выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. В соответствии с этим принимаются проектные решения, исключая несчастные случаи в производстве и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

Социальная ответственность при разработке новых решений должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование не возобновляемых природных ресурсов.

Выпускная квалификационная работа посвящена проектированию накопителя кинетической энергии для обеспечения электроэнергией частных жилых домов в отдаленных регионах страны. Для проектирования использовался конструкторский пакет программ T-FLEX CAD.

3.1 Производственная безопасность

3.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации накопителя механической энергии

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на рабочих, опасных производственных факторов до приемлемого уровня. Для определения опасных факторов на данном производстве воспользуемся классификацией опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-2015

Проанализировав всевозможные опасные и вредные факторы при разработке и эксплуатации, занесем их в таблицу 3.1. Приведем нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора.

Таблица 3.1 - Опасные и вредные факторы при разработке и эксплуатации накопителя механической энергии

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 – 2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка накопителя механической энергии в лабораторной аудитории с помощью персонального компьютера в программной среде T-Flex CAD	Повышенный уровень электромагнитных излучений	Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность.
	Отклонение параметров микроклимата		ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
	Недостаточная освещенность рабочей зоны		СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
Эксплуатация накопителя механической энергии	Повышенный уровень шума и вибраций	Поражение электрическим током	СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

Повышенный уровень шума

Объектом исследования является проектирование накопителя кинетической энергии. Накопитель содержит быстровращающийся маховик, установленный на шарикоподшипниковые опоры, поэтому является источником шума и вибраций при его эксплуатации.

Длительное воздействие шума может привести к частичной или полной потере слуха; действие излучения приводит к появлению различных заболеваний.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Согласно СанПин 2.2.4.3359-16 [7], нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА.

При воздействии шума в границах 80-85 дБА необходимо минимизировать возможные негативные последствия путем выполнения следующих мероприятий:

- использование всех необходимых технических средств (защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия, изоляция, амортизация)
- обязательное предоставление работающим средств индивидуальной защиты органа слуха.

При работе с накопителем механической энергии следует применять следующие предлагаемые средства индивидуальной защиты от шума Согласно ГОСТ 12.4.051-87 ССБТ [8]:

- противושумные вкладыши;
- противושумные наушники.

Повышенный уровень вибраций

Вибрация – механические колебания твердых тел (деталей машин и механизмов), которые характеризуются частотой и амплитудой. Вибрацию порождают неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе машин.

При работе накопителя возникновение вибраций неизбежно. Из-за вибрации в работе прибора может возникнуть резонанс частот. При этом последует неизбежная поломка. Поэтому при проектировании накопителя кинетической энергии вопрос о борьбе с вибрациями требует особого внимания.

К способам борьбы с вибрацией относятся снижение вибрации в источнике (улучшение конструкции машин, статическая и динамическая балансировка вращающихся частей машин), виброгашение (увеличение эффективной массы путем присоединения машины к фундаменту).

3.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе. В результате у человека наблюдаются головная боль в височной и затылочной областях, вялость, ухудшение памяти, боли в области сердца, угнетенное настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной чувствительностью к яркому свету и интенсивному звуку, расстройство сна, сердечно-сосудистой системы, органов пищеварения, дыхания, повышенная раздражительность, а также наблюдаются функциональные нарушения в центральной нервной системе, изменения в составе крови. Основные принципы обеспечения радиационной безопасности заключаются:

- в сокращении времени работы с источником – защита временем;
- в увеличении расстояния от источника до работающего персонала защита расстоянием;

Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» для уменьшения уровня электромагнитного поля от персонального компьютера рекомендуется включать в одну розетку не более

двух компьютеров, сделать защитное заземление, подключать компьютер к розетке через нейтрализатор электрического поля.

Отклонение параметров микроклимата

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [9] предоставлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

Если отклонение параметров микроклимата выходит за пределы, установленные в СанПиН 2.2.4.548-96 [9] необходимо воспользоваться методами регулирования параметров, такими как установка отопительных систем и систем кондиционирования помещений. Согласно также ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.», к средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, материалов и заготовок, а также от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства:

- оградительные;
- автоматического контроля и сигнализации;
- термоизолирующие;
- дистанционного управления;
- для радиационного обогрева и охлаждения.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Создание оптимальной световой среды занимает важное место в комплексе мероприятий по охране труда и оздоровлению условий труда при работе с ЭВМ и компьютерной техникой. Помещения, оснащенные ЭВМ и компьютерной техникой должны иметь как естественное, так и искусственное освещение.

Требования к освещенности производственных помещений устанавливаются санитарными нормами. Нормирование производственного помещения производится в зависимости от характера зрительной работы, определяемого размерами объекта и фона.

Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений. В таблице 3.3 приведены нормированные значения освещенности рабочего места помещения при точном классе зрительных работ.

Таблица 3.3 – Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении, согласно СП 52.13330.2011 [10]

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта, мм	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк	
					Комбинированное освещение	Общее освещение
Высокая точность (3 разряд зрительной работы)	0,3–0,5	а	малый	темный	2000	500
		б	малый	средний	1000	300
			средний	темный	750	200
		в	малый	светлый	750	300
			средний	светлый	750	300
			большой	темный	600	200
		г	средний	светлый	400	200
			большой	светлый	400	200
			большой	средний	400	200

При выполнении работ рекомендуется использовать комбинированное искусственное освещение. Это позволит обеспечить равномерное распределение света по всей площади.

Поражение электрическим током

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Основными средствами и способами защиты от поражения электрическим током являются: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения; защитное заземление, зануление или отключение; вывешивание предупреждающих надписей; контроль за состоянием изоляции электрических установок; использование средств индивидуальной защиты.

К мероприятиям по обеспечению электробезопасности при работе с накопителем относятся следующие средства защиты:

- применение защитного заземления
- обеспечение защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям (защитный кожух)
- безопасное расположение токоведущих частей

3.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Вредные и опасные факторы могут принести непоправимый урон здоровью человека, поэтому необходимо пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед началом работы в лаборатории, необходимо пройти вводный инструктаж по технике безопасности. Прохождение инструктажа отмечается в лабораторном журнале.

Перед началом работы нужно проверить исправность оборудования (вилки и подводных кабелей). Проверить исправность электрической розетки. Протереть поверхность прибора влажной тряпкой от пыли.

Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать чистоту, порядок. На рабочем месте не должно быть посторонних вещей.

3.2 Экологическая безопасность

3.2.1 Анализ влияния накопителя механической энергии на окружающую среду

Практически полное отсутствие какого бы то ни было загрязнения окружающей среды — химического, термического и, при правильном монтаже системы, акустического. Однако при сравнении маховичных накопителей с аккумуляторами энергии других типов следует принимать во внимание возможность загрязнения, связанную не только с эксплуатацией накопителя, но и с его конструктивными особенностями. Так, при использовании маховика из армированных пластиков возможно выделение вредных для здоровья веществ в процессе его изготовления. В данной дипломной работе для маховика применяется сталь, у которой таковых вредных выделений для здоровья веществ не имеется.

3.2.2 Анализ «жизненного цикла» накопителя механической энергии

В среднем жизненный цикл накопителя механической энергии составляет 15-20 лет. После окончания срока службы оборудование может быть подвергнуто восстановлению поврежденных, отработанных или ставших непригодными по любой причине двигателей, замене маховика, утилизации и замене шарикоподшипниковых опор, полной утилизации защитного кожуха.

3.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решение целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижениях. Внедрение новых информационных технологий позволяет перейти на безбумажную технологию. Суть этой технологии проста: вся информация, используемая на производстве, преобразуется в электронный вид.

3.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При проектировании накопителя механической энергии с помощью программы T-Flex CAD, наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар.

Причинами пожара могут быть:

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

Мероприятия, устраняющие причины пожара, подразделяются на технические, эксплуатационные и организационные.

Для предотвращения пожара в рабочем помещении, необходимо соблюдать, следующие технические и эксплуатационные мероприятия:

- содержать помещение в чистоте, убирать своевременно мусор. По окончании работы проводить влажную уборку всех помещений;

- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте должен быть вывешен план эвакуации из корпуса с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним должен проверить: выключены ли нагревательные приборы, электроприборы, силовая и осветительная электрическая сети.

Также необходимо соблюдение организационных мероприятий:

- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий, иллюстративного материала и т. д.

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь планом эвакуации из помещения.

3.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Право на безопасный труд закреплено в Конституции РФ. В области охраны труда на предприятиях и в учреждениях основными законодательными актами являются Трудовой кодекс РФ (ТК РФ). Основные законодательные акты, обеспечивающие безопасные и безвредные условия труда, представлены ТК РФ.

Служба охраны труда в соответствии с возложенными на нее основными задачами выполняет следующие функции:

- проводит анализ состояния и причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний, разрабатывает совместно с соответствующими службами мероприятия по предупреждению несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также контролирует их выполнение;
- организует работу по проведению паспортизации санитарно-технического состояния на рабочих местах по подразделениям предприятия;
- организует совместно с соответствующими службами предприятия разработку и выполнение комплексного плана улучшения условий труда, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий, а также участвует в разработке соглашений по труду;
- подготавливает и вносит руководству предприятия предложения по разработке и внедрению более совершенных конструкций, предохранительных устройств и других средств защиты от опасных производственных факторов;
- участвует в работе по внедрению стандартов безопасности труда и научных разработок по охране труда;
- проводит совместно с соответствующими службами предприятия и с участием профсоюзного актива проверки (или участвует в проверках) технического состояния зданий, сооружений, оборудования, эффективности работы вентиляционных систем, состояния санитарно-технических устройств, санитарно-бытовых помещений;
- контролирует правильность составления и своевременность представления заявок на приобретение спецодежды, спецоборудования и других средств индивидуальной защиты, а также оборудования и материалов для осуществления мероприятий по охране труда;
- оказывает помощь подразделениям предприятия в организации контроля состояния окружающей производственной среды;

- участвует в работе комиссий по приемке в эксплуатацию новых и после реконструкции объектов производственного назначения, оборудования и машин, проверяя выполнение требований по обеспечению здоровых условий труда;

- проводит вводный инструктаж и оказывает помощь в организации обучения работников по вопросам охраны труда В соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015 и действующими нормативными документами;

- участвует в работе аттестационной комиссии и комиссии по проверке знания специалистами правил и норм по охране труда, инструкций по технике безопасности.

В соответствии с ТК РФ организация обеспечения безопасности труда в подразделениях возложена на их руководителей, которые проводят инструктаж по охране труда на рабочих местах. Общую ответственность за организацию работ по охране труда несет руководитель предприятия, а в его отсутствие — главный инженер.

3.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Компоновка рабочей зоны должна соответствовать эргономическим требованиям. Выполнение эргономических требований позволяет существенно снизить физическую и психологическую утомляемость персонала. Проведение мероприятий по оптимизации условий производства с эргономической точки зрения позволяет повысить производительность труда. К эргономическим показателям трудового процесса, обеспечивающим максимальную эффективность, безопасность и комфортность труда, относятся:

- гигиенические: факторы внешней среды;
- физиологические: соответствие рабочего места характеру работ, а также скоростным, энергетическим, зрительным и другим физическим способностям человека;

- психологические: соответствие навыков и возможностей восприятия умственных нагрузок при работе;

Факторы окружающей среды оптимизируются исходя из требований производственной санитарии к основным параметрам микроклимата.

По оценке физиологических факторов, можно исходить из того, что при выполнении 1 категории (легкая физическая работа) высота рабочей поверхности, при выполнении работ сидя для человека ростом 170-180см, должна составлять 740-790 мм над уровнем пола, высота рабочего сиденья 430-465мм. Высота расположения средств отображения информации на уровне 90-100 см. Рабочее место соответствует приведенным выше нормам.

Выполнение требований к психологическим факторам обеспечивается возможностью периодического отдыха для снятия умственного и психологического напряжения, размеренным ритмом работ.

3.4.3 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны при разработке накопителя механической энергии

Поскольку большинство операций по проектированию накопителя механической энергии выполняются в положении стоя, то рассмотрим следующие мероприятия при компоновке рабочей зоны.

По оценке физиологических факторов, при выполнении работ стоя согласно ГОСТ Р ИСО 14738-2007 [11], регулируемая рабочая высота, при высоких визуальных требованиях и/или требованиях к точности - от 105,3 см до 158,4 см, глубина пространства для ступней 21 см, высота пространства для ступней 49,1 см.

При эксплуатации накопителя механической энергии необходимо свободное пространство площадью 1 м². При помощи транспортировочного узла конструкция может перемещаться, опираясь на колеса, либо занимать устойчивое положение за счет ножек. Конструкция накопителя защищена кожухом. Открывать кожух следует только при неисправности работы самого накопителя, а в остальных случаях это недопустимо.

Заключение

В результате выполнения ВКР был спроектирован накопитель механической энергии в программной среде T-Flex CAD, который может обеспечивать электроэнергией частные жилые дома в удаленных регионах Российской Федерации. Накопитель спроектирован со следующими параметрами: необходимое количество энергии 2 кВт·сут; время разгона маховика 2 ч.; максимальная скорость вращения маховика 16000 об/мин; минимальная скорость вращения маховика 5000 об/мин, ресурс работы 7 лет.

Были рассмотрены виды накопителей энергии, проанализированы преимущества и области применения накопителей кинетической энергии.

Изучены варианты конструкций накопителей кинетической энергии, как основных элементов электроснабжения в современной энергетике. На основании изученных вариантов конструкций был выбран вариант конструкции с разнесённым двигателем и генератором.

В подсистеме выпуска конструкторской документации был автоматически из 3D сборки сгенерирован сборочный чертеж, а также чертеж маховика из 3D модели маховика.

При разработке накопителя кинетической энергии были рассчитаны основные эксплуатационные характеристики (масса накопителя кинетической энергии, момент инерции маховика, полная кинетическая энергия, основные параметры маховика, ресурс работы, массовая энергоёмкость, критическая угловая скорость маховика, расчет двигателя).

Так же была проанализирована экономическая эффективность проектирования накопителя механической энергии, в ходе которой выяснилось, что данная разработка обладает достаточно высокой ресурсоэффективностью.

В ходе работы определены опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации накопителя кинетической энергии. Предложены меры по уменьшению воздействия этих факторов на организм человека и окружающую среду.

Список использованных источников

1. Гулия Н.В. Накопители энергии – М.: Наука, 1980. – 257с.
2. Джента Д.Ж. Накопление кинетической энергии. – М.: Мир, 1988. – 425 с.
3. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов; Томский политехнический университет.–Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208 с.
4. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горялов Ф.А. Проектирование электрических машин. – М: Энергия, 1985. – 476 с.
5. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины.– М.; Высш.шк., 1990.– 416с.: ил.
6. Proatom. Новая жизнь центрифуги или аккумуляирование энергии. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=811>, свободный.– Загл. с экрана.
7. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
8. ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний.
9. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
10. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
11. ГОСТ Р ИСО 14738-2007 Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин

Список публикаций студента

1. Керимкулов А.Т. Накопитель кинетической энергии // Студенческий научный форум [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2018/3034/5098>, свободный. – Загл. с экрана.