Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.311.21

№ГР 01201175622

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»
д.т.н., проф., чл.-корр. РАН

_____ Рудской А.И.

« »июля 2012 года

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме

Разработка научно-технических и технологических основ проектирования, создание, исследования и испытания головного образца агрегата микро-ГЭС на сверхнизкие напоры с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии

по государственному контракту от «25» августа 2011 года №16.516.11.6107
(шифр заявки «2011-1.6-516-046-018»)

Этап 4: РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ И ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР
(заключительный)

Руководитель НИР
д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВИЭГ Елистратов В.В.

Санкт-Петербург

2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВИЭГ ИСФ	В.В. Елистратов (общ. редакция, разд. 2,6, 8)
Исполнители НИР	
д.т.н., академик РАН, профессор кафедры ВИЭГ ИСФ	Ю.С. Васильев (науч. консультант)
к.т.н., ст.н.с. НОЦ «ВИЭ» кафедры ВИЭГ ИСФ	Я.И. Бляшко (разд. 1, 3, 5-7)
д.т.н., профессор кафедры ВИЭГ ИСФ	Г.И. Сидоренко (разд. 8)
к.т.н., , профессор кафедры ВИЭГ ИСФ	Л.И. Кубышкин (разд. 7)
к.т.н., доцент кафедры ВИЭГ ИСФ	И.Г. Кудряшева (разд. 3)
к.т.н., доцент кафедры ЭМ ЭлМФ	А.С. Ватаев (разд. 1)
к.т.н., директор УНЦ. кафедры ВИЭГ ИСФ	М.А. Конищев (разд. 1-2, 4-6)
зав. лаб. ГЭУ кафедры ВИЭГ ИСФ	Ф.С. Милеев (техническое сопровождение исследований)
вед. электроник кафедры ВИЭГ ИСФ	Е.А. Воронин (техническое сопровождение исследований)
ассистент. кафедры ВИЭГ ИСФ	М.В. Дюльдин (разд. 2)
вед. программист кафедры ВИЭГ ИСФ	В.П. Атрашенок. (отчетная документация)
м.н.с. НОЦ «ВИЭ» кафедры ВИЭГ ИСФ	Е.А Скрынник (разд. 8)
техник 1 кат. кафедры ВИЭГ ИСФ	О.А. Ларина (техническое оформление отчета)
техник 1 кат. кафедры ВИЭГ ИСФ	А.В. Чернова (техническое оформление отчета)
магистрант кафедры ВИЭГ ИСФ	К.И. Давыдов (проведение исследований)
Нормоконтролер, учебный мастер кафедры ВИЭГ ИСФ	С.Ю. Брянцева

РЕФЕРАТ

Отчет о НИР 149 стр., 23 рис., 14 табл., 66 библ., 3 прил.

ГИДРОТУРБИНА, ИССЛЕДОВАНИЯ, МИКРОГЭС, ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ, ТЕПЛОАККУМУЛЯТОР, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, РЕКОМЕНДАЦИИ

Цель НИР – разработка научно-технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности и расширение сфер конкурентоспособного практического использования возобновляемых источников энергии для электро- и теплоснабжения потребителей в регионах России.

Объект исследования по НИР - научно-технические и технологические решения при проектировании, исследования и испытания головного образца агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт на сверхнизкие напоры 1.8 – 3.5 м с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева для комбинированного электро- и теплоснабжения автономных потребителей.

На этапе №4 НИР выполнено:

1. Обобщение и оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.
2. Проведение сравнительной оценки вариантов возможных решений исследуемой проблемы с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике в России и за рубежом.
3. Проведение технико-экономической оценки рыночного потенциала полученных результатов.
4. Разработка рекомендаций по внедрению разработанных агрегатов микро-ГЭС с учетом сравнения с другими видами возобновляемых источников энергии (солнце, ветер).
5. Разработка проекта методического документа в области малой гидроэнергетики.
6. Разработка проекта технического задания для проведения ОКР по теме «Разработка и создание агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии» .
7. Разработка рекомендаций по проектированию и изготовлению опытного образца агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева.
8. Оформление отчетной документации в соответствии с требованиями технического задания и актов Заказчика.
9. Научно-техническое обоснование социально-экономической эффективности микро-ГЭС на сверхнизкие напоры.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

1. ОБОБЩЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В СРАВНЕНИИ С СОВРЕМЕННЫМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ УРОВНЕМ 9

2. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ВОЗМОЖНЫХ РЕШЕНИЙ ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ, С УЧЕТОМ ПРОГНОЗНЫХ РЕШЕНИЙ, ПРОВОДИВШИХСЯ ПО АНАЛОГИЧНОЙ ТЕМАТИКЕ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ 16

2.1. Современные подходы к использованию низких и сверхнизких напоров 16

2.2. Анализ современных способов аккумулирования энергии 22

2.2.1. Накопление энергии с использованием теплофизических свойств вещества 22

2.2.2. Накопление энергии за счет изменения фазового (агрегатного) состояния 23

2.3. Выводы 24

3. ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ 25

3.1. Анализ методов технико-экономической оценки рыночного потенциала полученных результатов 25

3.2. Оценка рыночного потенциала систем микро-ГЭС – аккумулирование энергии на основе индукционного теплоаккумулятора 29

3.3. Предложения по коммерциализации результатов выполнения НИР 35

4. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ АГРЕГАТОВ МИКРО-ГЭС С УЧЕТОМ СРАВНЕНИЯ С ДРУГИМИ ВИДАМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (СОЛНЦЕ, ВЕТЕР) 36

4.1. Предложения по регионам внедрения агрегатов микро-ГЭС на сверхнизкие напоры для автономного потребителя 36

4.2. Выводы 48

5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА В ОБЛАСТИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ 49

6. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКР ПО ТЕМЕ «РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ» 50

7. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ТУРБИНОЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА 51

7.1. Разработка рекомендаций по изготовлению агрегата микро-ГЭС 51

7.1.1. Энергоблок 51

7.1.2. Система автоматического регулирования (САР) в составе агрегата микро-ГЭС 52

7.1.3. Разработка рекомендаций по изготовлению системы аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева ... 54

7.2. Разработка рекомендаций по проектированию и изготовлению систем аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии на основе индукционного нагрева . 55
7.2.1. Основные энергетические соотношения ... 55
7.2.2. Передача тепла от теплоаккумулятора в окружающую среду ... 58
7.2.3. Основные электрические характеристики теплоаккумуляторов микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с питанием от установки индукционного нагрева ... 59

7.3. Выводы ... 62

8. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРО-ГЭС НА СВЕРХНИЗКИЕ НАПОРЫ ... 64

8.1. Общие положения ... 64

8.2. Экономическая значимость ... 65

8.3. Финансовый анализ ... 66

8.4. Социальная значимость ... 66
8.4.1. Экологическая значимость объекта ... 67
8.4.2. Научно-техническая значимость объекта ... 67

8.5. Методики количественных оценок ... 67
8.5.1. Экономические оценки объектов ... 67
8.5.2. Социальная значимость объекта ... 70
8.5.3. Экологическая значимость объекта ... 72

8.6. Потенциальная потребность в оборудовании пико- и микро-ГЭС ... 76

8.7. Оценка социально-экономической эффективности ... 77

8.8. Перспективные регионы развития ... 80

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 82

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ... 84

ПРИЛОЖЕНИЯ ... 90

ПРИЛОЖЕНИЕ А: ПРОЕКТ МЕТОДИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА В ОБЛАСТИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ... 91

ПРИЛОЖЕНИЕ Б: ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОВЕДЕНИЕ ОКР ПО ТЕМЕ "РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ" ... 108

ПРИЛОЖЕНИЕ В: РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ТУРБИНОЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ... 124

ВВЕДЕНИЕ

Заключительный отчет о НИР выполнен в соответствии с государственным контрактом от 25 августа 2011 года № 16.516.11.6107 в рамках ФЦП «Научные исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»

Цель НИР – разработка научно-технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности и расширение сфер конкурентоспособного практического использования возобновляемых источников энергии для электро- и теплоснабжения автономных (децентрализованных) потребителей в энергодефицитных регионах России.

Обеспечение устойчивого энергоснабжения децентрализованных потребителей в энергодефицитных регионах может быть достигнуто использованием технического гидроэнергетического потенциала малых рек и ручьев и созданием высокоэффективного гидроэнергетического оборудования для малых и микро-ГЭС в этих регионах.

На это указывают и общемировые тенденции перехода к устойчивому экологически чистому энергообеспечению, а также изменение макроэкономической ситуации в России, связанной со значительным подорожанием энергоносителей, что объективно приведет к необходимости развития малой гидроэнергетики.

Одновременно, благодаря положительным примерам эффективного использования энергии малых рек и ручьев, среди потенциальных потребителей, в административных органах на местах, в министерствах и ведомствах появилось понимание необходимости и возможности использования малой гидроэнергетики для электрификации мест проживания людей, развития небольших производств и повышения качества жизни населения.

Однако для России оно имеет свои особенности, связанные не только со значительными запасами углеводородов, так и с разнообразием природно-климатических условий страны и наличием зон с экстремальными природно-климатическими условиями, что значительно усложняют задачи, стоящие перед создателями оборудования, для малой энергетики.

В то же время новые материалы и технологии позволяют решать вопросы создания нового оборудования на базе более совершенных технологических схем и более эффективно использовать гидравлическую энергию. Однако этот процесс в значительной степени сдерживается отсутствием эффективного по своим энергетическим и потребительским свойствам созданного на базе последних достижений науки и технологии гидравлического оборудования для использования низких (менее 10 м) и сверхнизких (менее 4 м) напоров.

Решение этой задачи непосредственно связано с выявлением наиболее представительных взаимных сочетаний напоров и расходов на малых реках, проведением на современном уровне глубокого анализа происходящего при работе гидромеханического оборудования

микро-ГЭС рабочего процесса, отбором наиболее совершенных конструктивных схем, проведением анализа их характеристик, разработкой базовых унифицированных решений и оптимизацией составляющих их элементов (турбина, устройство/система управления и др. части микро-ГЭС),

Вместе с тем, количество энергии, которые вырабатывают микро-ГЭС в единицу времени, носит стохастический характер, что объясняется вариабельностью расходов воды в реках во времени. Поэтому целесообразно аннулирование энергии с целью ее использования не в момент выработки, а по мере необходимости. Указанная задача решается с помощью различных систем. В настоящей работе она решается с использованием метода индукционного нагрева.

Результатом выполняемой НИР будет получение научно-технических результатов, позволяющих на основе проведенных теоретических и экспериментальных (лабораторных) исследований выявить и разрешить проблемы преобразования и аккумулирования энергии микро-ГЭС для автономных потребителей, научно-технологически обосновать их параметры и характеристики, создать и исследовать экспериментальный образец агрегата микро-ГЭС с аккумулированием энергии на основе индукционного нагрева, обобщить полученные результаты и на их базе разработать техническое задание на ОКР по теме «Разработка и создание агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева».

Выполнение настоящей работы позволит также разработать и унифицировать требования, предъявляемые к подобному оборудованию.

Микро-ГЭС, разрабатываемая в рамках настоящей работы будет отвечать следующим основным техническим требованиям:

- проточные части турбины - максимально рационализированы с точки зрения их изготовления при сохранении приемлемого уровня КПД;
- направляющий аппарат неподвижный, что при заданном диапазоне напоров 1,5 ÷ 3,5м, вполне обеспечит возможность работы в приемлемом диапазоне расходов при значительном упрощении турбины;
- в узлах трения используются подшипники качения;
- системы управления микро-ГЭС электронно–электрического типа, выполняемые по балластной схеме;
- негативное воздействие на качество поверхностных и грунтовых вод минимизировано, благодаря использованию в подшипниковых узлах консистентной смазки и исключения масло – гидравлических систем;

- алгоритмы функционирования систем автоматического управления обеспечат работу микро-ГЭС как в режимах выработки электро- или тепловой энергии с её аккумулированием, так и в комбинированном режиме.

Методы выполнения НИР на 4 этапе «Разработка рекомендаций и предложений по внедрению результатов НИР»:

1) методы анализа и обобщения результатов исследований;
2) методы технико-экономического и энерго-экологического обоснования результатов исследований;;
3) методы представления результатов в документации методического и рекомендательного содержания.

На этапе 1 выполнены патентные исследования и аналитический обзор для обоснования теоретических и экспериментальных энерго-гидравлических исследований по проблеме преобразования и аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии для автономного тепло- и электропотребителения.

На этапе 2 проведены теоретические исследования процессов преобразования энергии микро-ГЭС и ее аккумулирования на основе индукционного нагрева; выполнено имитационное моделирование и расчет проточной части экспериментального образца агрегата микро-ГЭС на сверхнизкие напоры; разработаны конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец агрегата микро-ГЭС мощностью 3-5 кВт на напоры 1.8 - 3.5 м с диаметром рабочего колеса пропеллерной турбины 0.35 м с 2-х – 4-х лопастной системой; разработана конструкторская документация и проведена модернизация экспериментального стенда для водно-энергетических исследований и испытаний головного образца агрегата микро-ГЭС.

На этапе 3 выполнено программное обеспечение и проведены исследовательские испытания экспериментального образца агрегата микро-ГЭС на экспериментальном стенде, разработана и применена система автоматизированного управления лабораторными водно-энергетическими исследовательскими испытаниями.

НИР по госконтракту связана с исследованиями по Гранту Президента России НШ-4807.2012.8, государственному контракту от «12»апреля 2010 г. №02.740.11.0750 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» и проекту 1.21.08 АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы на 2008-2012 годы».

1. ОБОБЩЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В СРАВНЕНИИ С СОВРЕМЕННЫМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ УРОВНЕМ

1.1. Постановка задачи

Учитывая небольшую мощность микро-ГЭС (в пределах 5 кВт), а также уровень и диапазон напоров, для использования которых она предназначена, при создании турбины микро-ГЭС необходимо было решить целый ряд научно-технических задач, к которым относятся в первую очередь следующие:

1 – обеспечение минимальных потерь энергии в проточной части турбины;

2 – создание высокоэффективного рабочего колеса турбины;

3 – создание конструкции турбины и её наиболее сложных частей, отличающихся технологичностью в условиях серийного производства.

Решение первой из выше приведенных задач связано с анализом функций элементов проточной части с точки зрения их функций и формы.

Вторая задача решалась путем создания лопастной системы с использованием метода математического моделирования с последующей визуализацией полученных результатов, последующего проектирования, изготовления и испытаний турбины.

Решение третьей задачи фактически явилось решением задачи функционально-стоимостного анализа.

Результаты решения этих задач - в промежуточных отчетах по настоящей работе [65]

Здесь необходимо отметить, что аналогичные задачи должны были решаться фирмами, производящими оборудование для малой гидроэнергетики.

Всего в мире насчитывается более 100 компаний, производящих оборудование для малых ГЭС, в том числе, более 20 из них производят также микро-ГЭС в диапазоне напоров до 4-5 м [2,4,13-17,23,63].

К числу крупнейших таких фирм можно отнести среди европейских производителей – фирмы Германии, Франции, Италии, Чехии, Норвегии и Швеции, а также фирмы США, Канады, Японии и Китая. При этом в Европе наиболее совершенное оборудование производит чешская фирма “Mavel” и шведская фирма “Cargo and Kraft”, в Японии “Fudzy electric” и “Marushima Hydrolic Gate Works”. Фирмы Китая выпускают микро-ГЭС в значительных количествах, исчисляемых в тысячах шт. Однако это оборудование крайне не надежно и недолговечно.

Оборудование японских и немецких производителей – микроГЭС с поперечно-струйными турбинами обладающими невысоким уровнем кпд (в пределах 70%) не эффективное и не может конкурировать с микроГЭС, где используются прямоточные – пропеллерные турбины.

Необходимо отметить, что, несмотря на наличие собственного производства микро-ГЭС на низкие напоры шведская фирма “Cargo and Kraft” уже более 15 лет закупает Микро-ГЭС10Пр с пропеллерной турбиной, производимое фирмой «ИНСЭТ» (Россия). Именно на основе опыта создания и более чем 20-летнего опыта эксплуатации этого оборудования [16, 23, 25] разработана прямоточная пропеллерная турбина для создаваемой микро-ГЭС[29, 65].

Также в результате выполнения НИР показана возможность создания микроГЭС, которые наряду со стандартными функциями электроснабжения [9-12,66] могли бы выполнять задачи теплоснабжения [7, 19] и, как ее частный случай,- снабжения потребителей горячей водой [18].

Такая возможность связана с особенностью работы микро-ГЭС, которая непрерывно в течение суток генерирует электроэнергию без регулярного технического обслуживания. При этом нагрузка на генератор в течение суток меняется по мере включения или отключения основных потребителей. Наиболее существенные изменения нагрузки естественно происходит в ночное время, когда основные потребители отключены. Таким образом, примерно треть суток современные микроГЭС работают в режиме, характеризующимся электрическим коэффициентом полезного действия, близким к нулевому значению. Соответственно снижается и электрический КПД электростанции в целом, который можно определить как отношение полезной энергии электростанции, выработанной за одни сутки, к ее полному значению.

В условиях неравномерной нагрузки возникает необходимость обеспечения устойчивой работы гидроагрегата. В настоящее время для этого используется система автоматического регулирования (САР), задача которой состоит в поддержании в течение суток величины нагрузки, близкой к номинальному значению. Это достигается путем ступенчатого замещения отключаемых потребителей соответствующим набором активных сопротивлений, собранных в единый блок балластной нагрузки (ББН), который является неотъемлемой частью гидроагрегата [65]. При таком переключении избыточная электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию и практически бесполезно рассеивается в окружающее пространство.

1.2. Обобщение результатов исследования по разработке низконапорного агрегата микро-ГЭС

Решение указанных выше задач в части турбины приведено в разделах промежуточных отчетов и публикаций по теме лота и НИР [**22**, **55,** 65].

Выполненный анализ функций и конструкций проточных частей позволил принять решение о необходимости выполнения турбины прямоточной для сохранения постоянного направления потока вдоль оси турбины. Лопатки направляющего аппарата выполнены неподвижными, так как при столь малом диапазоне изменения напора влияние изменения

угла и поворота на КПД будет крайне незначительным. В то же время лопасти рабочего колеса выполнены с возможностью поворота, что обеспечивает возможность отследить, при необходимости, значительные изменения расхода воды через турбины, которые происходят обычно по сезонам года. Разворот лопастей осуществляется на остановленной турбине без нарушения взаиморасположения турбины, генератора и возможность разворота лопастей обеспечивается конструкцией турбины.

Для повышения эффективности проточной части было максимально уменьшено втулочное отношение рабочего колеса (со стандартных 0,34 – 0,35 как это принято на практике, до 0,3).

Математическое моделирование проточной части позволило обеспечить правильный выбор входного и выходного углов лопасти и спроектировать лопасть с учетом полученных при моделировании результатов [33,**55,** 65] Дальнейшие испытания подтвердили правильный подход и решение вышеуказанных задач.

По данным испытаний максимальное значение КПД блока микро-ГЭС наблюдалось при φ = -50 и α0 = 1100 и составило $\eta_{макс}$ = 88,0 %. (Рисунок 1.1)

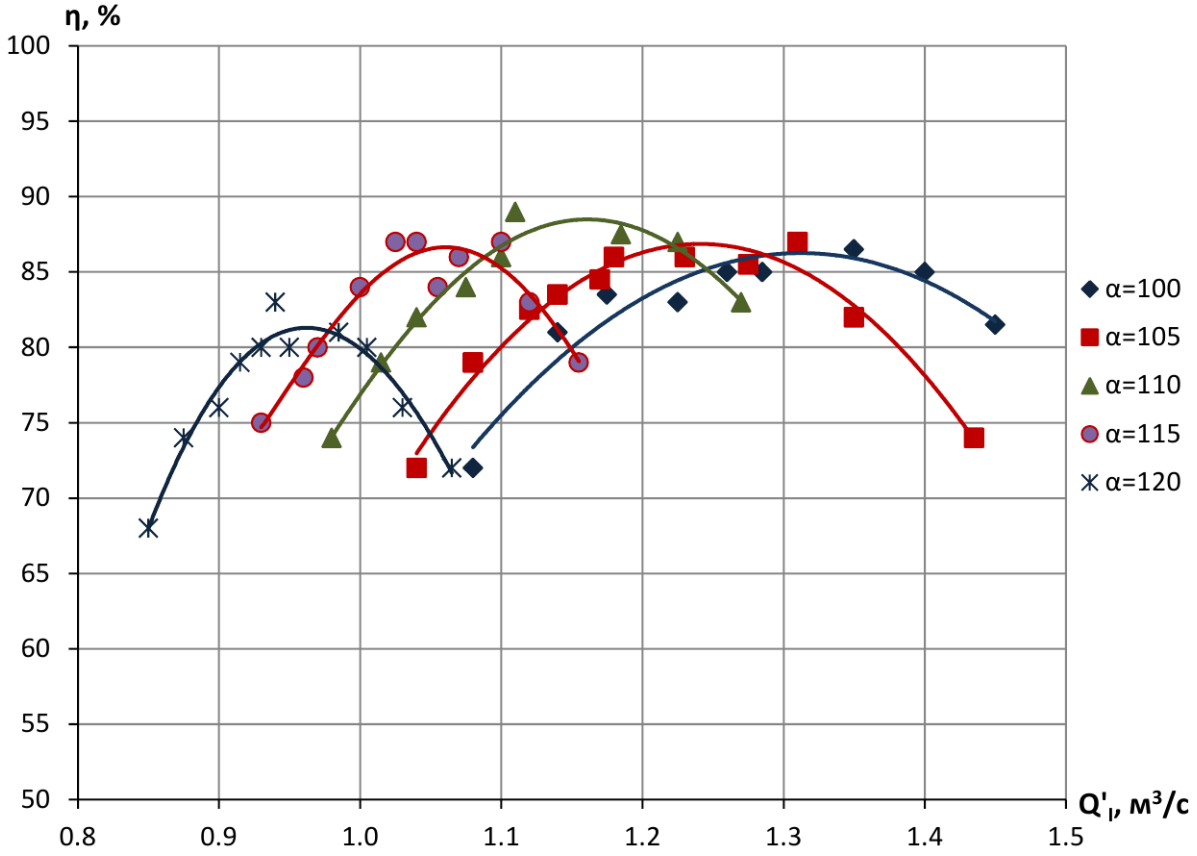

Рисунок 1.1 - График зависимости **η = f(Q'I) при** $\varphi = -50$

Анализ полученной универсальной характеристики (Рисуник 1.2), показал, что зона оптимума находится в интервале приведенных расходов Q_I' = (0,9-1,55) м^3/с и приведенных частот вращения n_I' = (125-160) об/мин.

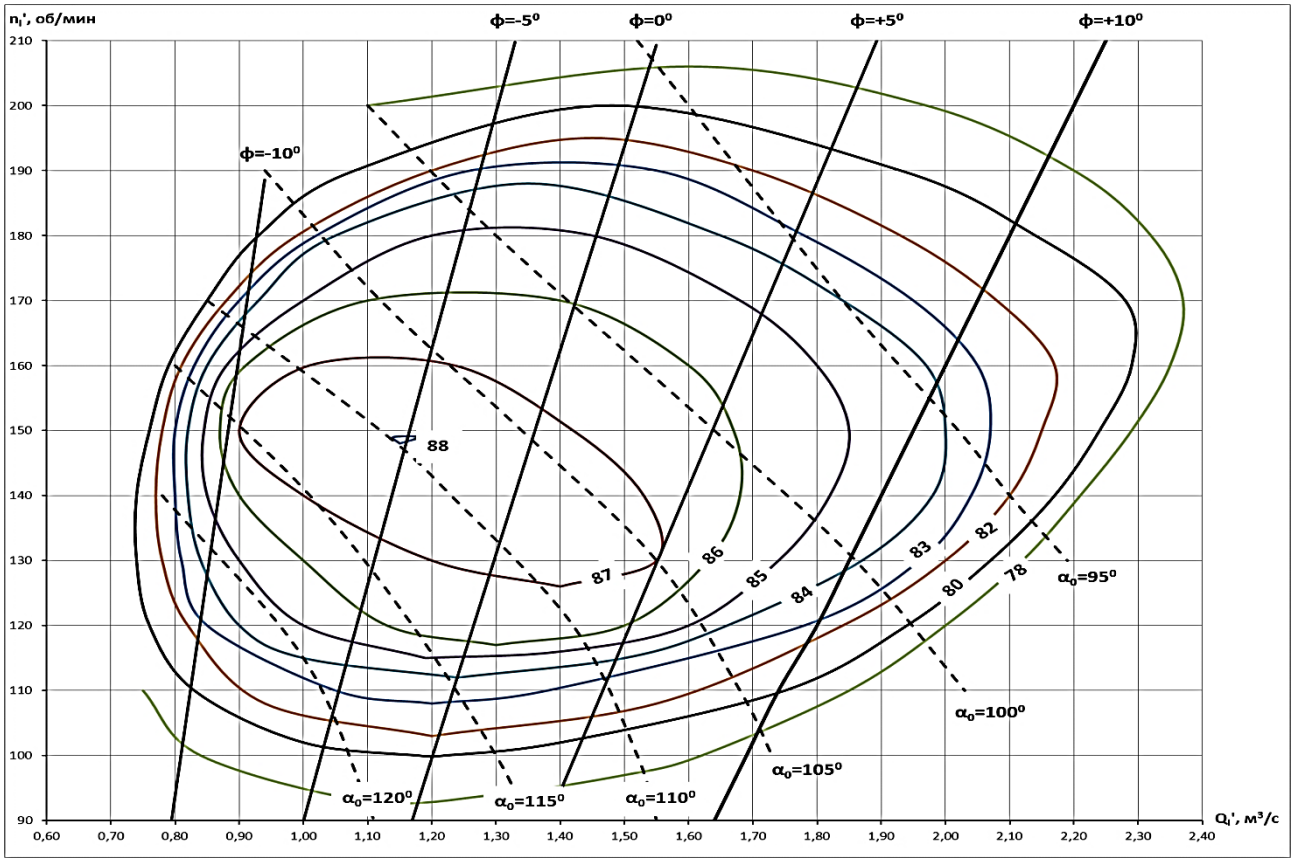

Рисунок 1.2 - Универсальная характеристика низконапорного агрегата микро-ГЭС

Анализ выполненных исследований и разработанного на этапе создания эскизного проекта конструкции турбины, проведенной с целью её приближения к требованиям серийного производства позволил внести в конструкцию ряд конструктивных изменений, делающих её более приспособленной для дальнейшей технологической проработки при освоении серийного производства в дальнейшем. По результатам анализа было предложено компоновочное решение низконапорного блока микро-ГЭС, изображенное на рисунке 1.3 (стр.13). Для сохранения прямолинейного характера движения воды было предложено разместить в капсуле угловой повышающий редуктор, а генератор вынести за пределы водопроводящего тракта.

Данный блок микро-ГЭС мощностью 4 кВт с рабочим колесом диаметром D_1=200 мм и жесткозакрепленными лопастями с углом установки ф= -10^0 предполагается использовать на низкие напоры H=2,5÷5 м. Лопатки направляющего аппарата также жестко закреплены в положении $\alpha_0 = 115^0$. Данное техническое исполнение с жестким закреплением рабочего колеса и направляющего аппарата обусловлено упрощением конструкции и удешевлением установки в целом, а также возможностью работы установки в автономном режиме. Несмотря на фиксированные угол установки лопастей рабочего колеса и угол установки направляющего аппарата, обеспечиваются достаточно высокие значения КПД блока микро-ГЭС (88%) при работе в требуемой зоне.

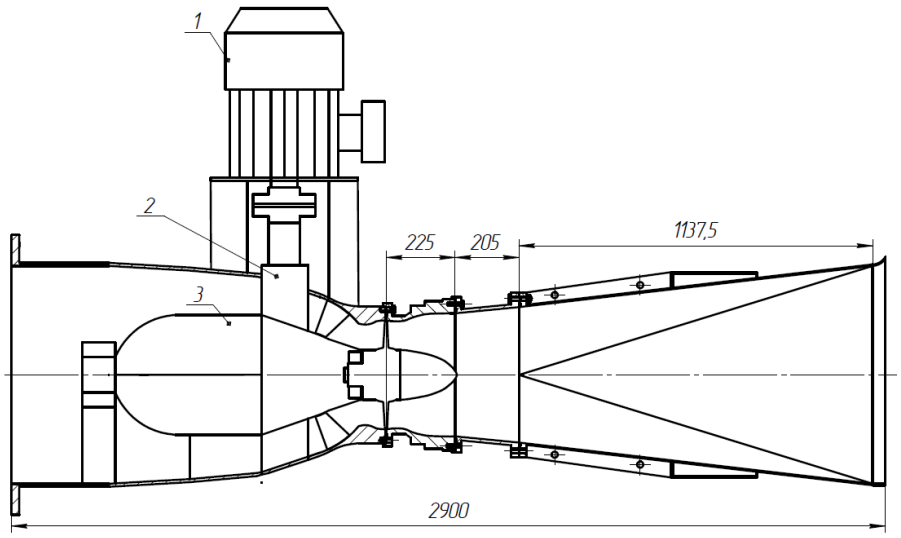

Рисунок 1.3 - Низконапорный блок микро-ГЭС:

1- асинхронный двигатель, 2- проходной статор, 3- капсула с угловым редуктором.

1.3. Пути повышения КПД микро-ГЭС применением индукционного нагрева как источника тепловой энергии

В рамках выполнения лота и НИР обобщены полученные ранее результаты по проблеме технологий аккумулирования энергии возобновляемых источников [2,8,**24**] и обоснован способ повышения электрического КПД микроГЭС путем использования электрической энергии для питания (в основном ночью) интенсивно разрабатываемых в настоящее время твердотельных аккумуляторов тепла или баков с водой горячего водоснабжения [1-4]. Предлагаемые в настоящее время в России [2,3,4,7,11,19] и за рубежом [10,12,14,19] аккумуляторы тепла представляют собой твердотельные накопители, изготовленные, например, из талькохлорита, или из смеси солей щелочных металлов и кристаллогидратов неорганических солей, которые обладают высокой теплоемкостью и (для смесей) значительной скрытой теплотой плавления (порядка 300 кДж/кг), питание которых осуществляется с помощью тепловых электрических нагревателей (ТЭН-ов). Такая конструкция нагревателей по своему физическому принципу эквивалентна конструкции ББН-ов и с этой точки зрения без особых доработок может быть встроена в систему управления электростанцией.

В настоящей теме наряду с ТЭН-ами предложено в качестве источника тепла для термоаккумуляторов использовать также установки индукционного нагрева. Это обусловлено тем, что использование ТЭН-ов в качестве источников тепла связано с рядом недостатков, основным из которых является необходимость из-за малой поверхности соприкосновения на участках контакта ТЭН-ов с телом теплоаккумулятора поддерживать весьма высокую температуру (порядка 600 ÷ 700 0С). При этом тело аккумулятора достаточно быстро разрушается, а срок службы самих ТЭН-ов существенно сокращается.

Недостатком использования ТЭН-ов для нагрева воды в баке горячего водоснабжения помимо их локальности является невозможность использования принудительного перемешивания воды с целью ускорения нагрева всего ее объема. Кроме того, в баках горячего водоснабжения особенно в зимнее время необходимо поддерживать постоянную температуру воды, расходуя при этом необходимую электрическую энергию.

Использование в качестве нагревателя в аккумуляторах тепловой энергии установок индукционного нагрева, в основном лишено перечисленных недостатков, так как они представляют собой распределенный источник тепловой энергии с высоким электрическим КПД, для которого не требуется поддерживать высокую температуру нагреваемых элементов. Вместе с тем, использование установок индукционного нагрева требует изменить систему автоматического регулирования работой электростанции с целью наиболее рационального распределения электроэнергии в течение суток и экономичного питания теплоаккумуляторов.

Физические основы индукционного нагрева состоят в том, что под действием электромагнитного поля в телах с конечной электрической проводимостью возбуждаются вихревые токи заданной частоты, сдвинутые по фазе на угол, зависящий от электрофизических свойств материала и геометрических характеристик проводника [18,19,65]. Эти токи являются источником тепловой энергии, которая в обычных электротехнических устройствах рассматривается как активные потери, а в установках индукционного нагрева – основным полезным выходным параметром. На предыдущих этапах настоящей темы была детально проработана теория и разработана методика расчета параметров установки индукционного нагрева применительно к исследуемой тематике аккумулирования тепла. Разработана основная схема индукционной установки и алгоритм управления работой микро ГЭС в реальных условиях ее работы. Кроме того, разработан, изготовлен и испытан макет системы автоматического регулирования (САР) микроГЭС.

В настоящем отчете (см. раздел 7) с использованием разработанной по теме методики выполнена расчетная оценка основных характеристик гидроагрегата микро ГЭС мощностью 5 кВт с питанием тепловых аккумуляторов и представлен алгоритм управления, заложенный в САР. При этом основное внимание будет уделено теплоаккумуляторам из шунгита, так как они не требуют дополнительных нагревательных элементов и, следовательно, наиболее просты в изготовлении и обслуживании, и их сравнению с рассмотренными ранее на предыдущих этапах темы теплоаккумуляторами из талькохлорита.

1.4. Выводы

1. Проведен анализ функций и конструкций элементов проточной части турбины МикроГЭС. на основе которого показано, что для снижения потерь энергии вектор потока должен совпадать с осью турбины, лопатки направляющего аппарата при малых напорах (до 3,5 м) могут быть выполнены неподвижными, а сезонное изменение расхода может быть обеспечено путем перестановки лопастей рабочего колеса с разворотом относительно вектора потока.

2. Выполнено математическое моделирование проточной части турбины на основе которого выбраны входной и выходной углы лопасти и разработано рабочее колесо турбины.

3.Выполнен анализ и оценена эффективность полученных по теме результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем, на основе которых предложена и обоснована возможность использования индукционного нагрева в качестве источника питания твердотельных и водяных теплоаккумуляторов.

4. Показано, что использование индукционного нагрева позволяет создать в широких пределах и удобный в обслуживании теплоаккумулятор с практически неограниченным сроком эксплуатации.

5. Обосновано преимущество твердотельных теплоаккумуляторов по сравнению с аккумуляторами тепла, использующими другие принципы преобразования энергии.

2. ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ВОЗМОЖНЫХ РЕШЕНИЙ ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ, С УЧЕТОМ ПРОГНОЗНЫХ РЕШЕНИЙ, ПРОВОДИВШИХСЯ ПО АНАЛОГИЧНОЙ ТЕМАТИКЕ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

2.1. Современные подходы к использованию низких и сверхнизких напоров

В настоящее время в большинстве европейских стран и странах БРИКС практически исчерпаны возможности использования гидроэнергетического потенциала в диапазоне напоров свыше 4-5 м. Поэтому в этих государствах признано целесообразным сооружение низконапорных станций [2,5,12]. Более того, в ряде случаев сооружаются каскады низконапорных станций [19,44,45,49]. При этом как в России, так и за рубежом затрачиваются значительные средства на решение экологических проблем, связанных с затоплением земель, сооружением рыбоходов, благоустройством прилегающих территорий [49,59,60]. Стремление к использованию сколь-либо значимого гидротехнического потенциала обусловило интерес к использованию сверхнизких напоров < 4-5м [1-3,21]. Для этого используются как гидроагрегаты с традиционными типами турбин, так и с турбинами специальных конструкций. К традиционным можно отнести S-образные и Z-образные турбины, а к специальным турбинам – с наклонной относительно потока осью и тремя лопастями рабочих колес диаметрами 1м и более, устанавливаемыми рядами перпендикулярно к потоку и сотовые конструкции, насчитывающие десятки турбин, расположенных протяженными рядами одни над другими.

Анализ сферы применения и возможностей приведенных выше агрегатов показывает, что они предназначены для использования низких напоров больших рек. Использование агрегатов таких конструкций в единичных количествах экономически нецелесообразно из-за значительной стоимости строительно-монтажных работ и самих агрегатов. Необходимо отметить, что масштабирование этих конструкций для использования потенциала малых рек и ручьев не эффективно, так как конструкции их не пригодны при диаметрах рабочих колес менее 0,3м, как этого требуют параметры малых водотоков. Имеются единичные экземпляры низконапорных турбин для малых водотоков, производящихся в Китае и других странах Юго-Восточной Азии, однако достоверной информации об их параметрах в доступе нет, а реальная информация достаточно сомнительна.

Основными типами турбин, которые целесообразно использовать в микро-ГЭС, работающих при сверхнизких напорах, являются пропеллерные турбины с вертикальными и горизонтальными осями, а также поперечно-струйные и свободно-поточные турбины.

На рисунке 2.1 приведена конструкция вертикального гидроагрегата с пропеллерной турбиной, устанавливаемого в бетонную или металлическую спиральную камеру.

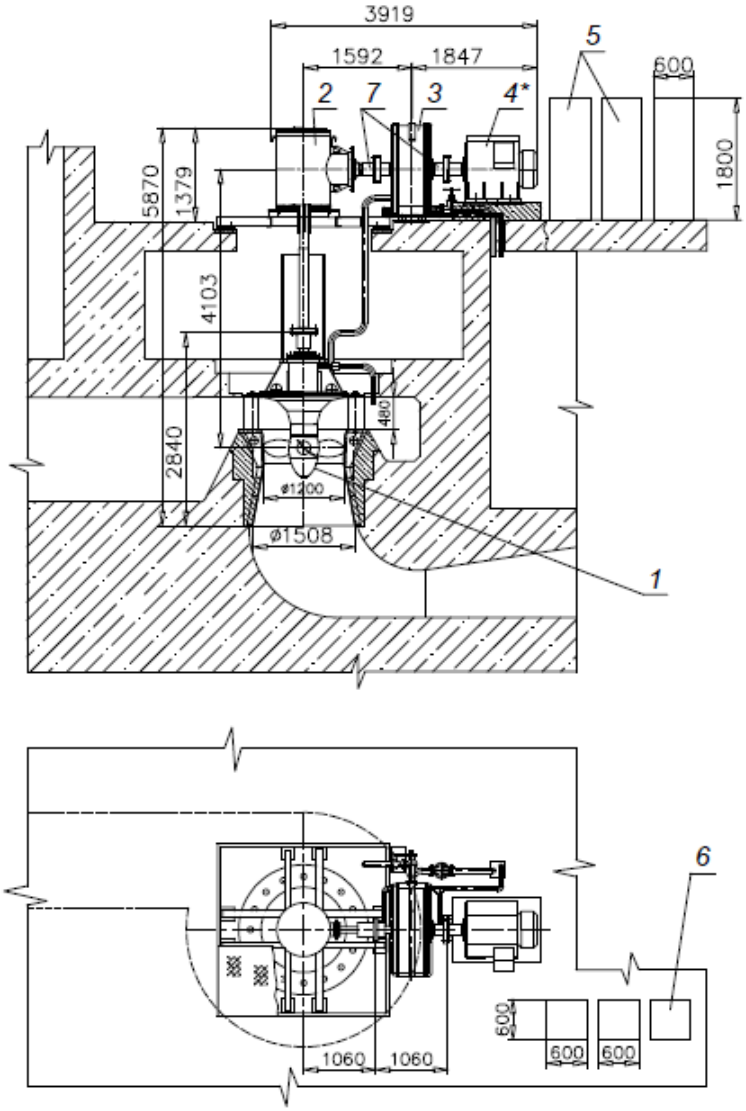

Рисунок 2.1 - Вертикальный агрегат с пропеллерной турбиной:

1– рабочее колесо турбины; 2 – угловой мультипликатор; 3 – противоразгонное устройство; 4 – генератор; 5-6 – шкафы системы управления.

Гидротурбина - вертикальная, пропеллерная с переустанавливаемыми на остановленной турбине лопастями рабочего колеса и лопатками направляющего аппарата. Гидротурбина может быть установлена в спиральной или открытой камере. Гидротурбина состоит из статора, содержащего камеру рабочего колеса и конус отсасывающей трубы, ротора турбины и направляющего аппарата.

Также вертикально устанавливаются гидроагрегаты с Z-образной пропеллерной гидротурбиной (см. Рисунок 2.2).

Гидротурбина состоит из статорной части, включающей в себя аванкамеру, кожух вала с колоннами статора, камеру рабочего колеса, которые совместно с диффузором отсасывающей трубы образуют проточный тракт, и роторной части, состоящей из рабочего колеса, вала, подшипникового узла и уплотнения вала.

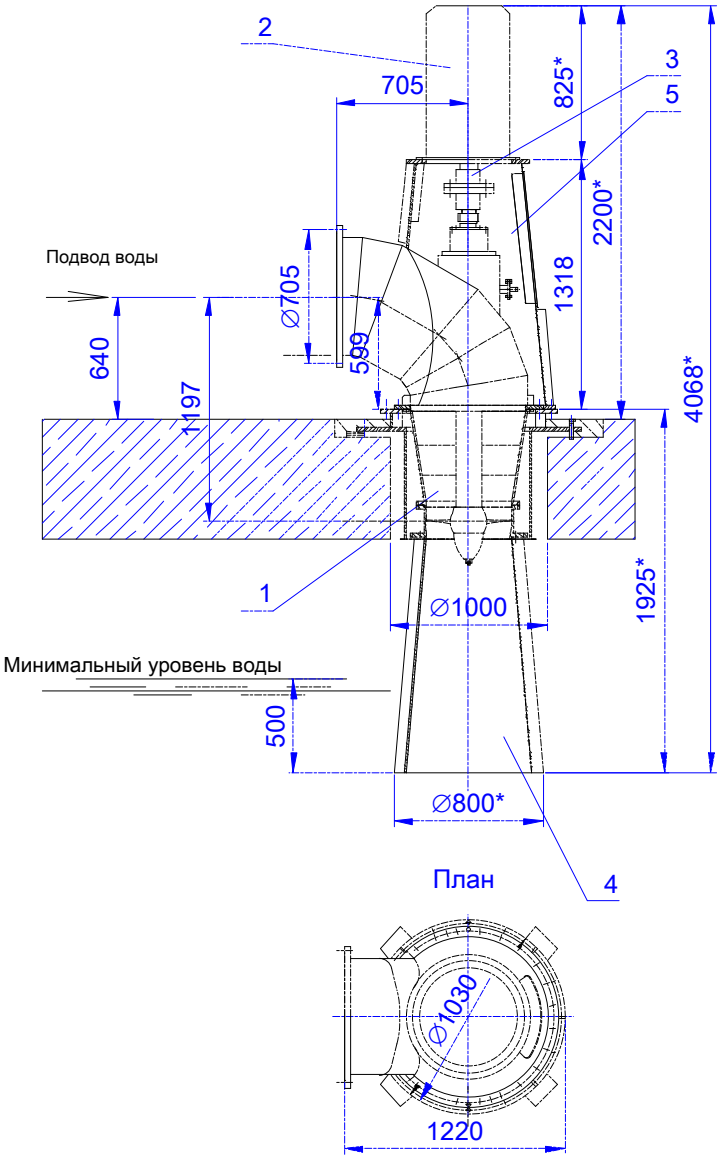

Рисунок 2.2 - Энергоблок с вертикальной пропеллерной турбиной:

1 – гидротурбина; 2 – генератор; 3 – муфта; 4 – диффузор; 5 – опора генератора.

Рабочее колесо имеет 4 лопасти. Конструкцией предусмотрена возможность установки лопастей на необходимый угол. Окончательная установка производится на станции при проведении пуско-наладочных работ. Лопасти фиксируются в установленном положении штифтами.

Вода из верхнего бьефа поступает в проточный тракт гидротурбины, подводится к рабочему колесу, создает на валу турбины крутящий момент и далее отводится в нижний бьеф.

S-образные агрегаты с пропеллерными турбинами также могут использоваться на низких и сверхнизких напорах. На рисунке 2.3 приведен подобный агрегат.

Вода из верхнего бьефа поступает в проточный тракт гидротурбины, подводится к рабочему колесу, создает на валу турбины крутящий момент и далее отводится в нижний бьеф.

Гидротурбина состоит из статора, содержащего капсулу с колоннами, камеру рабочего колеса и колено, ротора гидротурбины и направляющего аппарата. Нагрузки от веса неподвижных и вращающихся частей гидротурбины передаются на фундамент через опорные лапы.

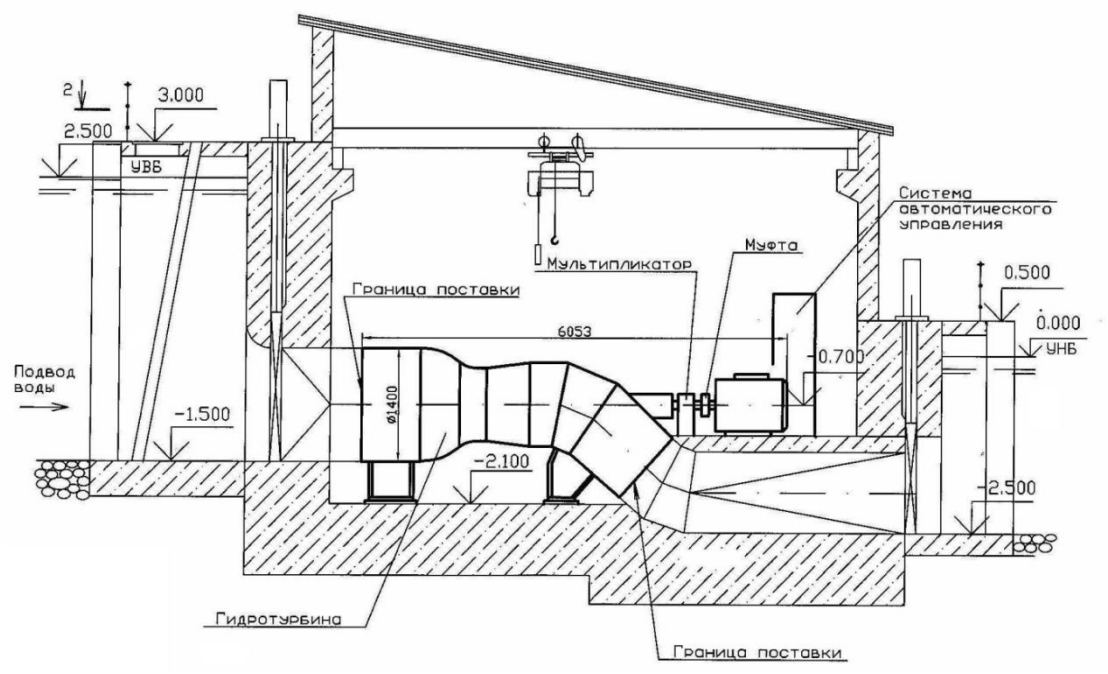

Рисунок 2.3 - Гидроагрегат с S-образной турбиной

Рабочее колесо - пропеллерное. Изменение угла установки лопастей рабочего колеса может быть произведено на остановленной гидротурбине. Направляющий аппарат - конический. Установка лопаток направляющего аппарата на параметры водотока осуществляется вручную.

Z-образные турбины могут быть установлены также горизонтально (Рисунок 2.4, стр. 20). В этом случае оси подводящего патрубка и диффузора взаимно перпендикулярны.

Проточная часть гидротурбины включает аванкамеру, кожух вала с колоннами статора, камеру рабочую и трубу отсасывающую. В рабочей камере расположено колесо рабочее. Колесо содержит втулку, 4 лопасти и обтекатель. Лопасти установлены в положение, соответствующее имеющемуся напору и расходу. Колонны статора наклонены относительно меридианной плоскости и обеспечивают закрутку потока перед

рабочим колесом. Подшипниковый узел турбины выполнен с использованием подшипников качения.

Поперечно-струйные турбины отличаются от пропеллерных большей металлоемкостью и габаритами. На рисунке 2.5 приведена поперечно-струйная турбина.

Гидротурбина состоит из статорной части, включающей в себя корпус с фланцами для соединения с переходником и трубой отсасывающей, и роторной части, состоящей из рабочего колеса, вала, подшипниковых узлов, затвора сегментного и уплотнения вала.

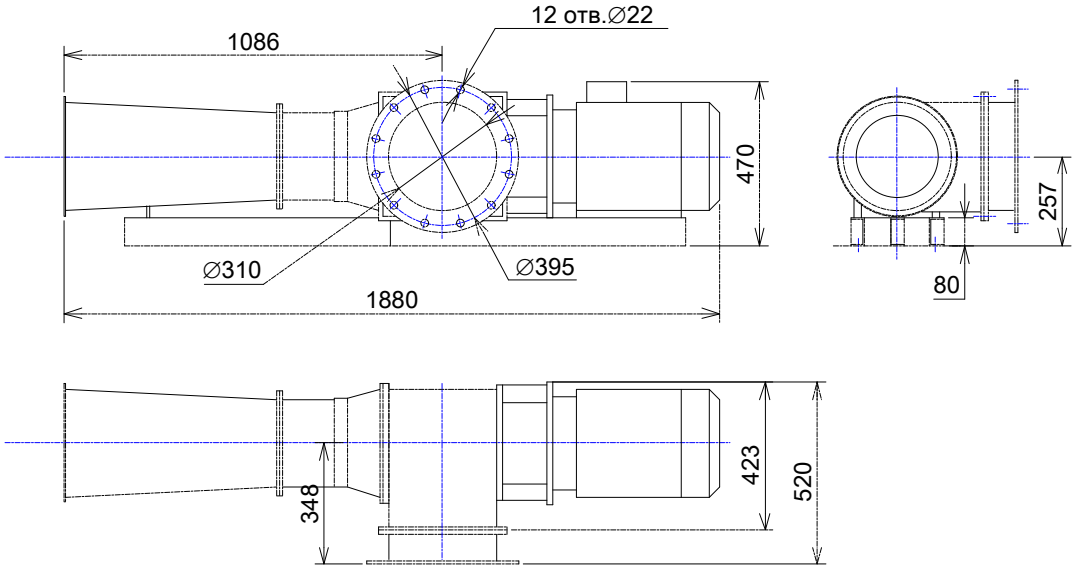

Рисунок 2.4 - Энергоблок с горизонтальной z-образной гидротурбиной

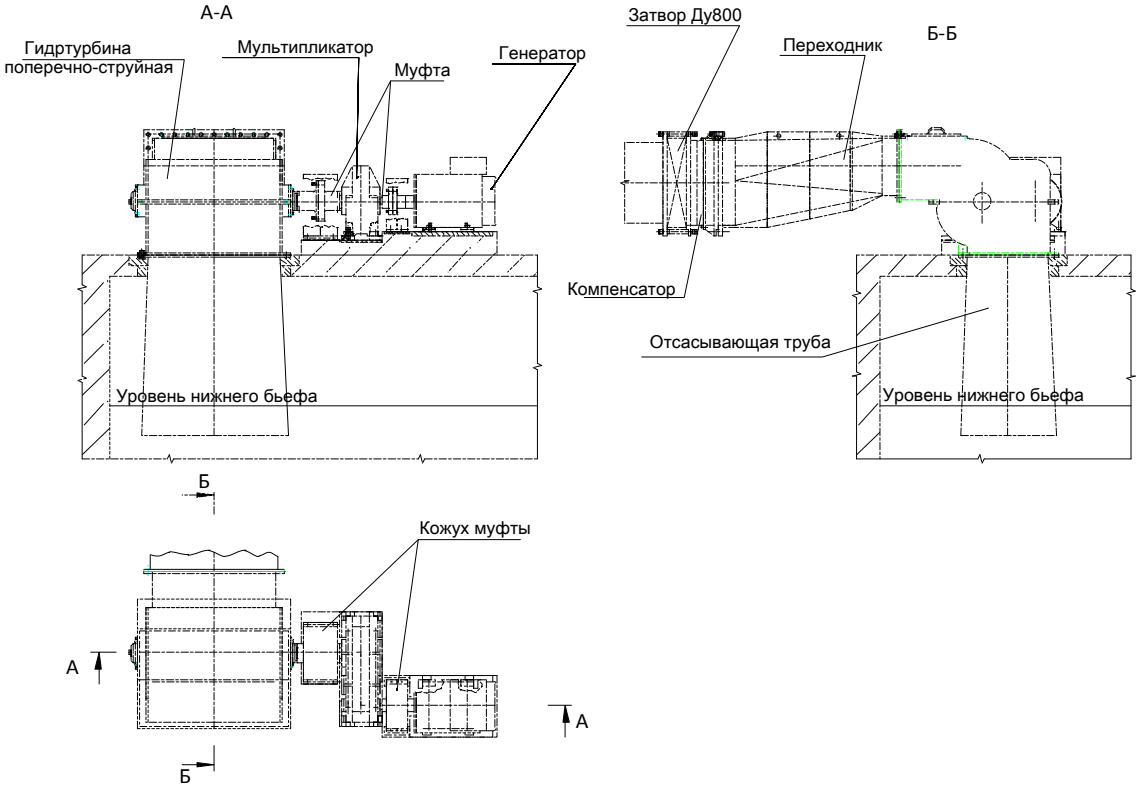

Рисунок 2.5 - Поперечно-струйная турбина

Вода из верхнего бьефа поступает в проточный тракт турбины, подводится к рабочему колесу, дважды взаимодействует с лопастями, создавая на валу турбины крутящий момент, и далее отводится в нижний бьеф. Рабочее колесо сварной конструкции, секционное и имеет 24 профилированных лопасти. Встроенный в турбину сегментный затвор предназначен для регулирования расхода воды, проходящего через турбину в процессе эксплуатации. Основные недостатки приведенных выше конструкций пропеллерных турбин кроме S-образной, несовпадение направления потока и оси рабочего колеса, вследствие чего теряется гидравлическая энергия. Также все эти турбины выполнены со значениями втулочного отклонения 0,34-0,35, что также увеличивает потери энергии. Учитывая, что микроГЭС рассчитана на мощность в пределах 5 кВт, необходимо более тщательнее, по сравнению с традиционным подходом, выполнения всей проточной части турбины, как показал ранее выполненный анализ влияния элементов и конструкции проточной части на ее эффективность [31,33,62].

Проведенный при выполнении настоящей работы анализ возможности использования микро-ГЭС со свободно-поточными турбинами показал, что недостатки этих турбин – низкий КПД, значительная металлоемкость, незащищенность от плавающего мусора и т.д., и, главное, низкая плотность энергии - пока не позволяют рассматривать это направление преобразования водной энергии в электрическую, как перспективное.

Полученные результаты обобщены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Сравнительная оценка показателей турбин

Показатель	Вертикальная		Горизонтальная		Поперечно-струйная	Свободно-поточная
	со спиральной камерой	Z-образная	S-образная	**прямоточная**		
Металлоемкость, кг/кВт	23	15	20	**10**	25	35
Относительный габарит перпенд.оси/ паралл. оси	1.25	0,30	2,40	**0.20**	1.20	1.30
КПД агрегата, %	89	91	92	**93**	72	30

Таким образом, анализ возможных вариантов выполнения микроГЭС в части турбины показал, что наиболее эффективной среди рассмотренных может быть прямоточная осевая турбина.

Сказанное выше подтверждает правильность выбранного варианта решения задачи создания микро-ГЭС на сверхнизкие напоры с использованием осевой турбины с пропеллерным рабочим колесом.

2.2. Анализ современных способов аккумулирования энергии

Теоретически может быть рассмотрен целый ряд способов аккумулирования энергии (в том числе, энергии микроГЭС) с целью ее дальнейшего использования, основными из которых могут явиться следующие:

- использование теплоемкости и теплопроводности, то есть теплофизических свойств веществ,
- изменение фазового состояния вещества, то есть
  - плавление и кристаллизация ,
  - испарение и конденсация и другие [3,18,29,65].

2.2.1. Накопление энергии с использованием теплофизических свойств вещества

Проектирование теплоаккумуляторов в этом случае связано с использованием двух видов теплоемкости: удельной и объемной. Удельная теплоемкость определяет количество энергии, которое необходимо для нагрева единицы массы вещества на 1 ^{0}С. Для большинства веществ (за исключением воды и лития, удельная теплоемкость которых соответственно равна 4,2 и 4,4 кДж/кг·^{0}С) теплоемкость меняется в пределах (0.1 ÷ 2) кДж/кг·^{0}С. Объёмная теплоёмкость является произведением удельной теплоемкости на плотность вещества и характеризует удельную энергию, которая необходима для нагрева на 1 ^{0}С единицы объема данного вещества.

Для наиболее часто используемых твердотельных аккумуляторов тепла и воды указанные параметры приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 -Тепловые характеристики теплоаккумуляторов

№	Параметр	Обозн.	Размерность	Материал:			
				шунгит	талькохлорит	вода	масло
1	Удельная теплоемкость	c	кДж/кг·^{0}С	0,88	0,98	4,2	1,68
2	Объемная теплоемкость	c_v	кДж/м^3·^{0}С	2700	2400	4200	1512
2	Коэффициент теплопроводности	λ	Вт/м·^{0}С	3,8	6,0	0,6	0,20
3	Плотность	ρ	кг/м^3	2700	2750	1000	900
4	Температуропроводность	a	м^2/с	$1{,}6\cdot10^{-6}$	$2{,}2\cdot10^{-6}$	$0{,}25\cdot10^{-6}$	$0{,}13\cdot10^{-6}$

Анализ приведенных в таблице наименее пригодным накопителем энергии является машинное масло, а наиболее выгодным – вода. Вода характеризуется высокой объемной теплоемкостью и используется в большинстве случаев нагрева помещений. Однако ее использование связано с большими капитальными затратами – оборудованием котла с нагревом воды, установкой батарей водяного отопления и прокладкой труб

водоснабжения – и для небольших помещений может быть неоправданно дорогим. Более дешевыми и удобными являются все более широко применяемые в последнее время твердотельные теплоаккумуляторы, для изготовления которых могут использоваться такие природные вещества как, как талькохлорит и шунгит. При этом использование шунгита при изготовлении теплоаккумулятора является более предпочтительным, чем использование талькохлорита, в связи с его более высоким значением объемной теплоемкости. В силу простоты устройства твердотельные накопители энергии, работая в пассивном режиме теплообмена с окружающей средой, имеют практически неограниченное число циклов накопления-отдачи энергии и очень длительный срок службы. Но время хранения энергии в них весьма ограничено и не превосходит нескольких суток.

В то же время использование теплоаккумуляторов в пассивном режиме на практике не всегда решает проблему отопления зданий и сооружений. В ряде случаев используют специальные каналы для циркуляции теплоносителя внутри теплоаккумулятора и его связи с окружающей средой, что неизбежно усложняет конструкцию и снижает её надёжность и энергоёмкость, а также усложняет техническое обслуживание.

Наконец, следует отметить, что значение коэффициента теплопроводности теплоаккумулятора, который характеризует, в том числе, и его реакцию на скорость изменения температуры окружающей среды (см. таблицу 2.2, стр. 22) делает шунгит как теплоаккумулятор более предпочтительным, чем талькохлорит.

2.2.2. Накопление энергии за счет изменения фазового (агрегатного) состояния

Изменение агрегатного состояния (плавление-твердение, испарение-конденсация), как правило, сопровождается значительным поглощением (или выделением) энергии. Этой энергии вполне могло бы хватить для отопления помещений. Особенность применения этого способа состоит в том, что в процессе изменения агрегатного состояния вещества его температура остается практически неизменной. Однако использование энергии, выделяемой при изменении агрегатного состояния достаточно сложно чисто технически.

Для реализации этого метода должны быть дешёвые, безопасные и устойчивые к разложению от воздействия высоких температур вещества с большой энергией фазового перехода и безопасной температурой плавления – до +60 ^{0}С. Этим требованиям удовлетворяют некоторые сложные органические соединения, например, нафталин с температурой плавления порядка (40 ÷ 65) ^{0}С или сплав Вуда, в состав которого входит

свинец, олово, висмут, имеющий температуру плавления 65.5 ^{0}С. Однако возможность использования этих веществ, в настоящее время научно и технически не обоснована.

Также в настоящее время не разработаны способы и методы накопления энергии за счет плавления и кристаллизации, с помощью термохимических реакций или иных экзотических подходов.

Таким образом, на основании выполненного анализа предлагается использовать метод накопления энергии твердотельными теплоаккумуляторами за счет теплоемкости, так как они экономичны, удобны в обслуживании и экологически безопасны при изготовлении и эксплуатации.

Правильность указанного выбора подтверждается тем, что также и в смежных областях энергетики при эксплуатации атомных и теплоэлектростанций для утилизации энергии в периоды минимального потребления переходят к использованию твердотельных теплоаккумулятор, так как другие способы (гидроаккумулирующие станции, масляные аккумуляторы и т.п.) характеризуются высокой стоимостью и неудобством в эксплуатации [65].

2.3. Выводы

1. Выполнен анализ и подтверждена правильность выбранного направления исследований, направленных на создание микро-ГЭС на сверхнизкие напоры с использованием осевой турбины с пропеллерным рабочим колесом.

2. На основании выполненного анализа современных методов аккумулирования энергии показано, что для микро-ГЭС должны быть использованы твердотельные теплоаккумуляторы с высокой теплоемкостью. Рекомендуется использовать теплоаккумуляторы на основе талькохлорита и шунгита.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Анализ методов технико-экономической оценки рыночного потенциала полученных результатов

Возросший интерес к малой энергетике связан с рядом факторов. Создание низконапорных экологически чистых объектов малой энергетики позволяет использовать потенциал небольших рек и ручьев, не приносящих ущербы, не вызывающих затопление больших территорий и позволяющих использовать значительную часть гидроэнергетического потенциала этих водотоков [1-2,17,23,28,58-61,64].

Разработанная на кафедре «Возобновляющиеся источники энергии и гидроэнергетики» малая гидротурбина мощностью 5 кВт может быть использована в диапазоне напоров от 2 до 5 м для комбинированного электро- и теплоснабжения в районах децентрализованного энергоснабжения Северо-Запада, Урала, Поволжья, Сибири, Алтая, Бурятии, Северного Кавказа [20,36].

Все действующие методы технико-экономической оценки интеллектуальной собственности полученных научно-технологических результатов, обеспечивающих повышение эффективности и расширение сфер конкурентоспособного практического использования ВИЭ для электро-и теплоснабжения потребителей в регионах РФ, рассматриваются с позиции трех известных в настоящее время классических методов:

- затратного;
- рыночного (метод сравнительных продаж);
- доходного (по прибыли) [27, 30,31].

Затратный метод. Согласно затратному методу стоимость объекта интеллектуальной собственности (ОИС) может оцениваться по затратам, необходимым для его воспроизводства или его замены за вычетом обоснованной поправки на начисленный износ актива. Если для материальных активов характерен физический износ, функциональное и экономическое устаревание, то для нематериальных активов характерны временной (или срочный) износ и моральный износ. Моральный износ связан с появлением более прогрессивных нематериальных активов, например, патентов, выполняющих ту же функцию в производстве определенного оборудования. Моральный износ патентов сопровождается падением прибыли в производстве проектируемого оборудования снижением доходности самого актива.

Затратный метод чаще всего применяется для оценки нематериальных активов, не участвующих в формировании будущих доходов и не приносящих прибыли в настоящее время.

На практике затратные методы оценки нематериальных активов используются в случаях, когда эти активы имеют социальное значение или участвуют в подобных программах, когда сферой их применения являются социальная сфера, космос, оборонные и научно-технические программы.

Стоимость актива, определяемая по затратному методу, называется исторической, так как она прежде всего базируется на фактически произведенных затратах, извлеченных из бухгалтерской отчетности предприятия.

Оценка по затратному методу является суммой фактически произведенных затрат на выполнение НИР в полном объеме (от поиска до отчета) при этом приведенные затраты для НИР состоят из затрат на поисковые работы, включая предварительную проработку проблемы, на теоретические исследования, на проведение экспериментов и утверждение отчета и другие подобного вида затраты; в тех случаях, когда созданию ОИС предшествует проведение только НИР, то расчет стоимости ОИС производится по затратам на фактически выполненные работы, приведенные затраты на правовую охрану правоустанавливающих документов ОИС, приведенные затраты на маркетинговые исследования и другие затраты подобного вида, приведенные затраты на доведение ОИС до готовности промышленного использования и коммерческой реализации и другие затраты подобного вида.

При использовании затратного метода при оценке ОИС проводятся следующие работы:

выявляются все фактические затраты, связанные с созданием, приобретением и введением в действие ОИС;

корректируются затраты на величину индекса цен на дату оценки;

определяется начисленная величина амортизации ОИС;

стоимость ОИС определяется как разница между скорректированной величиной затрат и начисленной амортизацией.

Использование затратного подхода заключается в определении стоимости микро-ГЭС по суммарным затратам, необходимым для восстановления или замещения данного объекта с учетом износа: физического, функционального и внешнего. Так как в данном случае имеет место создание нового объекта, то величина износа принимается равной нулю, таким образом затраты З на создание объекта принимаются в соответствии с зависимостью:

$$З = ПИ + КИ + ПП,$$

где ПИ - прямые издержки или сметная стоимость $С_{смет}$, т.е. та сумма, которая будет уплачена инвестором за реализацию проекта на основе договора-подряда.

$$ПИ = С_{смет} = С_{об} + С_{смр} + П,$$

где $C_{смр}$ - стоимость строительно-монтажных работ (зарплата рабочих и машинистов, стоимость строительных материалов, стоимость эксплуатации машин и механизмов, накладные расходы, плановые накопления - сметная прибыль);

$C_{об}$ - стоимость оборудования;

П – прочие затраты.

Считаем, что общая стоимость установки одной микро-ГЭС с учетом строительно-монтажных работ составляет 500 тыс. руб.

Сравнительный метод основан на принципе эффективно функционирующего рынка, на котором инвесторы покупают и продают активы аналогичного типа, принимая при этом независимые индивидуальные решения. Данные по аналогичным сделкам сравниваются с оцениваемыми. Преимущества и недостатки оцениваемых активов по сравнению с выбранными аналогами учитываются посредством введения соответствующих поправок.

При выполнении сравнительного анализа продаж в обязательном порядке осуществляется сравнительный анализ передаваемых имущественных прав по конкретным объектам интеллектуальной собственности и общий объем притязаний, вытекающий из формулы изобретения.

Эксперты или оценщики нематериальных активов при использовании сравнительного анализа продаж должны иметь в виду, что общие объемы продаж ОИС на российском интеллектуальном рынке крайне низки. Даже по крупным научно-техническим направлениям число сделок в год не превышает нескольких десятков. С учетом этого применять статистический анализ в сравнительных технологиях анализа продаж будет не совсем правильным и корректным. Здесь, скорее всего, необходимо использовать методы экспертных оценок, базирующиеся на привлечении к этой работе нескольких экспертов, мнения которых можно было бы использовать для принятия окончательных решений.

Для получения рыночной стоимости объекта в рамках сравнительного анализа необходимо иметь информацию о ценообразующих факторах объектов-аналогов, основанную на фактических ценах купли-продажи, формирующихся на открытом рынке:

$$S_o = F(f_1, f_2, \ldots f_j),$$

где $f_1, f_2, \ldots f_j$ - ценообразующие факторы (финансирование, местоположение, энерго-экономические характеристики, качество прав и т.д.). Окончательная рыночная стоимость объекта получается в результате внесения поправочных корректировок в значения ценообразующих факторов.

Трудность использования сравнительного подхода при оценке ГЭС как объекта недвижимости объясняется тем, что гидроэнергетические объекты отличаются уникальностью, неповторимостью и на рынке свободной продажи отсутствуют.

Доходный метод основан на расчете экономических выгод, ожидаемых от использования оцениваемых ОИС. Этот подход основан на определении размера прибыли (дохода), ассоциированной с оцениваемыми активами, коэффициента капитализации и ставок дисконта, учитывающих степень риска, связанного с доходностью используемых ОИС и остаточного экономического срока их службы.

Согласно доходному методу текущая стоимость проектируемого объекта может быть определена по нижеприведенной зависимости:

$$V = K_0 - \sum_{t=1}^{T} \frac{D}{(1+r)^t},$$

где K_0 – капиталовложения с учетом строительно-монтажных работ, тыс. руб.;

D – ежегодный доход от продажи электроэнергии, тыс. руб.;

T – жизненный цикл объекта, равный 20 годам;

r – реальная ставка дисконтирования, определяемая с учетом номинальной годовой ставки n_r и индекса инфляции b:

$$r = \frac{n_r - b}{1 + b}$$

Расчеты приведены для условий Сибири в соответствии с прогнозными ценами на электроэнергию по данным ОАО РусГидро для централизованных потребителей в сравнении с децентрализованными потребителями (в частности, по Красноярскому краю, рис.3.1). В расчетах принято, что в связи с изменением графика нагрузки потребителей в годовом разрезе на выработку электроэнергии расходуется мощность 3,5 кВт, а на тепловую энергию – 1,5 кВт.

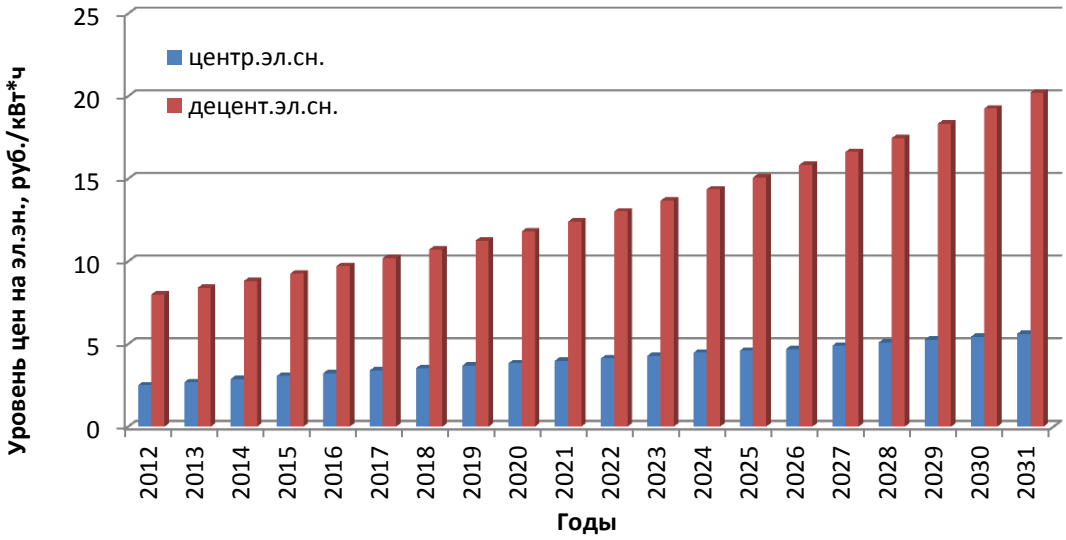

Рисунок 3.1- Прогноз уровня цен на электроэнергию для централизованных и децентрализованных потребителей Сибири

Таким образом, текущая стоимость проекта по доходному подходу с учетом потенциальной продажи электроэнергии потребителям представлена на рис.3.2.

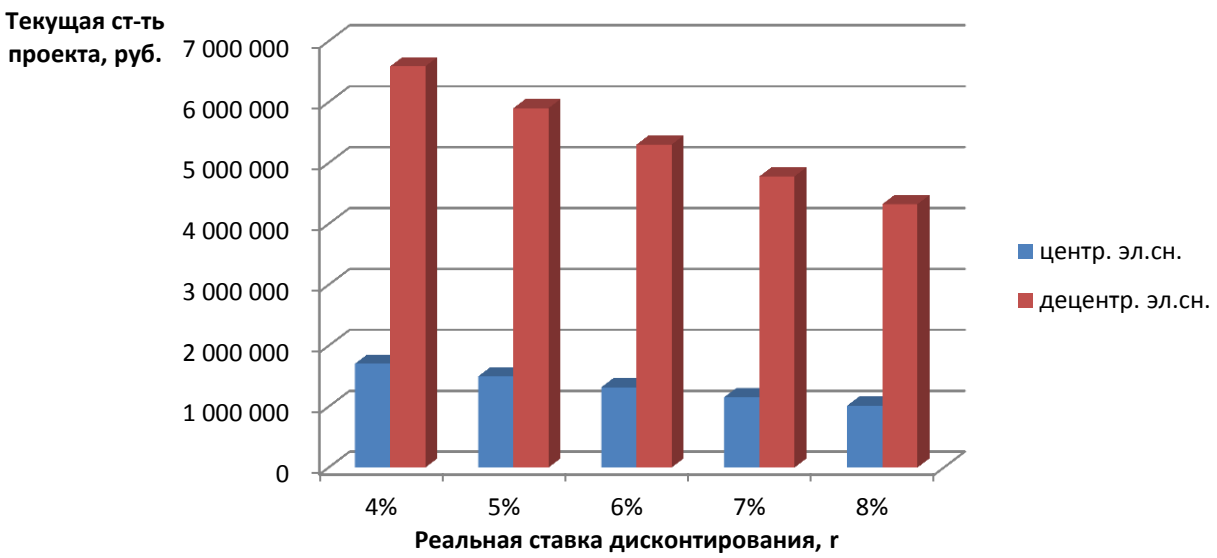

Рисунок 3.2. - Динамика текущей стоимости проекта для централизованных и децентрализованных потребителей Сибири в зависимости от изменения реальной ставки дисконтирования

Аккумулированный денежный поток в течение всего жизненного цикла проекта с учетом продажи электроэнергии, а также эксплуатационных издержек (4% от среднегодовой выработки электроэнергии), затрат на производство и строительно-монтажные работы представлен на рис.3.3.

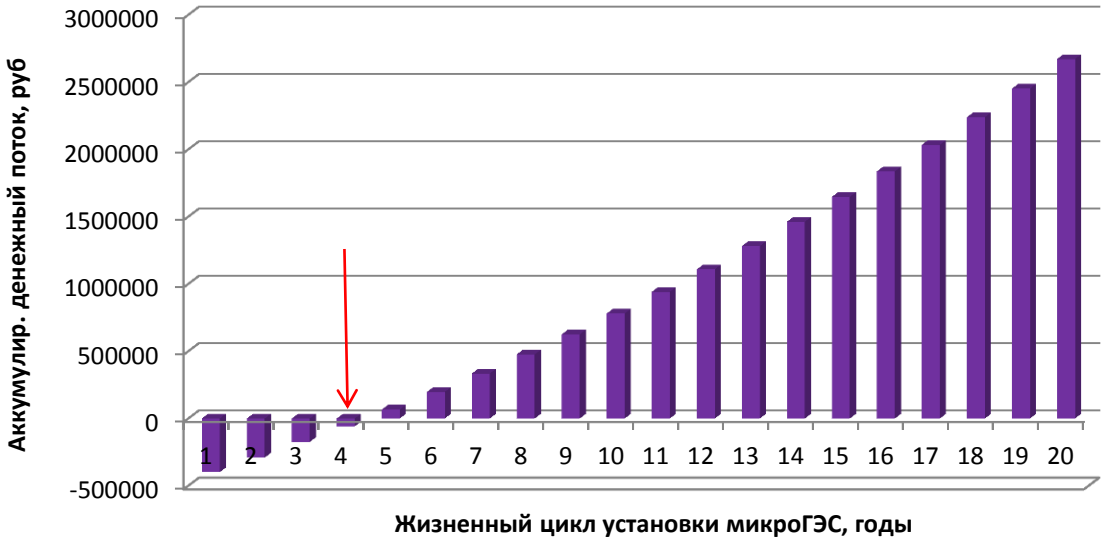

Рисунок 3.3- Аккумулированный денежный поток проекта с учетом затрат на производство и строительно-монтажные работы

Анализ данных, представленных на рис.3.3, показывает, что простой срок окупаемости проекта микро-ГЭС составляет 4 года.

3.2. Оценка рыночного потенциала систем микро-ГЭС – аккумулирование энергии на основе индукционного теплоаккумулятора

Разрабатываемые научно-технические результаты НИР должны обеспечить:

небольших автономных потребителей электрической и тепловой энергией в зонах децентрализованного энергоснабжения и без необходимости строительства длинной деривации для создания напора, что существенно снизит затраты на сооружение микро-ГЭС - не менее, чем на 30-50 %;

впервые в практике создания микро-ГЭС, кроме получения электроэнергии, будет обеспечено и горячее водоснабжение, что дает качественное энергоснабжение в соответствии с графиком нагрузки и полезное использование энергии речного стока с эффективностью до 90%;

за счет оригинального компоновочного решения возможно использование блока микро-ГЭС в режиме свободнопоточного агрегата при скоростях движения воды до 5 м/с;

развитие учебно-экспериментальной базы для подготовки специалистов и кадров высшей квалификации в области гидроэнергетики.

Разработанные научно-технические результаты НИР имеют конкурентно-способные преимущества по сравнению с аналогами за счет:

возможностей одновременного производства электрической и тепловой энергии;

более совершенного, с более высокими энергетическими характеристиками (на 3-5%) низконапорного осевого колеса высокой быстроходности и оптимизированной проточной части и принципиально новой индукторной установки в теплоаккумуляторе;

на 10-15% меньшей материалоемкости и массы агрегата;

использования современной автоматической системы управления агрегатом на основе новых программно-технологических решений.

В настоящее время, около 70% территории России составляют зоны децентрализованного энергоснабжения и неэлектрифицированные зоны, в которых находится большое количество изолированных от энергосистем потребителей, энергоснабжение которых осуществляется от автономных источников малой мощности [28,56-58]. Общее число потребителей, нуждающихся в качественном энергоснабжении в этих зонах России составляет около 20 млн. человек [2,58]. Территориально регионы децентрализованного энергоснабжения расположены в Дальневосточном, Сибирском, Уральском, Приволжском, а также Северо-Западном и Южном федеральных округах, где потенциал малой гидроэнергетики особенно велик. В связи с удаленностью ряда населенных пунктов этих регионов сложился острый дефицит энергетических мощностей, удовлетворить который средствами большой энергетики в ряде случаев экономически и технически нецелесообразно. В соответствии с ФЗ РФ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» сформированы региональные программы развития энергообеспечения, которые предусматривают внедрение генерирующих источников на возобновляемых источниках энергии, и в том числе, микро-ГЭС.

Кроме того следует отметить следующее: слабое развитие транспортной инфраструктуры на севере и востоке страны серьезным образом осложняет проблему топливоснабжения потребителей [47,48]. У наиболее отдаленных потребителей транспортная составляющая стоимости привозного топлива достигает 70-80%. Цена дизельного топлива у наиболее труднодоступных потребителей на северо-востоке страны достигает 800-1000 $/т, что приводит к высокой себестоимости производства электроэнергии: 50-70 цент/кВт*ч, поэтому из бюджетов различных уровней выделяются значительные дотации на завоз топлива и содержание энергоисточников. Состояние дизельных электростанций, как правило, неудовлетворительное, требуется замена оборудования на современное с улучшенными технико-экономическими показателями. Экономия топлива и денежных средств на его закупку ограничивает отпуск электроэнергии потребителям до 5 часов в сутки летом и 10 часов – зимой.

Использование гидропотенциала небольших водных источников и внедрение микро-ГЭС позволит:

- сократить объемы дорогого органического топлива;
- снизить негативное влияние энергетики на окружающую среду;
- улучшить комфортность и качество жизни населения.

На рис. 3.4 показана предполагаемая структура продаж микро-ГЭС на рынке Красноярского края [1].

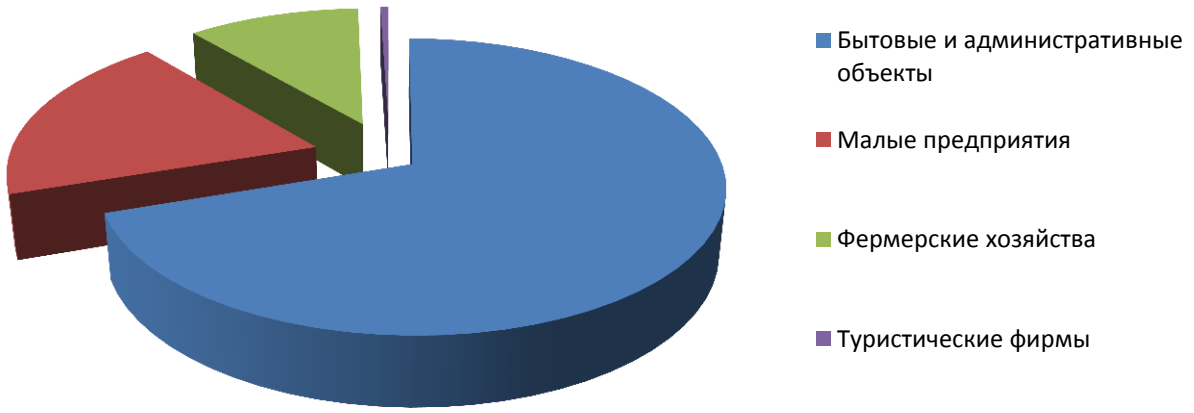

Рисунок 3.4- Прогнозируемая структура продаж микро-ГЭС на рынке сбыта Красноярского края.

Так как структура промышленного сектора экономики края, тенденции развития промышленности края, структура частного предпринимательства в производственной сфере соответствуют аналогичным показателям по России в целом, за основу при расчете доли малых производственных предприятий в структуре рынка сбыта микро-ГЭС взяты данные по сбыту аналогов в европейской части РФ [1-2].

Интегрируя преимущества микро-ГЭС для потенциальных покупателей можно отметить следующее:

- размещение микро-ГЭС не связано с услугами со стороны поставщика энергии и возможно в местах, удаленных от централизованных коммуникаций;

- стоимость электро-и теплоэнергии ниже, чем при использовании альтернативных источников, работающих на органическом топливе;

- потребитель является собственником данной установки.

Стоимость 1 кВт·ч дизельной электростанции составляет 15-20 руб., стоимость 1 кВт*ч микро-ГЭС на основе индукционного теплоаккумулятора – составит 1,3 руб. (см.гл.8)

Анализ результатов концентрации сельских населенных пунктов (СНП) по численности населения указывает, что наибольшее число СНП с численностью населения более 3 000 человек сосредоточено на территории Северо-Кавказского региона – около 700, Уральского и Сибирского – около 200 в каждом, в Приволжском и Центральном – около 140. При этом СНП с численностью более 10 000 человек в Северо-Кавказском регионе насчитывается около 110, а во всех других регионах вместе взятых – около 50 [7]. Анализ природных топографо-географических особенностей регионов позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективными регионами для размещения микро-ГЭС являются Северо-Кавказский, Сибирский и Северо-Западный регионы. [7]

Анализ схем развития малой энергетики в субъектах Федерации, расположенных в Северо-Западном, Северо-Кавказском, Уральском, Сибирском ФО, республики Алтай, Тыва, Бурятии, где уже в течение 15 лет ведется целенаправленная работа по использованию гидроэнергетических ресурсов малых рек показывает, что потребность в микро-ГЭС в этих регионов по оптимистическому варианту может составить до 3-4 тысяч штук за 5 лет [57,58]. При этом учитываются проблемы в энергоснабжении, высокая стоимость электроэнергии до 6-8 руб. за кВт*ч, благоприятные природно-климатические условия и сравнительно высокий реальный уровень жизни населения. В дальнейшем в расчетах принимаем консервативный вариант – 1000 микро-ГЭС за 5 лет.

В табл.3.1. приведены обобщенные данные о востребованности микро-ГЭС по всем федеральным округам РФ в течение 5 лет с учетом количества автономных децентрализованных потребителей, площади территории проживания децентрализованных потребителей, плотности населения, гидроэнергетического потенциала [57,58].

Таким образом, технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов в соответствии с Методическими рекомендациями по определению рыночной стоимости интеллектуальной собственности от 26 ноября 2002 г. № СК-4/21297 [27] показывает, что спрос на подобные малогабаритные автономные энергетические установки на основе использования значительно потенциала малой гидроэнергетики России, особенно в

отдаленных малонаселенных, территориально разбросанных зонах очень высок. Особенный спрос и востребованность подобного рода автономных энергетических установок ожидается для электро- и теплоснабжения баз отдыха, кемпингов, дачных поселков, коттеджей, расположенных в зонах децентрализованного энергоснабжения, к которым относятся районы Северо-Запада, Урала, Поволжья, Алтая, Сибири, Северного Кавказа, а также Центральной России. Ввиду отсутствия зарубежных аналогов, возможная экспортная продажа такого рода установок на зарубежный рынок.

Таблица 3.1 - Востребованность микроГЭС по России

№ п/п	Название федерального округа	Общее кол-во населения, чел.	Население с децетр. эл.снабжением, чел.	Площадь, км^2	Площадь децент. р-нов, км^2	Потреб-ность в микро-ГЭС за 5 лет
1	Центральный	38 539 614	1 500 000	652,80	26,1	20
2	Южный	13 880 708	2 000 000	416,84	10,5	30
3	Северо-Западный	13 652 525	4 000 000	1 677,90	234,90	200
4	Дальневосточный	6 263 219	2 500 000	6 215,90	3418,70	150
5	Сибирский	19 254 242	4 500 000	5 114,80	1278,70	200
6	Уральский	12 136 912	1 500 000	1 788,90	214,67	100
7	Приволжский	29 808 653	1 000 000	1 038,00	31,14	50
8	Северо-Кавказский	9 494 233	3 000 000	159,86	49,55	250
	Итого:	**143 030 106**	**20 000 000**	**17065**	**5316,8**	**1000**

Анализ отечественного и зарубежного опыта по оценке объектов интеллектуальной собственности [26,31,49,58] показывает, что на сегодняшний момент в России достаточно подробно разработана методологическая база оценки традиционных объектов недвижимости, бизнеса, транспорта и оборудования, базирующаяся на использовании зарубежного опыта с учетом специфики соответствующих секторов российского рынка. В настоящее время отсутствуют утвержденные методики оценки рыночной стоимости проектирования гидроэнергетических объектов.

При определении рыночной стоимости продукта проектирования ГЭО следует руководствоваться следующими методическими основами [27,30,31]:

рыночную стоимость имеют объекты оценки, способные удовлетворять конкретные потребности при их использовании в течение определенного периода времени (принцип полезности);

рыночная стоимость объекта оценки зависит от спроса и предложения на рынке и характера конкуренции продавцов и покупателей (принцип спроса и предложения);

рыночная стоимость объекта оценки не может превышать наиболее вероятные затраты на приобретение объекта эквивалентной полезности (принцип замещения);

рыночная стоимость объекта оценки зависит от ожидаемой величины, продолжительности и вероятности получения доходов (выгод), которые могут быть

получены за определенный период времени при наиболее эффективном его использовании (принцип ожидания);

рыночная стоимость объекта оценки изменяется во времени и определяется на конкретную дату (принцип изменения);

рыночная стоимость объекта оценки зависит от внешних факторов, определяющих условия их использования, например, обусловленных действием рыночной инфраструктуры, международного и национального законодательства, политикой государства в области интеллектуальной собственности, возможностью и степенью правовой защиты и других (принцип внешнего влияния);

рыночная стоимость интеллектуальной собственности определяется исходя из наиболее вероятного использования интеллектуальной собственности, являющегося реализуемым, экономически оправданным, соответствующим требованиям законодательства, финансово осуществимым и в результате которого расчетная величина стоимости интеллектуальной собственности будет максимальной (принцип наиболее эффективного использования).

Для определения верхней границы рыночной стоимости микро-ГЭС следует использовать доходный подход, сущность которого заключается в прогнозе будущих денежных потоков и их дисконтировании на текущий период, поэтому необходим тщательный анализ и прогноз будущих денежных потоков доходов и расходов с учетом структуры, величины и периодичности поступления, а также расчет ставки дисконтирования. Стоимость, полученная доходным подходом, является верней границей доверительного интервала рыночной стоимости.

Оптимальным решением определения реальной стоимости МГЭС является комбинированный доходно-затратный подход, основой которого является составление финансовой модели, учитывающей как затраты на создание ГЭС, так и доходы, получаемые за счет производства электроэнергии. Основной трудностью реализации финансовой модели является прогноз тарифов на электроэнергию и прогноз налогов.

Получение реальной стоимости гидроэнергетических объектов открывает возможности дополнительного привлечения инвестиций и кредитов в строительство и развитие инфраструктуры, формируемой в районе ГЭО. Обеспечение гарантий получения доходов на вложенные средства даст возможность минимизации рисков инвесторов, что, несомненно, скажется на увеличении объемов инвестиций в электроэнергетику и имеет большое значение не только для данной отрасли, но и для развития экономики в целом.

Разработка стратегии и тактики поведения на рынке требует систематического анализа рисков, что подразумевает интегрированный риск-менеджмент в процессе принятия решений на всех уровнях управления ГЭО с целью максимизации доходов.

3.3. Предложения по коммерциализации результатов выполнения НИР

Предложения по коммерциализации результатов НИР выполнены по [30-31]

Основной формой выгод от использования интеллектуальной собственности проектирования и внедрения микроГЭС является простота сооружений таких установок и отсутствие специального здания для размещения гидроагрегатов, что существенно снижает затраты на строительно-монтажные работы.

Потребность в такого типа установках для регионов РФ, и, в частности, потребителей, изолированных от энергосистем, может составить не менее 1000 штук по оптимистическому варианту и по консервативному варианту 3-4 тысячи за период 5 лет (раздел 3.2).

В сравнении с дизельной электростанцией при работе микро-ГЭС объем вытеснения органического топлива может составить 9 т из расчета расхода дизельного топлива (220 г/кВт*ч) на производство аналогичной выработки электроэнергии одной установкой или 11700 т при производстве 1000 микро-ГЭС. При цене дизельного топлива 800 -1000 $/т, экономия только на закупку дизельного топлива составит 11,7 млн. руб. Учет транспортных расходов в отдаленные районы РФ, не имеющей транспортной инфраструктуры, может увеличить эффект от внедрения микро ГЭС в отдаленных регионах дополнительно на 20-30%.

Среднегодовой доход ($Д_{ЭЭ}$) от внедрения микро-ГЭС при производстве 1000 шт. (консервативный вариант) для децентрализованных потребителей составит около 667 млн.руб.

4. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ АГРЕГАТОВ МИКРО-ГЭС С УЧЕТОМ СРАВНЕНИЯ С ДРУГИМИ ВИДАМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (СОЛНЦЕ, ВЕТЕР)

4.1. Предложения по регионам внедрения агрегатов микро-ГЭС на сверхнизкие напоры для автономного потребителя

В основу этого анализа положены ресурсные исследования различных видов возобновляемых источников энергии [1]. С использованием ресурсных оценок были выявлены и отобраны потенциальные регионы для внедрения установок возобновляемой энергетики.

Энергетика занимает ведущее положение в экономике России. Огромные запасы нефти и газа обеспечивают не только потребности промышленности в настоящее время и перспективы её развития в будущем, но и большей части населения страны. [28,56-58,66]

Вместе с тем, более 20 миллионов человек в России живут в условиях автономного энергоснабжения. Кроме того, значительные территории страны являются энергодефицитными, несмотря на то, что они подключены к ЕЭС России. К первым относятся Зауралье, Сибирь, Дальний Восток, ко вторым Республики Северного Кавказа, Ставропольский и Краснодарский края. Это в значительной степени сдерживает экономическое развитие этих регионов. Кроме этого в целом ряде областей Центрального региона, Республик Поволжья идет интенсивное индивидуальное строительство, которое при последующей эксплуатации не в полной мере обеспечивается электроэнергией. [28,56-58,66]

Таким образом, практически вся территория России, за исключением крупных городов, может быть отнесена к районам, где перспективно использование создаваемой микро-ГЭС. Однако при выборе потенциальных мест, где возможна установка микро-ГЭС необходимо учитывать климатические особенности регионов, влияющих как на выбор места установки, так и на эффективность использования микро-ГЭС.

Так, например, Республика Бурятия обладает значительным гидроэнергетическим потенциалом малых рек, при этом населенные пункты располагаются, как правило, вблизи малых рек. В то же время зимой расход воды в этих реках значительно уменьшается, а некоторые из них вообще замерзают. Поэтому для этого региона целесообразным может быть использование микро-ГЭС в летний период, т.е. при сезонной их эксплуатации. Однако даже такое использование микро-ГЭС позволяет вдвое уменьшить расход дизельного топлива. [1,20]

В то же время, гидрологический режим рек Северного Кавказа и других горных регионов резко варьируются по сезонам года, изменения стока носят здесь иной характер, что обусловлено наличием ледников в верховьях рек и ливневыми явлениями. Все это

необходимо учитывать при оценке возможности использования водотока для установки микро-ГЭС [1].

Учитывая изложенное, крайне важно правильно определить гидрологические характеристики рек, где предполагается установка микро-ГЭС. Как правило, гидрометеорологические наблюдения за такими малыми реками, где целесообразно использовать микро-ГЭС, отсутствуют. Поэтому их гидрологические характеристики необходимо определять косвенными методами на основании наблюдений имеющихся гидрометеостанций региона. При этом необходимо учитывать тип питания реки, которое, как правило, является смешанным, но с преобладанием того или иного вида питания, уточнять период, когда преобладает сток.

Также, учитывая, что гидротехнические сооружения (водозабор)для такой микро-ГЭС должны быть достаточно простыми, важное значение имеет выяснение периода половодья и его продолжительность, так как в ряде случаев необходимо будет демонтировать микро-ГЭС на этот период. Это может оказаться целесообразнее, чем усложнять водозабор.

Таким образом, на основе приведенной выше информации, можно сделать вывод о том, что практически все территории России, где имеются малые реки и ручьи, обладающие гидроэнергетическим потенциалом, пригодны для создания микроГЭС [2,23,28].

Однако кроме природных факторов при выборе регионов, где может найти наиболее широкое применение разработанная микро-ГЭС, необходимо учитывать экономическую ситуацию, складывающуюся в том или ином регионе, так как это определяет платежеспособный спрос. Для этого проанализируем результатов группировки сельских населенных пунктов (далее СНП), по данным переписи численности населения. В результате получаем, что наибольшее число СНП с численностью населения более 3000 чел. сосредоточено на территории Северо-Кавказского региона – около 700; Уральского и Западно-Сибирского – около 200 в каждом, а в Приволжском и Центральном – около 140. При этом СНП с численностью более 10 000 чел. в Северо-Кавказском регионе насчитывается около 110, а во всех других регионах вместе взятых – около 50.

Анализ природных топографо-географических особенностей регионов позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективными регионами для размещения микро-ГЭС являются Северо-Кавказский, Уральский, Восточно-Сибирский и Северо-Западный, где имеется значительное количество горных и предгорных малых рек и водохозяйственных низконапорных сооружений [2,23,28].

В то же время сопоставление данных о размерах СНП, что свидетельствует о более или менее развитой экономике в более крупных СНП по сравнению с менее крупными и принимая во внимание статистические данные о том, что одно рабочее место в сфере производства приводит к созданию 6-7 рабочих мест в сфере обслуживания, можно принять,

что уровень развития экономики в СНП с населением менее 6-7 тыс. чел. не позволит использовать достаточно дорогие, для сложившегося к настоящему времени уровню жизни сельского населения, источники энергии – микроГЭС – для электро- и теплоснабжения.

Таким образом, не отбрасывая потребности выше отмеченных регионов, для количественной оценки потребностей рассмотрены около 200 СНП, расположенных в Северо-Кавказском, Уральском и Восточно-Сибирском регионах (Республики Алтай, Тыва, Бурятия), где уже в течение более чем 15 лет ведется целенаправленная работа по выявлению гидроэнергетических ресурсов малых рек и внедрению малой гидроэнерогетики. По оптимистичным оценкам количество микроГЭС в этих регионах может составить до 10 тыс. штук, учитывая проблемы в энергоснабжении, дороговизну электроэнергии (до 5-6 руб. за 1 кВт*ч), благоприятные природно-климатические условия и сравнительно высокий реальный уровень жизни населения. По консервативному варианту, который принят для анализа потребность может составить до 3000 микро-ГЭС за 5 лет.

4.2 Сравнительный анализ эффективности микро-ГЭС и установок с другими возобновляемыми источниками электроэнергии.

В разделе выполнен анализ эффективности размещения микро-ГЭС в сравнении с системами автономного энергоснабжения (САЭС), имеющие в своем составе солнечные фотоэлектрические (СФЭУ) и ветроэнергетические установки, а также их комбинированное использование.

Интерес к использованию СФЭУ определяется тем, что в 2011 г., несмотря на финансовый и экономический мировой кризис рынок фотоэнергетики вырос на 70 %. Общие мощности фотоэнергосистем во всем мире достигли 67,4 ГВт. Солнечная энергетика заняла третье место по объему установленных мощностей после гидро- и ветроэнергетики. Общая выработка электроэнергии от фотоэлектрических установок за календарный год сегодня составляет около 80 ТВт·ч. Этой энергии достаточно, чтобы обеспечить годовую потребность более 20 млн. домохозяйств.

Столь значительный рост и повсеместное внедрение фотоэлектрических установок и систем объясняется как неоспоримыми преимуществами самого солнечного излучения (возобновляемость, неиссякаемость, экологическая чистота, повсеместная доступность), так и особенностями и тенденциями развития современных технологий:

− стоимость производства солнечных мощностей снижается в среднем на 22 % в год;

− средняя эффективность фотоэлектрических модулей увеличивается каждый год. КПД наиболее эффективных кремниевых модулей в 2010 г. составлял уже 19,5 %, прогноз на 2020 год – 23 %, при одновременном снижении себестоимости;

− срок возврата электроэнергии, затраченной на производство солнечных мощностей, составляет от 1 до 3 лет. Для наиболее современных технологий он может быть снижен до 6 месяцев в зависимости от географического положения и наличия солнечных ресурсов;

− средний срок службы фотоэлектрических модулей более 25 лет.

Сегодня при создании солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) для автономного энергоснабжения чаще всего используют дешевые и простые в обслуживании плоские кремниевые фотоэлектрические модули. На местности модули располагают рядами. Такое размещение позволяет скомпоновать большое число модулей на относительно небольшом участке земли или поверхности крыши.

Выполнено исследование по оптимизации мощности солнечных установок при затенении отдельных фотоэлектрических модулей друг другом при обосновании параметров автономной СФЭУ [24]. Количественная оценка снижения текущей мощности установки вследствие затенения показывает существенную зависимость от варианта коммутации модулей в составе СФЭУ.

Особенностью солнечных батарей является возможность их эффективного использования в районах со значительным количеством солнечных дней в году. Для поддержания КПД требуется очитка фотоэлементов от пыли и грязи. Фотоэлементы батареи вырабатывают постоянный ток, который может накапливаться в электрических аккумуляторах. Солнечные батареи применяются также для аккумулирования тепловой энергии с использованием ТЭН-ов на постоянном токе.

На рисунке 4.1 представлена себестоимость выработки электроэнергии фотоэлектрическими системами в зависимости от суточного прихода солнечной радиации при существующих мировых ценах на комплекты оборудования. Результаты получены с учетом оптимизации фотоэлектрических модулей [24]. Выполненные расчеты позволяют выделить регионы с целесообразным использованием СФЭУ по методике изложенной ниже.

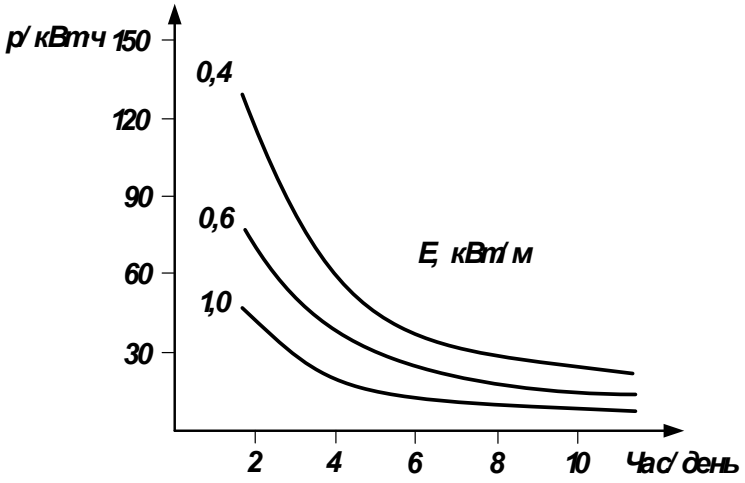

Рисунок 4. 1 Себестоимость выработки электроэнергии ФЭС в связи с суточным поступления солнечного излучения

Ветроэлектрические установки (ВЭУ) небольшой мощности также имеют очень широкое использование при создании автономных систем энергоснабжения. Рынок постоянно пополняется новыми конструкциями и типоразмерами, особенно для России характерно внедрение сравнительно недорогого китайского оборудования, которое однако имеет незначительный ресурс. Поэтому в расчетах эффективности использован отечественный ветроагрегат мощностью 2 кВт предприятия «Спецремтекс». Ветроэлектрические установки характеризуются высоким коэффициентом использования энергии ветра, сравнимым с КПД микроГЭС, при номинальных скоростях ветра. Выработка электроэнергии ВЭУ прямо пропорциональна кубу скорости ветра и зависит от характеристик распределения скорости ветра в год и технических параметров ветроэнергетической установки (начальная и расчетная скорость ВЭУ, высота башни и т.д.). На рисунке 4.2 представлены графики изменения себестоимости выработки электроэнергии ВЭУ в зависимости от скорости ветра [22].

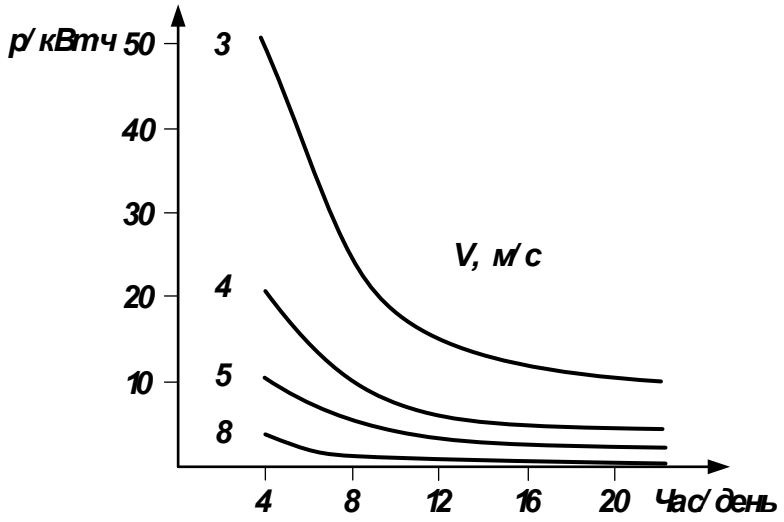

Рисунок 4.2 - Себестоимость выработки электроэнергии ВЭУ в зависимости от скорости ветра в течение суток

В таблице 4.1приведена сравнительная оценка стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, произведенной энергетическими установками различных типов для автономных зон с благоприятными природно-климатическими условиями размещения.

Таблица 4.1

Энергетическая установка	Удельная стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч
Микро-ГЭС	9
СФЭУ	30
ВЭУ	10
Дизельные электростанции	18

Из таблицы следует, что удельная стоимость электроэнергии, вырабатываемой микро-ГЭС, ниже, чем стоимость энергии от солнечных батарей и ветровых установок. Здесь же для сравнения приведена удельная стоимость электроэнергии от дизельных электростанций, которая значительно превосходит стоимость всех станций, кроме СФЭУ.

Кроме того, конкуренцию микро-ГЭС могут оказывать энергокомплексы СФЭУ-ВЭУ. Определение регионов перспективного использования систем автономного энергоснабжения (САЭС) с солнечными фотоэлектрическими (СФЭУ) и ветровыми (ВЭУ) установками было выполнено по методике моделирования режимов работы и оптимизации элементов САЭС и ранжирования источников ВИЭ по критерию экономически и энергетически эффективного участия СФЭУ и ВЭУ в работе САЭС.

Системы автономного электроснабжения должны включать следующий набор элементов: элементы генерирования энергии, к которым относят солнечные и ветровые установки; элементы перераспределения энергии, а именно аккумуляторные батареи и топливные двигатель-генераторы (БГ); элементы передачи и преобразования энергии, среди которых всегда контроллер заряда АБ, инвертор, блок автоматики и др.

Моделирование энергетически эффективных САЭС требует наличия достоверных многолетних данных о климатических характеристиках места их предполагаемого функционирования (солнечных и ветровых ресурсах), корректных математических моделей, которые определяют выходные энергетические характеристики солнечных и ветровых установок и других элементов системы в реальных условиях эксплуатации.

Поступление солнечного излучения и изменение скорости ветра в течение каждого часа дня года определяется натурными измерениями или расчетными методами. Наблюдаемые данные не всегда доступны и ограничены сетью метеорологических станций. Расчетные методы позволяют получать часовые значения плотности потока солнечного излучения для любого географического пункта. Эти значения корректируются с учетом конкретных метеоусловий по среднемноголетним наблюдаемым данным наземных или спутниковых наблюдений, карт и атласов.

Для определения поступления солнечного излучения в реальных условиях облачности на территории Российской Федерации была разработана расчетная методика, демонстрирующая хорошие совпадения расчетных и наблюдаемых данных, расхождения не превышают 8 %. Повышение точности расчета достигается введением поправочных коэффициентов для прямого, $K_{гор}^{пр}$, и диффузного излучения, $K_{гор}^{диф}$, полученных на основе оценок расчетных и наблюдаемых данных 50 актинометрических станций, расположенных на территории РФ.

Текущая электрическая мощность солнечной фотоэлектрической установки вычисляется по формуле:

$$P_i^{СФЭУ} = S^{СФЭУ} \cdot E_i^{СИ} \cdot \eta_i^{СФЭУ},$$

где $S^{СФЭУ}$ – площадь световоспринимающей поверхности солнечной установки, м²; $E_i^{СИ}$ – плотность потока солнечного излучения, поступающего на поверхность солнечной фотоэлектрической установки в расчетный час года, Вт·ч/м²; $\eta_i^{СФЭУ}$ – КПД солнечной установки.

На работу солнечных установок основное влияние оказывают постоянно изменяющиеся параметры (спектральный состав и плотность потока) солнечного излучения, температура солнечных элементов, зависящая от метеорологической факторов в месте эксплуатации, а также затенение батарей друг другом. Для учета этих факторов использованы специально разработанные методики, изложенные в работе [24].

Для моделирования работы ветроэлектрической установки применен разработанный алгоритм формирования часовых значений скорости ветра на основе функциональной зависимости наблюдаемых среднемесячных суточных значений скорости ветра, $u_j^{ср.сут}$, параметров функции распределения Вейбулла-Гудрича, β, γ, и коэффициента вариации скорости ветра, C_v [55]:

$$u_{i,j} = f\left(u_j^{ср.сут}, \beta, \gamma, C_v\right).$$

Данные для ветрового режима получены на основе получаемых из справочника по климату значений скоростей и функций распределения ветра, а также непосредственных измерений с использованием методов изложенных в [22].

Текущая электрическая мощность ветровой установки находится по известной характеристике отдачи мощности ветрогенератора выбранной марки и определяется скоростью ветрового потока:

$$P_i^{ВЭУ} = \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot u_i^3 \cdot \eta(u_i),$$

где D – диаметр ротора ВЭУ; $\rho = 1.226$ кг/м³ − плотность воздуха на уровне моря при нормальных климатических условиях, соответствующих нормальному атмосферному давлению 760 мм. рт. ст. и температуре +15°С; $\eta(u)$ − значение КПД ВЭУ в расчетный час дня.

Моделирование совместной работы элементов САЭС выполняется в соответствии со следующими режимами работы её элементов, представленными на рисунке 4.3.(Стр.44)

Режимы работы определяются балансом циркулирующих в системе мощностей, ΔP_i, и степенью заряда аккумуляторных батарей, $g_i^{АБ}$.

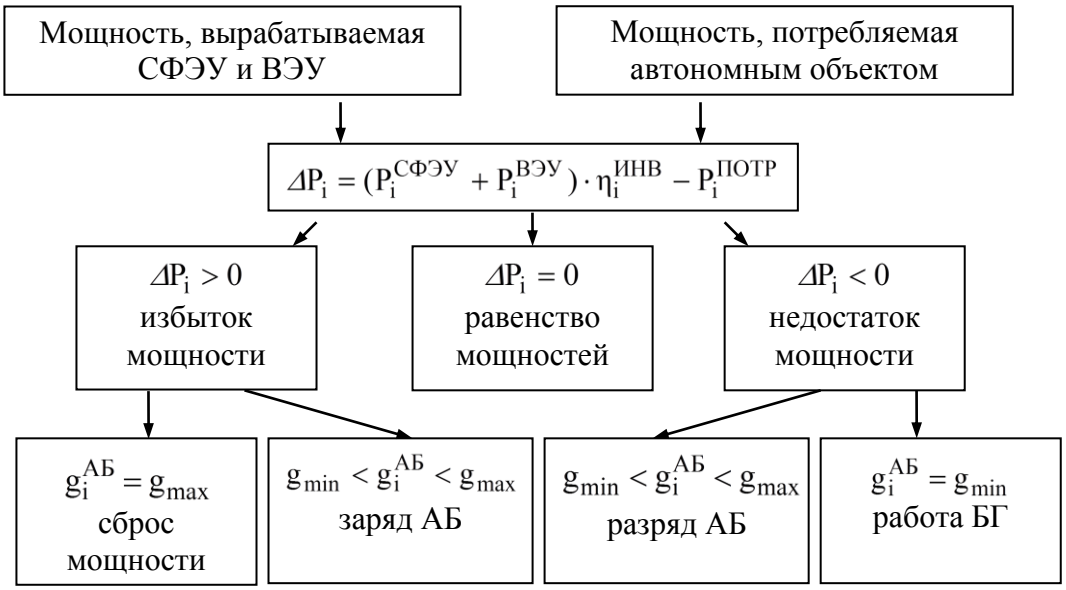

Рисунок 4.3 - Режимы работы элементов системы автономного электроснабжения

К параметрам оптимизации отнесены:

– площадь поверхности солнечной фотоэлектрической установки – $S^{СФЭУ}$, м²;

– тип солнечной фотоэлектрической установки – R;

– количество аккумуляторных батарей – $n^{АБ}$, шт;

– структурная схема системы автономного электроснабжения – T.

При оптимизации параметров САЭС анализируются два типа солнечных установок (параметр R) – непрерывно следящая за Солнцем СФЭУ с концентраторами солнечного излучения и многопереходными элементами и неподвижная южноориентированная наклоненная под углом широты места СФЭУ с плоскими кремниевыми модулями.

Рассматриваемые системы автономного электроснабжения функционируют на территориях с различными актинометрическими и ветровыми ресурсами, определяющими состав и структурную схему САЭС. При поиске оптимальных параметров систем выделено четыре структурные схемы САЭС - три схемы с установками на основе ВИЭ, и одна схема с чисто топливным генератором, которые комплектуются следующим образом: **1** – СФЭУ, АБ и бензиновый генератор; **2** – ВЭУ, АБ и бензиновый генератор; **3** – СФЭУ, ВЭУ, АБ и бензиновый генератор; **4** – бензиновый генератор.

За базу сравнения при расчете экономического эффекта, получаемого от включения в состав САЭС установок на основе ВИЭ, принята схема **4**, где электрическая энергия генерируется только бензиновым генератором.

Оптимальный вариант системы электроснабжения предложено определять на основе минимума целевой функции:

$$З_{\Sigma}^{САЭС} = f(S^{СФЭУ}, n^{АБ}, R, T) \to \min,$$

где $З_{\Sigma}^{САЭС}$ – суммарные затраты на систему автономного электроснабжения в течение планируемого времени эксплуатации, руб.

Суммарные затраты на систему автономного электроснабжения рассчитываются как сумма капитальных вложений $К_{\Sigma}^{САЭС}$ и ежегодных издержек $И_{\Sigma}^{САЭС}$, необходимых для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, в течение периода эксплуатации САЭС, приведенных к нулевому периоду с использованием известной нормы дисконтирования d.

$$З_{\Sigma}^{САЭС} = К_{\Sigma}^{САЭС} + \sum_{t=1}^{T_P} \frac{И_t^{САЭС} \cdot (1+r)^t}{(1+d)^t},$$

где t – номер расчетного года; T_P – планируемый срок службы системы автономного электроснабжения, лет; r – ежегодное значение инфляции.

При определении затрат на САЭС принимается допущение, что капитальные вложения в оборудование САЭС производятся сразу в полном объеме. Ежегодные издержки $И_t^{СЭС}$ на заработную плату, топливо, обслуживание и замену элементов системы определяются с учетом инфляции.

На выбранные параметры оптимизации накладываются следующие ограничения:

$$S_{min}^{СФЭУ} \le S^{СФЭУ} \le S_{max}^{СФЭУ}, \; n_{min}^{АБ} \le n^{АБ} \le n_{max}^{АБ}$$

где $S_{min}^{СФЭУ}$ = 1 м² и $n_{min}^{АБ}$ = 1 шт – минимальное значение площади СФЭУ и количества аккумуляторных батарей; $S_{max}^{СФЭУ}$ = 100 м² и $n_{max}^{АБ}$ = 50 шт – максимальное значение площади СФЭУ и количества АБ.

С учетом принятых оптимизируемых параметров и заданного критерия предлагается двухуровневый алгоритм выбора оптимальных структурной схемы и параметров элементов системы автономного электроснабжения.

На первом уровне оптимизируются параметры элементов для каждой структурной схемы путем реализации следующих этапов:

- моделирование работы элементов системы для каждой из анализируемых структурных схем САЭС;
- определение сочетания параметров элементов системы, обеспечивающих график нагрузки потребителей. Такими параметрами являются: площадь солнечной

фотоэлектрической установки, число аккумуляторных батарей, объем топлива, необходимый для работы генератора с бензиновым двигателем;

- расчет суммарных затрат (капитальные вложения и суммарные издержки) за планируемый срок службы системы электроснабжения как функции площади солнечной фотоэлектрической установки, количества аккумуляторных батарей, времени работы и расхода топлива бензиновым двигателем и т.д. для каждой анализируемой структурной схемы САЭС;

- выбор для каждой структурной схемы сочетания параметров элементов системы, соответствующего минимальным суммарным затратам;

На втором уровне оптимизируется тип структурной схемы САЭС по критерию минимума затрат на систему в течение всего периода эксплуатации.

Предложенная методика моделирования работы и оптимизации параметров автономных систем электроснабжения использована для обоснования структурных схем и параметров элементов САЭС, обеспечивающих покрытие суточных графиков нагрузки в объеме 10, 20, 30 кВт-ч. Вычисления выполнялись для 50 географических пунктов территории Российской Федерации с долей прямого СИ в составе полного, $\Delta E_{гор}^{пр}$, от 35 до 67 % и среднегодовыми скоростями ветра, $u_{ср}^{год}$, от 1,5 до 7,9 м/с. Суммарные затраты на САЭС рассчитывались на основе среднерыночных показателей по стоимостям отдельных компонентов системы, приведенным в табл. 4.2. Стоимость топлива для единообразия расчетов принималась одинаковой для всей территории страны с учетом затрат на доставку.

Таблица 4.2

Стоимостные показатели компонентов системы

Название	Срок службы	Стоимость	Примечание
СФЭУ (следящие)	20 лет	135 руб./Вт	с концентраторами СИ и многопереходными элементами
СФЭУ (неподвижные)	20 лет	120 руб./Вт	с кремниевыми элементами
ВЭУ 2000	10 лет	75 руб/Вт	Расч. скорость 10 м/с, диаметр 3,12 м
АБ	10 лет	11 000 руб	Производитель «FIAMM»
Бензиновый генератор БГ GEKO 2801	7000 час	35 000 руб	Производитель «Metall-warenfabrik»

Бензин	---	30 руб/л	Бензин с октановым числом Аи − 95

Анализ результатов расчета суммарных затрат на САЭС на основе неподвижной и следящей солнечных установок показал, что преимущественное использование последних экономически более выгодно практически для всех рассмотренных 50 пунктов, что связано с меньшей себестоимостью электроэнергии таких установок. Дальнейшие результаты представлены только для систем со следящими фотоэлектрическими установками с концентраторами излучения и многопереходными элементами.

В качестве примера в табл. 4.3 приведены результаты расчетов для пяти характерных пунктов, определяющих общие закономерности применения анализируемых структурных схем САЭС, обеспечивающих среднегодовое суточное электропотребление 30 кВт-ч, характерное для небольшого автономного поселения. Аналогичные расчеты выполнялись для остальных рассматриваемых географических пунктов.

Таблица 4.3.

Расчетные параметры элементов и составляющие затрат САЭС

Т	$S^{СФЭУ}$ м²	$n^{АБ}$ шт	$n^{ВЭУ}$ шт	Вырабатываемая энергия, кВт-ч			$\Delta N^{ВИЭ}$, %	Суммарные затраты, тыс. руб.
				БГ	СФЭУ	ВЭУ		
Салехард $\Delta E_{гор}^{пр} = 43\,\%,\ u_{ср}^{год} = 5.2$ м/с								
1	1	1	0	12108	154	0	3	3197
2	0	3	0	7004	0	7187	44	2262
3	1	6	1	6272	154	7262	50	2278
Калининград $\Delta E_{гор}^{пр} = 45\,\%,\ u_{ср}^{год} = 4.3$ м/с								
1	19	2	0	8652	4272	0	31	3043
2	0	2	1	6828	0	6563	45	2166
3	6	4	1	5494	1349	6584	56	2123
Чита $\Delta E_{гор}^{пр} = 53\,\%,\ u_{ср}^{год} = 1.8$ м/с								
1	17	3	0	7698	5799	0	38	2716
2	0	1	1	11822	0	472	5	3395
3	17	3	1	7580	5799	467	39	2977
Астрахань $\Delta E_{гор}^{пр} = 60\,\%,\ u_{ср}^{год} = 4.3$ м/с								
1	14	2	0	8536	4774	0	31	2851
2	0	2	1	8744	0	3961	30	2720

3	10	3	1	6494	3410	3915	48	2499
Владивосток $\Delta E_{гор}^{пр} = 63\%$, $u_{ср}^{год} = 6.8$ м/с								
1	15	3	0	7508	6318	0	40	2634
2	0	4	1	5373	0	7969	57	1865
3	2	4	1	4854	842	8021	61	1795
4	0	0	0	12468	0	0	0	3200

На основе расчетов, выполненных для 50 географических пунктов с известными солнечными и ветровыми режимами, расположенных в регионах России с различными природно-климатическими характеристиками ветрового режима и солнечной радиации, проведено районирование территории Российской Федерации и выявлены области перспективного применения САЭС с ветровыми и солнечными установками [2].

Анализ сопоставления зон перспективного и эффективного применения САЭС и микро ГЭС позволил в целом районировать территорию РФ по территориям применения систем энергоснабжения на основе ВИЭ (Рисунок 4.4).

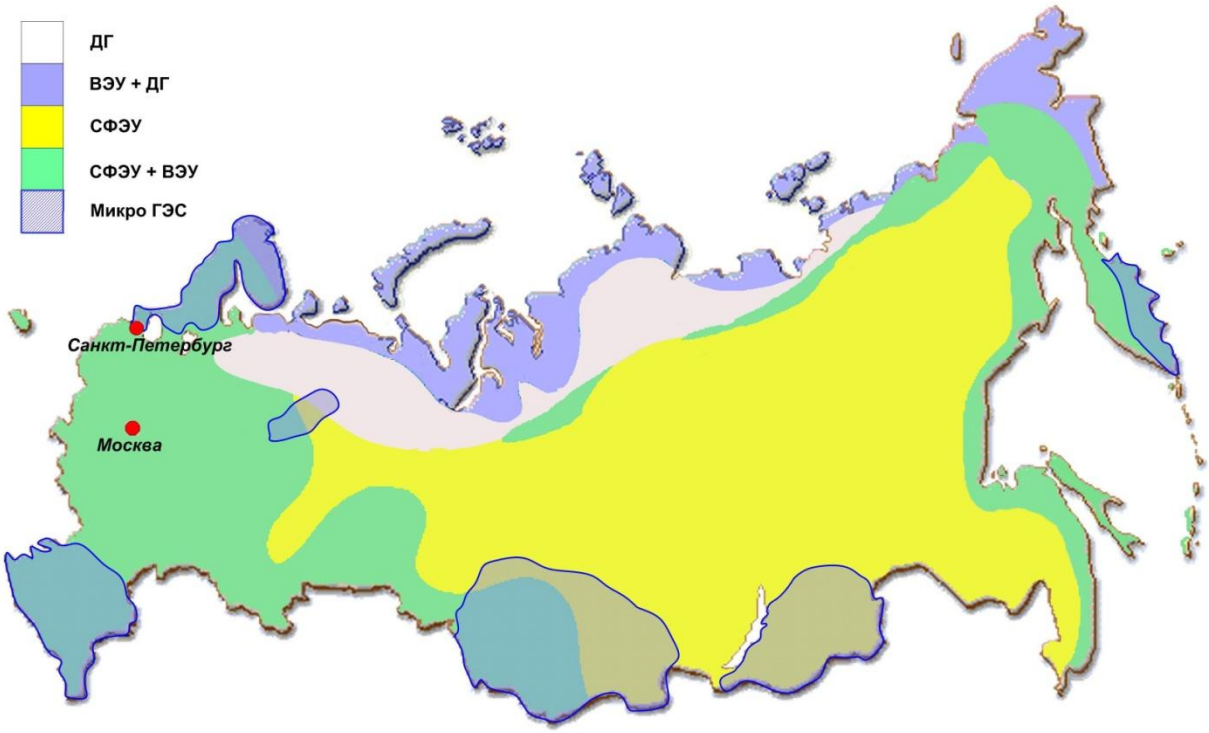

Рисунок 4.4 - Районирование территории РФ по зонам эффективного использования микроГЭС и энергокомплексов, использующих ветровую энергию, солнечную энергию и их комбинации для энергоснабжения автономных потребителей.

На основе выполненных расчетов показано, что территории целесообразного индивидуального и комбинированного применения солнечных и ветровых установок в

составе автономных систем электроснабжения охватывают практически все области и районы ненадежного и децентрализованного электроснабжения страны. В регионах эффективного использования микроГЭС такие системы могут конкурировать с ними, но только в местах, где нет малых водотоков, т.к. в таких местах себестоимость энергии от микроГЭС ощутимо ниже, чем от других установок возобновляемой энергии или от топливных генераторов. В тоже время суммарные затраты в энергокомплексы на ВИЭ сопоставимы, а во многих случаях ниже, чем при использовании традиционных топливных генераторов.

Дальнейшее снижение себестоимости электроэнергии от установок ВИЭ возможное за счет совершенствования технологий, а также неизбежное удорожание углеводородного топлива приведет к несомненной более широкой востребованности микроГЭС, солнечных, ветровых установок и комбинированных систем на их основе, и обеспечит активное вовлечение возобновляемых источников в энергетическое развитие территорий Российской Федерации.

4.2. Выводы

1. На основании выполненного анализа рекомендуется использование разработанных микро-ГЭС в Северо-Кавказском, Северо-Западном, Среднеуральском, Сибирском (Республики Алтай, Тыва, Бурятия) и Дальневосточном (Камчатка) регионах, где имеются малые реки и ручьи, обладающие гидроэнергетическим потенциалом, опыт использования подобного оборудования, а также экономические возможности и потребности.

2. При выборе мест на установку микро-ГЭС необходимо учитывать климатические особенности регионов, влияющие на гидрологический режим и эффективность использования микро-ГЭС.

3. Территории целесообразного применения комбинированных солнечных и ветровых установок в составе автономных систем электроснабжения охватывают практически все области и районы ненадежного и децентрализованного электроснабжения страны.

4. В регионах эффективного использования микроГЭС солнечные, ветровые установки и комплексы на их основе могут конкурировать с ними, но только в местах, где непосредственно нет малых водотоков, т.к. в местах сформированных себестоимость энергии от микроГЭС ощутимо ниже, чем от других установок возобновляемой энергии или от топливных генераторов.

5. Выполнено районирование территории РФ по зонам эффективного использования микро-ГЭС и других установок возобновляемой энергетики и комплексов на их основе.

5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА В ОБЛАСТИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Документ разработан в соответствии с п. 5.1.7 Технического Задания по государственному контракту.

Методический документ разработан на основе действующей нормативно- методической литературе в области гидроэнергетики, теплоэнергетики, строительства, и подготовки кадров по университетскому политехническому образованию [31,35-44.]

Методический документ в области малой гидроэнергетики предназначен для моделирования и проектирования элементов малых гидроагрегатов и устройств для аккумулирования вырабатываемой микроГЭС электроэнергии на основе индукционного нагрева. Независимо от предназначения энергии, вырабатываемой агрегатом, основой подобных устройств является элемент, преобразующий один вид энергии в другой. Основной характеристикой такого узла является его эффективность или к.п.д. В случае гидроагрегата, таким элементом является проточная часть турбины. Именно очертание проточной части вместе с правильно рассчитанными углами входа воды на лопасть рабочего колеса и выхода с этой лопасти, а также размерные характеристики и форма отсасывающей трубы определяют ее эффективность. В Приложении А приведены методические предложения по проектированию проточной части.

Подробный анализ элементов проточной части их функций и влияния, выполненный в настоящей работе, может быть дополнен результатами энерго-гидравлических исследований, (в том числе, учебно-научных) при изменении параметров и конструкции гидроагрегата, гидрологических характеристик водотока.

Влияние гидрологических характеристик водотока, размерных характеристик лопасти рабочего колеса, заданной быстроходности могут изменить условия при создании лопасти различного вида.

Учитывая, что расчеты, связанные с созданием системы аккумулирования энергии, вырабатываемой гидроагрегатом, определяются только видом аккумулирования и способом преобразования электроэнергии в тепловую (данном случае индукционным нагревом),, разработаны методические предложения, касающиеся этой проблемы (см. приложение А).

6. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКР ПО ТЕМЕ «РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ»

Документ разработан в соответствии с пп. 4.2.1 и 8.1.4 Технического Задания по государственному контракту.

Документ разработан в соответствии с рекомендациями Федерального агентства по науке и инновациям и Министерства образования и науки для выполнения опытно-конструкторских разработок (ОКР) как единой технологии [50,51] .

Документ представлен в приложение Б.

7. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ТУРБИНОЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Рекомендации разработаны в соответствии с п. 4.2.2 и 9.4.7 Технического Задания по государственному контракту и представлены в Приложение В. Рекомендации разработаны по [31-35,38,40-43, 52-54]

7.1. Разработка рекомендаций по изготовлению агрегата микро-ГЭС

7.1.1. Энергоблок

По результатам расчета проточной части и с учетом разработанных требований к элементам турбины разрабатывается энергоблок (турбина+генератор) гидроагрегата Микро-ГЭС, предназначенный для работы при заданных параметрах водотока.

С учетом опыта проектирования и исходя из основных требований технического задания выбираются

- компоновка гидротурбины (горизонтальная или вертикальная) – выбрана горизонтальная,
- тип рабочего колеса в зависимости от параметров водотока –пропеллерное рабочее колесо,
- взаиморасположение осей рабочего колеса и генератора – выбрано взаимно перпендикулярное.

При разработке агрегата учтены следующие требования:

- простота и надежность конструкции,
- технологичность в производстве,
- использование доступных материалов и комплектующих,
- простота эксплуатации, высокая степень ремонтопригодности,
- возможность использования в широком диапазоне климатических условий,
- минимальные затраты на капитальное строительство и монтаж,
- безопасность при монтаже и эксплуатации агрегата.

Агрегат состоит из следующих основных частей:

- гидротурбины,
- генератора.

Гидротурбина – прямоточного типа с горизонтальным расположением оси ротора. Рабочее колесо выполнено в виде ступицы (втулки) с закрепленными на ней механически лопастями. Благодаря этому угол установки лопастей может быть выбран в соответствии с конкретными условиями эксплуатации турбины (напор, расход).

Изменение положения лопастей выполняется на остановленной турбине. Она может осуществляться как единовременно, так и сезонно по потребности пользователя.

Конструкция рабочего колеса должна быть выбрана таким образом, что периферийные кромки лопастей при их изготовлении обрабатываются по сфере, так же, как и внутренняя поверхность камеры рабочего колеса в зоне разворота лопастей.

Существенной особенностью гидроагрегата является то, что ось электрогенератора расположена перпендикулярно оси ротора гидротурбины. Это позволяет избежать поворотов водотока в гидротурбине, что уменьшает потери энергии.

Для осуществления упомянутой компоновки вал генератора должен быть соединён с валом гидротурбины с использованием углового шестеренчатого редуктора, желательно, чтобы передаточное отношение равнялось единице (i = 1), что будет способствовать уменьшению потерь энергии.

Редуктор предпочтительнее выбрать стандартный, общедоступный на рынке, обладающий высоким КПД и не требующий особых условий при эксплуатации. Редуктор целесообразно разместить в специальной герметичной камере, помещаемой в общей капсуле гидротурбины перед рабочим колесом. Соединение вала редуктора с валом гидротурбины, на котором закреплено рабочее колесо осуществляется с помощью втулочно-пальцевой муфты.

Компоновочно выбрана схема, при которой генератор расположен вертикально над гидротурбиной.

Для восприятия осевого усилия на лопасти рабочего колеса от потока воды целесообразно использовать радиально- упорный подшипник со встроенными уплотнениями, заполненный смазкой, не требующей ее замены в течение всего срока эксплуатации турбины. Дополнительно необходимо применить манжеты для исключения попадания воды в зону подшипника и редуктора.

В качестве электрогенератора, в целях удешевления, допускается использование серийно выпускаемого промышленностью асинхронного двигателя мощностью 5,5 кВт на 1000 об/мин.

Генератор должен надёжно крепиться к капсуле гидротурбины. Турбина с генератором устанавливается на раме, служащей единым жестким основанием для транспортировки агрегата и его монтажа. Центровка турбины и генератора проводится в заводских условиях на раме и в дальнейшем центровке агрегат не нуждается.

7.1.2. Система автоматического регулирования (САР) в составе агрегата микро-ГЭС

Система автоматического регулирования предназначена для решения следующих задач:

-подключения к асинхронному генератору блока возбуждения, регулятора напряжения и нагрузки;

-возбуждения асинхронного генератора;

-регулирования напряжения и частоты тока генератора при изменении нагрузки;

-защиты узлов и блоков гидроагрегата при коротких замыканиях в нагрузке, перегрузке, повышении напряжения;

-контроля токов нагрузки по каждой фазе,

-контроля фазных напряжений;

-контроля мощности, развиваемой генератором;

-контроля частоты сети.

Технические характеристики разрабатываемого САРа:

Подключаемая сеть – 4х-проводная с глухо заземленной нейтралью

Количество фаз, шт.	3
Рабочее напряжение, В - линейное	400 +25/-50
Рабочая частота, Гц	57 – 63

Компоненты САРа размещаются в шкафу (навесного исполнения). На двери шкафа располагаются контрольно-измерительные приборы (вольтметр, многофункциональный измерительный прибор MIC, предназначенный для измерения всех электрических параметров трехфазных сетей, и микроамперметр, показывающий величину ШИМ), а также элементы индикации и управления.

САР должен состоять из функционально законченных блоков, каждый из которых выполняет свою функцию, обеспечивая тем самым выполнение задачи в целом. На основании опыта создания и эксплуатации подобных устройств рекомендуется использовать следующие функциональные блоки

Таблица 7.1 - Характеристики САР

№п/п	Обозначение на принципиальной эл. схеме	Выполняемая функция	Назначение в схеме
1	2	3	4
1	A1	Трехфазный выпрямитель + IGBT ключ, коммутирующий балластную нагрузку, схема измерения степени загрузки балласта, драйвер IGBT ключа	Преобразование трехфазного напряжения в постоянное, регулирование балластной нагрузки
2	A2	Блок возбуждения УВ-9, набор пленочных конденсаторов,	Позволяет получить достаточный запас реактивной мощности, что обеспечивает возбуждение ген-ра.
3	A3	Модуль реле МР-2, четыре реле по две группы контактов на переключение	Обеспечение необходимой последовательности срабатывания защит и других устройств
4	A4	Блок питания =24В	Обеспечение постоянным напряжением =24В узлов и блоков УАР и ПРУ
5	A5.	Блок питания =5В	Обеспечение напряжением расцепителя выключателя QF1

1	2	3	4
6	A6	Многофункциональный измерительный прибор MIC, предназначенный для измерения всех электрических параметров трехфазных сетей	При измерении параметров электрических систем заменяет ряд стандартных измерительных приборов
7	A12	Частотный преобразователь	Обеспечение работы системы индукционного нагрева путем широтно-импульсного регулирования напряжения питания индуктора. Частота выходного напряжения преобразователя 100 – 250 Гц
8	KP1.	Реле контроля трехфазного напряжения РКН-3	Обеспечение блокирования работы и отключение возбуждения при: U<Umin; U>Umax; обрыв фазы; нарушение порядка чередования фаз.
9	KP2.	Реле контроля напряжения РКН-1-1-15	Защищает УАР и потребителей от повышения напряжения.
10	KT1	Реле времени РВО-Р-У-15	Обеспечение задержки срабатывания защиты при кратковременных К.З. в нагрузке

7.1.3. Разработка рекомендаций по изготовлению системы аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева

Изготовление системы аккумулирования энергии включает в себя изготовление следующих элементов:

- теплоаккумулятора,
- источника тепловой энергии - индуктора,
- источника питания индуктора.

Теплоаккумулятор представляет собой минерал с высокой удельной и объемной теплоемкостью. Рекомендуется его изготавливать из минерала шунгита (или талькохлорита), добываемого в Карелии.

Теплоаккумулятор необходимо изготавливать в виде пластины, размер которой соответствует размерам теплоаккумулятора, например, длиной и шириной, равной 1 м и толщиной 0,1 м.

Индуктор выполняется в виде плоской катушки индуктивности. В качестве материала катушки необходимо использовать медный (или алюминиевый) провод прямоугольного сечения. Индуктор крепится к плоской поверхности теплоаккумулятора с помощью диэлектрических элементов. При этом необходимо обеспечить плотный контакт катушки индуктивности с поверхностью пластины теплоаккумулятора. Это позволит обеспечить максимальную эффективность преобразования электромагнитной энергии в тепловую. Индуктор необходимо изготавливать с соблюдением требований ПУЭ.

В качестве источника питания индуктора используется стандартный преобразователь частоты, подключенный к генератору микро-ГЭС.

7.2. Разработка рекомендаций по проектированию и изготовлению систем аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии на основе индукционного нагрева

7.2.1. Основные энергетические соотношения

Оценим минимальное количество энергии и, соответственно, мощность установки, которая необходима для нагрева стандартного помещения $V_{\hat{a}}$= 60 м^3 (например, размерами 5 х 4 х 3 м). В качестве исходных данных примем:

- плотность воздуха – $\rho_{\hat{a}}$=1,293 кг/м^3,

- удельная теплоемкость – c_p=1 кДж/кг·^{0}С,

- изменение температуры среды за время нагрева – ΔT=20 ^{0}С,

- время, за которое температура должна измениться на 20 ^{0}С – Δt=3600 с.

Тогда, пренебрегая потерями, можно считать, что количество энергии, которое необходимо затратить на первичный нагрев, может быть определено следующим образом

$$Q_в = V_в \cdot \rho_d \cdot c_з \cdot \Delta T \approx 1600 \text{ кДж.} \tag{7.1}$$

Следовательно, мощность $P_{\hat{a}}$ источника тепловой энергии при первичном нагреве должна быть равна

$$P_в = \frac{Q_в}{\Delta t} \approx 400 \text{ Вт.} \tag{7.2}$$

В остальное время после завершения первичного нагрева мощность источника тепла может быть уменьшена, так как расход энергии должен будет покрывать только естественные потери.

Определим далее количество тепловой энергии Q, которое может быть запасено теплоаккумулятором, выполненным из шунгита или талькохлорита, тепловые характеристики которых (смотри таблицу 1) примерно одинаковы, чтобы обеспечить изменение температуры ΔT=20 ^{0}С за время Δt=3600 с.

Выберем в качестве примера теплоаккумулятор толщиной 0,1 м и площадью боковой поверхностью, равной 1 м^2. Масса такого аккумулятора равна примерно $m = 250$ кг. Зададимся начальной температурой в помещении до включения нагревателя, равной $T_{\acute{i}}$ =10 ^{0}С, и будем считать, что максимальная температура поверхности теплоаккумулятора не должна превышать безопасный уровень $T_{\grave{o}}$ = 60 ^{0}С. Оценим распределение температуры по толщине теплоаккумулятора и определим время достижения уровня температуры $T_{\grave{o}}$ = 60 ^{0}С

его излучающей поверхности при температуре окружающей среды $T_0 = 20\,^0$С. При этом будем считать, что одна из поверхностей теплоаккумулятора поддерживается при постоянной температуре за счет любого источника тепловой энергии (например, установки индукционного нагрева), а противоположная имеет температуру 60 ^{0}С.

В такой постановке распределение температуры по толщине теплоаккумулятора описывается дифференциальным уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{a}\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \tag{7.3}$$

с граничными условиями третьего рода

$$\begin{aligned} &\lambda \cdot \frac{\partial T(0,t)}{\partial x} + \alpha\left[T_m - T(0,x)\right] = 0; \\ &T(\infty,t) = T_н; \\ &\frac{\partial T(\infty,t)}{\partial x} = 0, \end{aligned} \tag{7.4}$$

где $x \in [0,\infty)$ - координата вдоль толщины теплоаккумулятора,

$\alpha = \sigma \cdot \left[(T_m + 273) + (T_0 + 273)\right] \cdot \left[(T_m + 273)^2 + (T_0 + 273)^2\right]$- коэффициент теплообмена за счет излучения между нагревателем и теплоаккумулятором,

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ - Вт/м^2·К^4 –коэффициент излучения;

и начальным условием

$$T(x,0) = T_н \tag{7.5}$$

Решение уравнения (1.3) при условии нагрева только одной из поверхностей пластины, например, при x =0 может быть представлено в виде:

$$T(x,t) = T_m - (T_m - T_0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot (1 - \cos\xi_n)}{\xi_n - \sin\xi_n \cdot \cos\xi_n} \cdot \sin(\xi_n \frac{x}{h}) \cdot e^{-\xi_n Fo(t)}, \tag{7.6}$$

где $Fo(t) = \frac{a}{h^2} t$ - число Фурье,

ξ_n - корни характеристического уравнения

$$tg\xi = -\frac{1}{Bi}\xi, \tag{7.7}$$

$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} h$ - критерий Био.

Результаты расчетов распределения температуры по толщине теплоаккумулятора по формуле (7.6) при исходной температуре поверхности теплоаккумулятора (со стороны индуктора), равной 120 ^{0}С приведены на рисунках 7.1 и 7.2.

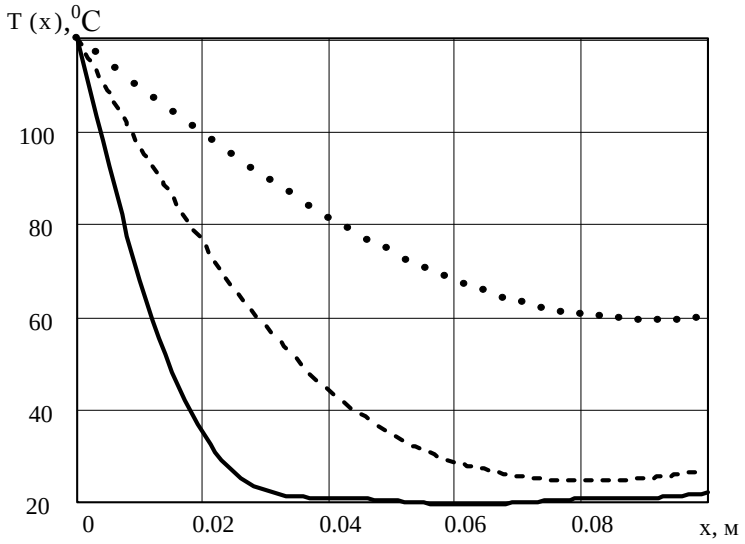

Рисунок 7.1 - Распределение температуры по толщине теплоаккумулятора из шунгита:

- через 1500 с,
- через 360 с,
- через 60 с.

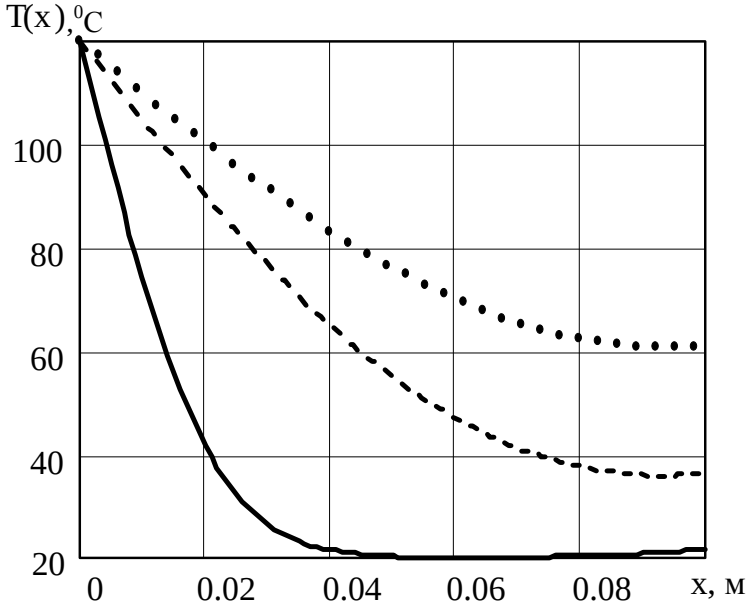

Рисунок 7.2- Распределение температуры по толщине теплоаккумулятора из талькохлорита:

- через 1200 с,
- через 600 с,
- через 60 с.

Анализ графиков показывает, что распределение температуры по толщине теплоаккумулятора имеет характер, близкий к экспоненте. Из-за большего значения коэффициента теплопроводности рабочая температура излучающей поверхности 60 ^{0}С для

талькохлорита достигается за более короткий промежуток времени, равный 1500 с минутам; соответственно для шунгита он равен 1200 с.

Таким образом, использование шунгита в качестве теплоаккумулятора для микро-ГЭС является более предпочтительным

7.2.2. Передача тепла от теплоаккумулятора в окружающую среду

Нагрев помещения обусловлен потерями тепловой энергии с поверхности теплоаккумулятора за счет излучения и конвекции.

Зададимся температурой воздуха в помещении, где располагается нагреватель, равной постоянному значению $T_e = 20\ ^0$С.

Тогда, мощность потерь с поверхности теплоаккумулятора, обусловленная излучением, может быть определена следующим образом:

$$P_{изл} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot S \cdot ((T_m + 273)^4 - (T_в + 273)^4), \qquad (7.8)$$

где $\varepsilon \approx 0{,}9$ – степень черноты поверхности,

$\varphi \approx 1{,}0$ – угловой коэффициент,

S - площадь излучающей поверхности.

Соответственно, мощность потерь, обусловленная конвекцией с учетом вертикального расположения теплоаккумулятора, может быть определена по формуле:

$$P_k = \alpha \cdot S \cdot (T_m - T_e), \qquad (7.9)$$

где $\alpha = 1{,}31 \cdot (\frac{T_m - T_e}{h})^{\frac{1}{4}}$ - конвективный коэффициент,

h -высота теплоаккумулятора.

Мощность теплового потока с поверхности теплоаккумулятора в зависимости от температуры излучающей поверхности представлена на рисунке 7.3 (см. стр.50) , из которого следует, что при поддержании постоянной безопасной температуры поверхности излучателя тепла, равной примерно 60 ^{0}С, мощность суммарного теплового потока составляет величину примерно равную 400 Вт. В свою очередь, энергия, которая необходима для поддержания постоянной значения температуры поверхности излучателя в течение суток, составляет 9,6 кВт·час. Если принять величину естественных потерь из помещений, составляющую примерно (30 ÷ 40)% мощности, то можно считать, что эта энергия равна примерно (10 ÷ 14) кВт·час.

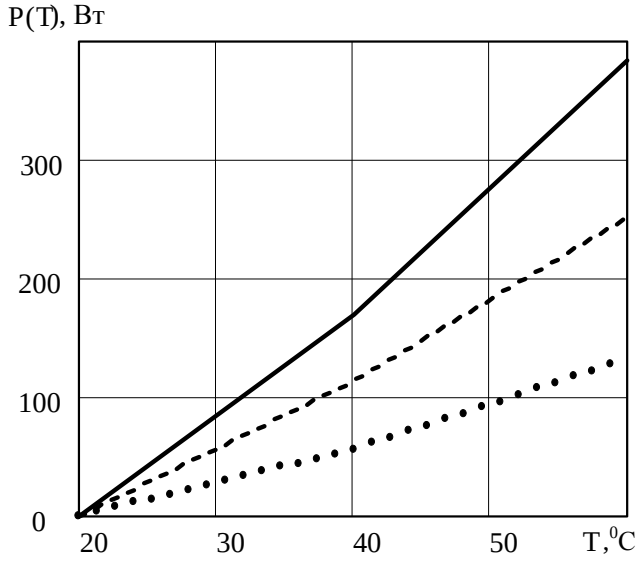

Рисунок 7.3 - Мощность теплового потока с поверхности теплоаккумулятора в зависимости от температуры

- излучение,

- конвекция,

- суммарная мощность.

С другой стороны, максимальная энергия, запасенная теплоаккумулятором, мощностью 5 кВт, только за ночное время работы гидроагрегата (за 8 часов), составляет 40 кВт·час. Сравнивая ее с расходом энергии на обогрев одного помещения, можно заключить, что ее может оказаться достаточным для нагрева 3-х теплоаккумуляторов. Принимая во внимание, что мощность современных бытовых обогревателей (например, масляных), не превышает 1,0 кВт, можно прийти к выводу, что запасенной энергии может быть достаточно для обеспечения комфортной температурой в 2 ÷ 3 комнатах или в небольшом коттедже.

Таким образом, энергии, генерируемой микро-ГЭС мощностью до 5 кВт в течение суток при рациональном регулировании вполне достаточно не только для питания бытовых приборов, но и для обогрева жилых помещений.

7.2.3. Основные электрические характеристики теплоаккумуляторов микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с питанием от установки индукционного нагрева

Поскольку, как уже отмечалось выше, задача проектирования аккумуляторов тепла на базе ТЭН-ов с точки зрения вопросов регулирования не отличается от проектирования блоков балластной нагрузки для гидроагрегатов данной мощности, в дальнейшем будут разработаны рекомендации по определению характеристик и условий регулирования микро ГЭС, оборудованных теплоаккумуляторами на основе индукционного нагрева.

В состав установки индукционного нагрева, предназначенной входят следующие элементы:

- индуктор,

- источник питания индуктора,

- накопитель тепловой энергии.

Индуктор представляет собой катушку индуктивности, выполненную из проводников с высокой проводимостью (как правило, медных или алюминиевых) и соответственно малыми электрическими потерями, которая предназначена для возбуждения путем электромагнитной индукции вихревых токов в нагреваемом теле. Наибольшим КПД характеризуются катушки, которые отвечают следующим требованиям:

- возбуждаемое ими электромагнитное поле должно иметь частоту, при которой вихревые токи в теле носят поверхностный характер;

- форма катушки должна быть близка к форме поверхности тела.

Основные характеристики: число витков, амплитуда тока, сечение проводников и т.п. определяются в процессе проектирования.

Источник питания индуктора представляет собой преобразователь частоты, выполненный, как правило, на транзисторах. Его выходное напряжение имеет вид меандра, из которого для согласования источника питания с нагрузкой по резонансной схеме выделяется первая гармоника. Настройка в резонанс достигается путем включения последовательно с индуктивностью конденсаторов согласующей емкости, которые обеспечивают компенсацию реактивной составляющей комплексного сопротивления индуктора на первой гармонике. Характеристики преобразователей частоты определяются также на стадии проектирования и корректируются по результатам настройки системы.

При использовании индукционного нагрева возможны два типа накопителей тепловой энергии – из диэлектрического материала (например, минерал талькохлорит), и из электропроводного материала (например, шунгита).

Для диэлектрических накопителей тепла возникает необходимость использования дополнительного нагревателя, выполненного, например, из стального листа, в котором индуцируются вихревые токи, энергия которых преобразуется в тепло.

Для теплоаккумуляторов из электропроводных материалов возможен нагрев вихревыми токами, которые индуцируются непосредственно в теле минерала.

При проектировании установок индукционного нагрева для достижения высокого КПД необходимо, чтобы вихревые токи в пластине теплоаккумулятора были равномерно распределены по всей нагреваемой поверхности и носили поверхностный характер по толщине пластины теплоаккумулятора.

Первое требование связано с проектированием индуктора, форма которого должна по возможности повторять форму нагреваемой поверхности теплоаккумулятора.

Для выполнения второго условия необходимо выполнить следующее соотношение между толщиной пластины теплоаккумулятора и толщиной скин-слоя его материала:

$$\frac{d}{\Delta} \geq 2, \qquad (7.10)$$

где d ,м- толщина пластины,

$\Delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu \cdot \mu_0}}$,м - толщина скин-слоя,

σ , См/м - удельная электрическая проводимость материала пластины,

f , Гц - частота тока,

μ - относительная магнитная проницаемость шунгита,

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м – магнитная постоянная.

Из выражения (7.10), задавшись толщиной пластины, например, d =100 мм и воспользовавшись характеристиками, приведенными в таблице 7.2, можно определить, рабочаую частоту вихревых токов, при которых должен осуществляться нагрев. Например, для пластины из шунгита получаем частоту $f \geq 100$ кГц, а для теплоаккумулятора, выполненного из талькохлорита со стальной пластиной в качестве нагревателя – 10 кГц,.

Таблица 7.2 - Электрофизические характеристики теплоаккумуляторов

№	Параметр	Обозначение	Размерность	Теплоаккумулятор		
				талькохлорит	сталь, Ст-3	шунгит
1	Удельная электрическая проводимость	σ	См/м	0	$0{,}5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^3$
2	Относительная магнитная проницаемость	μ	-	1	220	1

Современные транзисторные преобразователи частоты характеризуются диапазоном частот выходного напряжения от 10 до 250 кГц. Поэтому можно заключить, что для проектирования теплоаккумуляторов в обоих рассматриваемых случаях должны быть использованы транзисторные преобразователи частоты.

Основные электрические характеристики индукторов для рассматриваемых случаев нагрева 3-х теплоаккумуляторов, включенных в электрическую цепь последовательно, определяются с использованием методики, разработанной в рамках 3-го этапа темы.

Расчет производился при следующих исходных данных:

- толщина теплоаккумулятора, h , м, – 0,1;

- количество работающих одновременно теплоаккумуляторов, m , – 3;

- мощность микро ГЭС, P_s, кВт – 5;

- падение напряжения на одном индукторе, U, В – 180.

Результаты расчетов приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 Электрические параметры индуктора для теплоаккумуляторов из талькохлорита и шунгита

№	Параметр	Обозначение	Размерность	Индуктор	
				Ст-3 для нагрева талькохлорита	Шунгит
1	Рабочая частота питающего напряжения	f	кГц	10	100
2	Толщина скин-слоя	Δ	м	$0{,}15\cdot10^{-3}$	0,036
3	Активное сопротивление одновиткового индуктора	zR	Ом	$1{,}3\cdot10^{-3}$	$14\cdot10^{-3}$
4	Индуктивное сопротивление одновиткового индуктора	zL	Ом	$1{,}6\cdot10^{-3}$	$17\cdot10^{-3}$
5	Полное сопротивление одновиткового индуктора	z	Ом	$2{,}1\cdot10^{-3}$	$22\cdot10^{-3}$
6	Число витков в индукторе	w	-	77	24
7	Сопротивление индуктора	Z	Ом	7,9	69,3
8	Действующее значение тока в индукторе	$I_{ä}$	А	30,3	30,2
9	Емкость конденсаторной батареи	C	μF	1,67	0,17
10	Мощность конденсаторной батареи	Q	ВАр	$9{,}0\cdot10^{3}$	$8{,}0\cdot10^{3}$

Приведенные в таблице данные позволяют изготовить систему индукционного нагрева для питания теплоаккумулятора, которая включает в себя индуктор, преобразователь частоты и блок согласования этих элементов.

7.3. Выводы

1. Разработаны рекомендации по изготовлению агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт. Предложена и обоснована горизонтальная компоновка осевой гидротурбины с пропеллерным рабочим колесом и с взаимно перпендикулярным расположением осей рабочего колеса и генератора.

2. Определены энергетические характеристики теплоаккумуляторов и показано, что мощность теплового потока с поверхности теплоаккумулятора площадью 1 м^2 должна быть не меньше, чем 400 Вт. Тогда суммарная энергия теплового потока за сутки составит с учетом естественных потерь около (10 ÷ 14) кВт·час. Этой энергии может быть достаточно

для поддержания комфортной температурой в пределах 20 ^{0}С в помещении площадью 30-35 м^2.

3. Рекомендовано изготавливать теплоаккумуляторы из шунгита или талькохлорита.

4. Разработаны рекомендации по использованию установки индукционного нагрева в качестве первичного источника тепловой энергии. Выполнен анализ способов нагрева и определены основные характеристики установок индукционного нагрева, которые могут применятся для теплоаккумуляторов, изготовленных из шунгита или талькохлорита.

5. Разработана система автоматического регулирования работой микро-ГЭС с аккумулированием энергии, основанная на широтно-импульсном регулировании напряжения питания индуктора в установке индукционного нагрева системы аккумулирования энергии.

8. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРО-ГЭС НА СВЕРХНИЗКИЕ НАПОРЫ

Социальная, экологическая, экономическая и энергетическая ситуация в РФ заставляет обратить внимание на малые низконапорные гидроэлектростанции (ННМГЭС), в особенности в равнинных условиях. Характерные напоры на таких установках — несколько метров с возможными крайними значениями до 10 м. Низконапорные ННМГЭС при соответствующем режиме их работы и технических мероприятиях являются экологически чистыми объектами малой гидроэнергетики, которые к тому же практически не вызывают затоплений территорий сверх тех, что наблюдаются в естественных условиях, например, при прохождении высоких половодий и паводков на реках. Вместе с тем они позволяют использовать значительную часть гидроэнергетического потенциала малых рек. Конечно, переход на низкие напоры приводит к увеличению удельных показателей стоимости 1 кВт установленной мощности и 1 кВт.ч выработанной энергии за счет увеличения стоимости сооружений и технологического гидромеханического оборудования.

Для улучшения этих показателей необходим интенсивный поиск новых технических решений. Одним из таких решений является, разработанная на кафедре ВИЭГ малая гидротурбина. Использование таких гидротурбин может оказаться наиболее приемлемым в для энергоснабжения различных малых потребителей (садовые участки, кооперативы, пастбища и др.) и даст положительный социально-экономический эффект.

В данном разделе изложены основные положения методики оценки социально-экономической эффективности использования МГЭС на сверхнизкие напоры .(по [31,61,62,64]) Рассматривается микро-ГЭС мощностью до 5 кВт на сверхнизкие напоры 1,8 – 3,5 м с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева для комбинированного электро- и теплоснабжения автономных потребителей.

8.1. Общие положения

Малые гидроэлектростанции, использующие сверхнизкие напоры могут быть созданы в различных местах России. При выборе наиболее благоприятных мест для их строительства и оценки их социально-экономической эффективности учитываются многие факторы (экономические, социальные, экологические и др.). Эта задача является многокритериальной. Правильный выбор критериев оценки предопределяет успех в ее решении. В процессе создания и функционирования энергетических объектов, в том числе и малых, вовлекаются различные виды ресурсов, оценка которых и определяет их социально-экономическую эффективность. К ограниченным ресурсам прежде всего относятся природные, трудовые и финансовые ресурсы. Основными критериями при решении поставленной задачи с использованием микро-ГЭС являются следующие:

- **Экономическая значимость объекта** (средняя цена производства тепловой и электрической энергии и др.).
- **Социальная значимость объекта** (создание дополнительных рабочих мест; содействие развитию местной промышленности, обеспечение потребителям современных энергетических услуг и т.д.).
- **Экологическая значимость объекта** (снижение выбросов вредных веществ в атмосферу, в том числе парниковых газов; рациональное использование органического топлива и т.д.).
- **Научно-техническая значимость объекта** (определяет уровень разработки технического объекта, отражаемый коэффициентом полезного действия, коэффициентом полноты использования топлива, использованием современных материалов и технологий, “ноу-хау” и т.д.).

На основе учета этих факторов оценивается интегральная значимость строительства микро-ГЭС. Путем сопоставления оценок интегральной значимости микро-ГЭС с альтернативными технологиями энергоснабжения определяются лучшие объекты для финансирования и определяется их социально-экономическая эффективность..

8.2. Экономическая значимость

Энергетические объекты характеризуются различными экономическими показателями и оценками, которые и определяют их экономическую значимость. Цель технико-экономических оценок – определить прибыльность создания энергетических объектов как в целом для общества, так и для конкретных хозяйствующих субъектов, реализующих проекты.

Общепринятыми методами экономического обоснования целесообразности строительства энергетического объекта являются методы сравнительной и общей экономической эффективности [30-31]. Сущность метода сравнительной экономической эффективности заключается в сопоставлении затрат на создание и эксплуатацию различных альтернативных энергетических объектов. Сопоставление затрат осуществляется соотнесением "доходов" (Д) и "расходов" (Р). При этом под расходами понимается суммарная стоимость всех видов ресурсов (материальных, трудовых, финансовых), вовлекаемых в процесс создания и функционирования определенного объекта энергетики, а также суммарная экономическая оценка всех отрицательных эффектов, возникающих в результате реализации этого варианта, а под доходами те же самые показатели альтернативного варианта. В методе общей экономической эффективности доходы определяются объемом реализованной продукции. При этом предполагаются определенные условия финансирования и налогообложения.

Критерием экономической эффективности варианта служит величина отношения суммарного дисконтированного дохода за расчетный период к суммарному дисконтированному расходу за этот же период. Если дисконтированные доходы за расчетный период превышают расходы, то энергетический объект считается более предпочтительным, чем альтернативный. Таким образом, критерий экономической эффективности в наиболее общем виде формулируется достаточно просто:

$$\frac{Д}{Р} \succ 1 \quad или \quad Д - Р \succ 0 . \qquad (1)$$

Этот же критерий будет определять экономическую значимость объекта.

8.3. Финансовый анализ

Весьма важным аспектом при сопоставлении различных объектов является распределение затрат на создание и функционирование энергетического объекта во времени в рамках расчетного периода. Финансовый анализ включает в себя определение эффективности энергетического объекта с точки зрения вкладывания в него капитала и получения прибыли с учетом различных условий получения и возврата кредитных сумм. При чрезвычайно низкой платежеспособности населения решающую роль имеет федеральное финансирование, хотя бы в объеме 10-20% от стоимости объекта, а также региональное финансирование. Последнее имеет прямой экономический смысл, не говоря уже о социальном значении надежного энергоснабжения. Обеспечение топливом удаленных районов с автономным энергоснабжением, «съедает» до 80% бюджета некоторых районов. В то же время сооружение объектов малой гидроэнергетики может снизить «топливную» составляющую бюджета района до 5-10%.

8.4. Социальная значимость

При сопоставлении энергетических объектов часто упускаются (или недостаточно учитываются) весьма важные характеристики этих объектов, которые определяют его социальную значимость. С различными объектами энергетики, как правило, связаны разные социальные эффекты - масштаб вовлечения трудовых ресурсов (А), уровень надежности энергоснабжение потребителей (Б), степень живучести потребителей (В) и другие.

Говоря о социальной сопоставимости различных объектов энергетики необходимо выделять, по крайней мере, первые три социальных эффекта.

Первый (А) - вовлечение определенного количества работников (трудовых ресурсов) в объект и тем самым их отвлечение от других сфер деятельности.

Второй (Б) социальный эффект связан с характеристиками надежности энергоснабжения потребителей. Важность этих характеристик для объектов

энергоснабжения чрезвычайна. Но до недавнего времени учет характеристик надежности либо вообще не проводился, либо велся крайне недостаточно.

Третий (В) социальный эффект обусловлен поддержанием живучести потребителей (поселений). Например, создание малой гидроэлектростанции способствует повышению живучести поселения. Средства расходуемые на ее строительство и эксплуатацию по сути могут рассматриваться как средства поддерживающие живучесть поселения.

Очень важным социальным аспектом сооружения водохранилищ МГЭС является их рекреационный потенциал благодаря сформировавшимся живописным ландшафтам и возможностям организации отдыха на воде и побережьях искусственных водоемов.

В целом, можно говорить о некоторой “социальной цене”, отражающей сопутствующие затраты или доходы общества, при производстве энергии с помощью данной энергетической технологии.

8.4.1. Экологическая значимость объекта

Энергетические объекты оказывают разное воздействие на окружающую среду. Разная экологичность объекта определяется тем ущербом, который наносится окружающей среде созданием и функционированием объекта.

8.4.2. Научно-техническая значимость объекта

Научно-техническая значимость объекта определяет уровень технической разработки по сравнению с “мировыми аналогами” и другими объектами, существующими в России. Она характеризуется: коэффициентом полезного действия, коэффициентом полноты использования топлива, используемыми в установке новыми материалами, технологиями, “ноу-хау” и т.д.

8.5. Методики количественных оценок

8.5.1. Экономические оценки объектов

Экономические оценки рассчитываются исходя из предполагаемых величин доходов и расходов, инвестиций и ставок налогообложения для определения финансовой жизнеспособности и рентабельности проекта для общества. Экономический анализ проектов позволяет расставить их по приоритету как для экономики в целом, так и для отдельных ее отраслей и предприятий. Этот анализ сфокусирован на трех основных вопросах:

- Относится ли проект к одному из приоритетных (социально-значимых) секторов экономики, учитывая тот факт, что имеющиеся в распоряжении ресурсы ограничены ?
- Каким образом выполнение проекта будет способствовать развитию определенного сектора экономики, промышленности?
- Будет ли произведенный в результате реализации проекта национальный доход

достаточен для того, чтобы оправдать затраты ограниченных ресурсов (капитал, материалы, оборудование, трудовые ресурсы, энергетические ресурсы и др.)?.

Ответы на эти вопросы требуют проведения тщательного отраслевого и рыночного анализа, а также количественного выражения хозяйственных доходов и расходов для того, чтобы оценить вклад проекта в общественное благосостояние. Приемлемый проект должен увеличивать национальный доход с учетом дисконтирования. Сам по себе доход не создает благосостояние, однако, он способствует потреблению товаров и услуг, что, в свою очередь, способствует увеличению благосостояния.

В дальнейшем описании используются следующие обозначения:

K_t – капитальные вложения в год t; $И_t$ – текущие издержки в год t; $И_t = И_t - И_{AM\ t}$ – текущие издержки без амортизации в год t; P_t – приток наличности в год t; $Э$ – произведенная энергия за расчетный период в натуральном выражении; K_Σ – суммарные инвестиции в объект; T_c – расчетный период; r – норма дисконта; B_t – коэффициент разновременности затрат:

$$B_t = \frac{1}{(1+r)^t}. \tag{2}$$

Норма дисконта r определяется с учетом номинальной годовой процентной ставки по депозитам n_r и коэффициента инфляции b по формуле:

$$r = \frac{n_r - b}{1+b}. \tag{3}$$

Определяются следующие основные критерии экономической эффективности.

1. По затратам на их создание и функционирование - сумма полных затрат в объект (с учетом инфляционных процессов, дисконтирования, пользования кредитами и др.) за расчетный период, в пределах которого определяется экономическая оценка.

$$З = \sum_{t=1}^{T_C} (K_t + И_t) \cdot B_t . \tag{4}$$

2. По усредненным удельным полным затратам на выдачу потребителю энергии в течение расчетного периода (цент/кВт.ч).

$$з = \frac{З}{Э}. \tag{5}$$

3. По суммарному чистому дисконтированному доходу за расчетный период, ЧДД.

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T_C} (P_t - K_t - И_t) \cdot B_t \,. \qquad (6)$$

4. По индексу доходности, ИД.

$$ИД = \frac{ЧДД}{K_\Sigma}. \qquad (7)$$

5. По сроку окупаемости $T_{ок}$, определяемому с учетом дисконтирования из уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T_{ОК}} (P_t - K_t - И_t) \cdot B_t = 0 \,. \qquad (8)$$

6. По внутренней норме доходности ВНД, определяемой из уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T_C} (P_t - K_t - И_t) \cdot \frac{1}{(1 + ВНД)^t} = 0. \qquad (9)$$

Эти шесть экономических показателей позволяют дать полное представление об экономической целесообразности создания малого энергетического объекта.

Одним из важнейших критериев является стоимость 1 кВт·ч производимой энергии. Удельная стоимость установленной мощности также является важным показателем, но не основным. Так, для дизельных электростанций на привозном топливе удельная стоимость установленной мощности в три раза ниже, чем на МГЭС, а себестоимость электроэнергии оценивается в два-три раза выше, чем на МГЭС.

Следующими по значимости наиболее качественными экономическими индикаторами являются индекс доходности (ИД) и внутренняя норма доходности (ВНД). Эти три показателя могут быть использованы в качестве основных показателей экономической значимости создания микро-ГЭС.

Промышленное освоение микро-ГЭС началось в середине 80-х годов (отдельные попытки создания подобных установок проводились в 30-е годы, но серийное производство налажено не было). В период с 1990 по 1994 гг. объем продаж микро-ГЭС не превышал 250 штук. Стоимость оценивалась в 1100 долл./кВт.

Начиная с 80-х годов поставками микро-ГЭС активно занимаются китайские предприятия. В табл. 8.1 приведены данные о китайской установке, которая может быть использована при сверхнизких напорах.

Кроме Китая на рынок микро-ГЭС поставляют свое оборудование Германия, Япония, Франция. Среди японских компаний, специализирующихся на производстве микро-ГЭС, следует выделить “Фудзи электрик” и “Марушима Хидралик Гейт Воркс”. Фирма

“Марушима” выпускают два основных типа микро-ГЭС: с вертикальной турбиной пропеллерного типа и с поперечно-струйной турбиной. Микро-ГЭС с пропеллерной турбиной выпускаются для диапазона мощностей 2,5-50 кВт, напоров 3-15 м и расходов 0,05-0,5 $м^3$/с. Установки с поперечно-струйной турбиной ориентированы на напоры 2,5-100 м и расход 0,07-5 м3/с. Мощность достигает 5-1000 кВт. В табл. 8.1 приведены некоторые данные по микро-ГЭС фирмы “Фудзи электрик”.

Таблица 8.1

№	Микро ГЭС	Напор, м	Расход, $м^3$/с	Мощность, кВт	Страна производитель
1	ZD760-LM-15	3-4	0,06-0,07	2,2	Китай
2	VVP-4AA23	2	0,52	3,2	Япония
3	VVP-3AB48	4	0,35	4	Япония

Срок службы японских микро-ГЭС составляет 25 лет.

Машины типа Н французской фирмы “Хидролек” рассчитаны на напоры 1-10 м и мощность 2-50 кВт. Их проточная часть состоит из турбинной камеры и прямоосной отсасывающей трубы и имеют осевую пропеллерную турбину.

Американские микро-ГЭС имеют очень высокую стоимость. Так микро-ГЭС мощностью 2 кВт производства США стоит 11 300 долл., в то время как цена аналогичной машины производства Франции или ФРГ составит менее 8 000 долл. с учетом монтажных работ.

Поставками микро-ГЭС занимаются также фирмы Италии, Чехии, Словакии и Польши. Для наших условий представляет интерес чешская микро-ГЭС В-30/35-И при диаметре рабочего колеса 300 мм работает при напоре 2-12 м и расходе 140-350 л/с, развивая при этом мощность от 2 до 30 кВт.

Таким образом, зарубежными фирмами предложены практические решения для микро-ГЭС на сверхнизкие напоры. Удельные капиталовложения лежат в широком диапазоне 1100-5650 долл./кВт. Эти оценки далее используются в расчетах социально-экономической эффективности микро- ГЭС.

8.5.2. Социальная значимость объекта

Социальная значимость определяется следующими факторами:

Количеством используемых трудовых ресурсов на стадии строительства и эксплуатации.

Себестоимостью производства электрической и/или тепловой энергии ЭО.

Количество используемых трудовых ресурсов. При получении этой оценке следует различать принципиально две различных ситуации:

1. Состояние региональной экономики кризисное, имеются невостребованные трудовые ресурсы.

2. Состояние региональной экономики хорошее, трудовые ресурсы востребованы полностью.

1. В период спада экономики имеются свободные трудовые ресурсы и создание новых рабочих мест снижает социальную напряженность и является положительным фактором для общества. “Социальный доход” оценивается как затраты, которые должно нести общество, выплачивая пособия по безработице $Р_Б$ (более правильно использовать прожиточный минимум). В этой ситуации дисконтированный “социальный доход” берется с плюсом.

$$З_{ТР}^{СТР} = Р_Т \cdot Т^{СТР}, \quad (10)$$

$$З_{ТР}^{ЭКСП} = Р_Т \cdot Т^{ЭКСП}, \quad (11)$$

$$Р_Т = Р_Б \ldots если \ldots Р_Б \prec Р_{ФЗП}. \quad (12)$$

где $Т^{СТР}$ – численность работающих на строительстве энергетического объекта; $Т^{ЭКСП}$ – численность эксплуатационного персонала энергетического объекта, $Р_{ФЗП}$ - фонд заработной платы.

2. В период подъема экономики имеет место дефицит трудовых ресурсов, что сдерживает рост производства. В силу ограниченности трудовых ресурсов регулирование их использования осуществляется через плату за трудовые ресурсы $Р_{ТР}$.

$$З_{ТР}^{СТР} = Р_{ТР} \cdot Т^{СТР}, \quad (13)$$

$$З_{ТР}^{ЭКСП} = Р_{ТР} \cdot Т^{ЭКСП}. \quad (14)$$

Этот “социальный ущерб” следует вычитать из суммарного дисконтированного дохода, т.е. брать со знаком минус.

Количество прямых рабочих мест, образуемых при создании энергетического объекта, определяется используемой энергетической технологией.

Себестоимость производства электрической и/или тепловой энергии на ЭО. В целом, общество заинтересовано в создании энергетических объектов, производящих полезную энергию по минимальной цене.

Количество используемых местных материалов и оборудования. Более широкое использование местных материалов и оборудования содействует развитию местной промышленности, оставляя деньги в местном бюджете. Оценка этого социального эффекта осуществляется через среднюю доходность местной промышленности $R_П$, %.

$$З_{МО} = \frac{R_П}{100} \cdot K_{МО}, \quad (15)$$

где $K_{МО}$ – стоимость местных материалов и оборудования, используемых при создании объекта возобновляемой энергетики.

В настоящее время можно говорить об имеющемся опыте эксплуатации малых и микро-ГЭС. Обобщение этого опыта и распространение положительного является насущной задачей, как с точки зрения учета этого критерия при принятии решения о строительстве, так и с точки зрения учета прогрессивных проектных и инженерных решений.

Кадры эксплуатационников в удаленных населенных пунктах – очень серьезная проблема. Этот критерий может оказаться решающим для принятия решения о строительстве энергетического объекта.

8.5.3. Экологическая значимость объекта

Оценка экологического ущерба

При производстве электроэнергии энергетическими объектами вытесняется электроэнергия, поступающая из соседних энергосистем. При этом, если используется нетопливная технология, то в этом случае экологический ущерб равен нулю. При использовании топливной технологии имеет место отрицательный экологический ущерб, обусловленный сжиганием местного топлива для производства электроэнергии и дополнительными выбросами окислов серы, азота и углекислого газа в атмосферу.

При производстве тепловой энергии энергетическими объектами вытесняется местное или привозное топливо. В этом случае экологический эффект от внедрения объектов малой гидроэнергетики будет положительным. Различные энергетические технологии по разному воздействуют на окружающую среду.

Оценка объема выбросов в атмосферу от сжигания топлива

Экологическая чистота гидроэнергетических установок по сравнению с традиционной энергетикой общеизвестна. В качестве важнейшего этот критерий выступает при сооружении энергоустановок в городах и населенных пунктах со сложной экологической ситуацией, особенно в местах массового отдыха населения, заповедниках, заказниках и т.д.

Расчет объемов выбросов в атмосферу рассчитывается по удельным показателям выбросов:

$$Q_{ij} = q_{ij} \cdot W^j, \quad (16)$$

где i – вид выбросов (1- окислы серы SO_2, 2 – окислы азота NO_x, 3 - углекислый газ CO_2 и

др.); j – вид топлива (1 - природный газ, 2 - мазут, 3 - уголь, 4 - торф, 5 – древесные отходы, 6 – черный щелок); W^j – объем сжигаемого топлива вида j. Удельные выбросы определяются как видом сжигаемого топлива, так и технологией сжигания и очистки. Удельные характеристики выбросов (q_{ij}) окислов серы, окислов азота и углекислого газа для различных видов топлив приведены на рис. 8.1, 8.2, 8.3(см. стр. 65).

Выработанная электроэнергия на микро-ГЭС замещает эквивалентное количество электроэнергии, выработанной на ДЭС. Изменение уровня выбросов парниковых газов M_{CO_2}, т/год, при производстве в энергосистеме количества электроэнергии, равного W, определяется по формуле:

$$M_{CO_2} = \alpha_1 \cdot k_{'ээ} \cdot W + \alpha_2 \cdot M_{CH_4} + \alpha_3 \cdot M_{N_2O}, \qquad (17)$$

где α_1 - коэффициент выброса диоксида углерода на 1 г у.т. при производстве электрической энергии, рассчитанный на основании фактического расхода всех видов топлива на производство электрической энергии в определенном году, т CO2/г у.т.; M_{CH_4} - выбросы метана, т/год; M_{N_2O} - выбросы закиси азота, т/год; α_2 - коэффициент перевода 1 т CH_4 в 1 т CO_2, т/т; α_3 - коэффициент перевода 1 т N_2O в 1 т CO_2, т/т.

Годовые издержки на охрану окружающей среды (плата за выбросы) оцениватются по формулам:

$$И_i^{ЭК} = p_i \cdot Q_i, \qquad (18)$$

$$И^{ЭК} = \sum_{i=1}^{3} И_i^{ЭК}, \qquad (19)$$

где p_i – плата за выбросы, соответственно окислов серы $(i = 1)$, окислов азота $(i = 2)$ и углекислого газа $(i = 3)$. Эти издержки необходимо учитывать в экономических оценках объектов.

Объем снижения выбросов CO_2 в атмосферу определяется на основе удельных характеристик, приведенных на рис.8.3 (см. стр. 65). Предполагается сжигание 1 т у.т. замещаемого топлива.

Величина p_{CO_2} – представляет стоимость мероприятий, аннулирующих выбросы CO_2 в атмосферу.

$$Z^{CO_2} = p_{CO_2} \cdot Q_{CO_2}. \qquad (20)$$

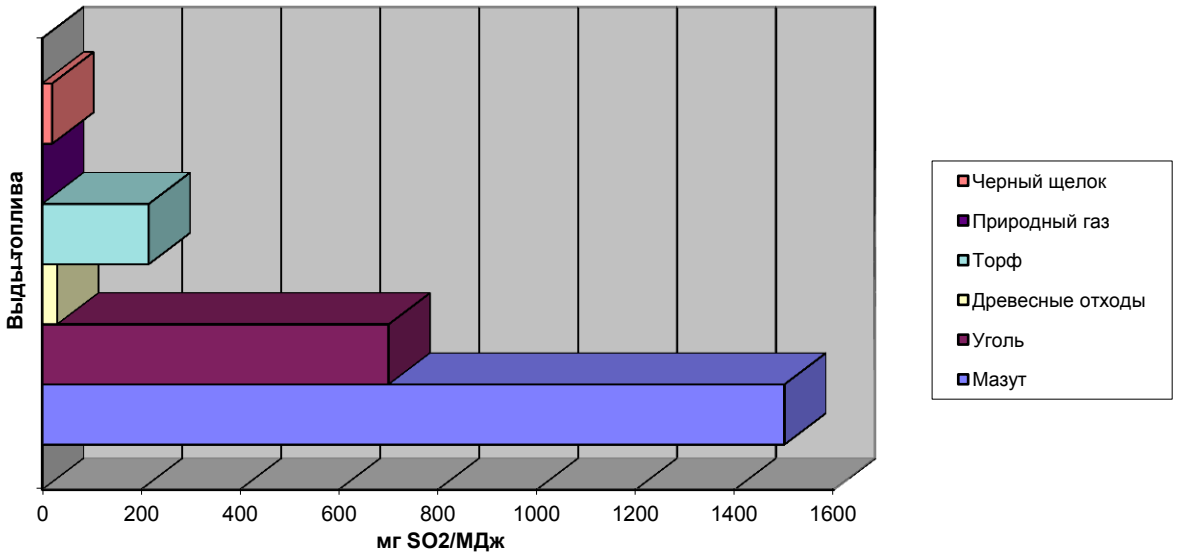

Рисунок 8.1- Средние выбросы серы при сжигании различных топлив.

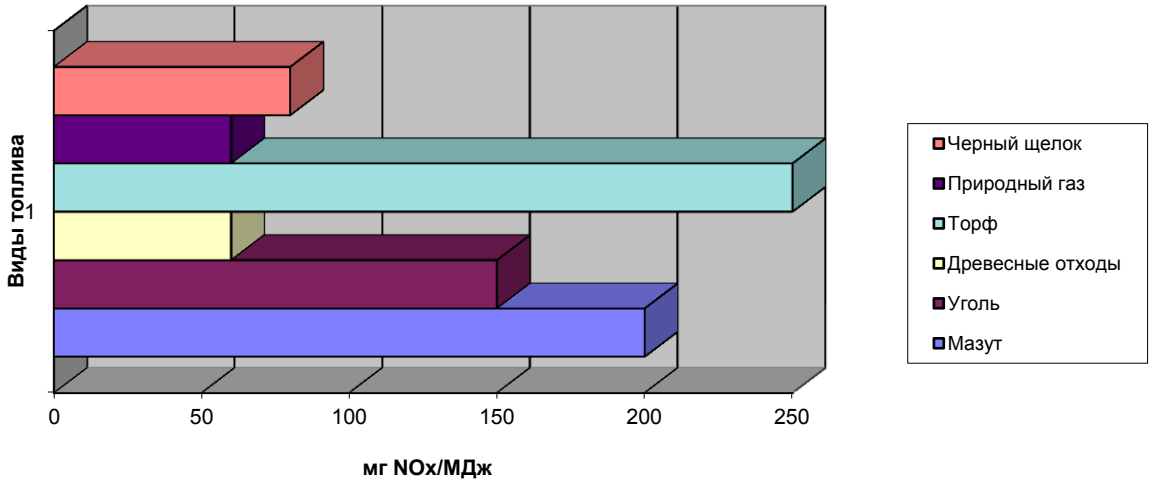

Рисунок 8.2 - Средние выбросы азота при сжигании различных топлив.

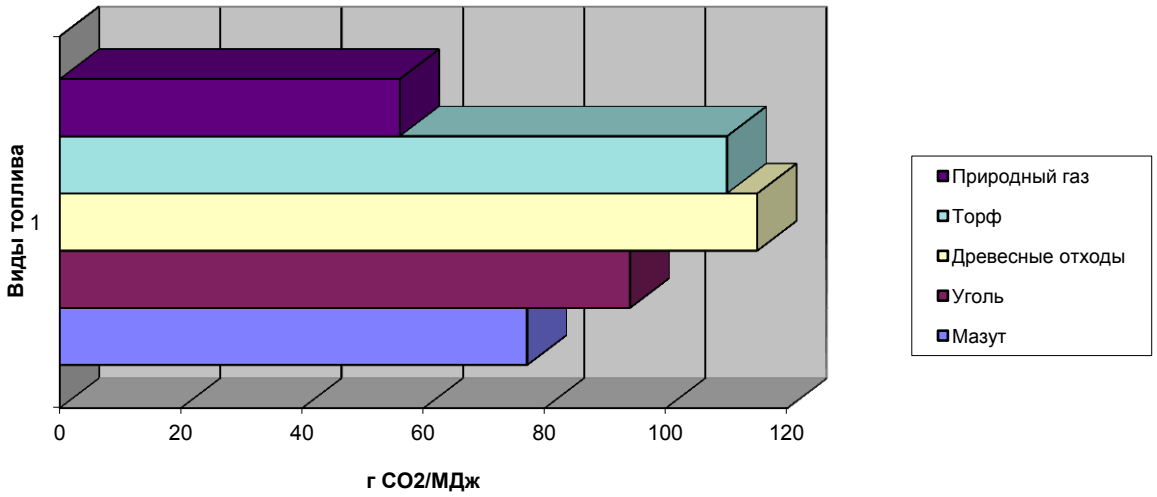

Рисунок 8.3- Средние выбросы углекислого газа при сжигании различных топлив.

Комплексный критерий

На основе изложенных выше методик для любого объекта, включая микро-ГЭС, можно получит фактические оценки качества. Сопоставление полученных оценок с аналогичными оценками для альтернативной системы энергоснабжения позволяет выбрать лучший вариант и оценить социально-экономический эффект.

Так как сравниваются разнородные объекты, то в качестве критериев целесообразно использовать такие критерии которые отражают качество объекта. Такими критериями являются:

1. Удельные капитальные вложения в 1 кВт установленной мощности.
2. Себестоимость производства электроэнергии.
3. Индекс доходности.
4. Количество создаваемых рабочих мест на единицу производимой полезной энергии.
5. Качественный показатель воздействия на окружающую среду.
6. Социальный эффект на единицу производимой полезной энергии.
7. Научно-техническая значимость.

Эти 7 критериев характеризуют с разных позиций качество создаваемой микро-ГЭС. Свод этих 7 числовых критериев в комплексный показатель рекомендуется производить по следующей формуле.

$$M_i = \frac{\sum_{S=1}^{C_1} \theta_S \cdot \frac{p_{Si}}{p_S^{max}} + \sum_{S=1}^{C_2} \theta_S \cdot \frac{\left(p_S^{max} - p_{Si}\right)}{p_S^{max}}}{\sum_{S=1}^{C_1+C_2} \theta_S}, \qquad (21)$$

$$\sum_{S=1}^{C} \theta_S = C,$$

где $C = C_1 + C_2$ – число рассматриваемых критериев, C_1 – число максимизируемых критериев, C_2 – число минимизируемых критериев, θ_S - показатель важности критерия S, M_i - интегральный показатель значимости для объекта i, m – число рассматриваемых объектов, p_{Si}^{max} – максимальное значение критерия для всех рассматриваемых объектов, p_{Si} - числовое значение S-ого показателя для i-ого объекта.

Очевидно, что для инновационных и инвестиционных проектов показатели важности θ_S критериев должны быть различны.

8.6. Потенциальная потребность в оборудовании пико- и микро-ГЭС

В России имеется потребность в использовании оборудования малой гидроэнергетики[2,31]. Речь идет об энергообеспечении труда и быта 20-25 млн. человек. Принимая удельную установленную мощность 1 кВт на человека, общую потенциальную потребность в оборудовании малой гидроэнергетики в первом приближении можно определить в количестве 20-25 млн. кВт, т.е. 10-12% установленной мощности электростанций России. Для более конкретных оценок предлагаются следующие соотношения:

а) Для автономных энергоустановок: потребная мощность установок возобновляемой энергетики ($N_{ВИЭ}$) определяется по формуле:

$$N_{ВИЭ} = Q \cdot N_{У} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i}{k_i}, \qquad (19)$$

где Q – количество жителей в районе, $N_{У}$ – установленная мощность на одного человека, кВт/чел., p_i – доля мощности, покрываемая за счет i-го источника возобновляемой энергетики, k_i – средний коэффициент использования установленной мощности оборудования на базе i-го источника возобновляемой энергетики. При этом должно соблюдаться равенство:

$$N_{ПОТР} = N_{ВИЭ} + N_{Т}, \qquad (20)$$

$$N_{МГЭС} = \beta \cdot N_{ВИЭ},$$

где $N_{ПОТР}$ – максимальная потребляемая мощность, $N_{МГЭС}$ – мощность источника на базе малой гидроэнергетики, $N_{ВИЭ}$ - мощность источника на базе ВИЭ, $N_{Т}$ – мощность энергоисточника на традиционном топливе, β - доля малой гидроэнергетики, которая оценивается в 20% .

Для оборудования, работающего в энергосистеме, мощность возобновляемых источников энергии предлагается определять на основе существующего дефицита мощности ($N_{ДЕФ}$)

$$N_{ВИЭ} = Q \cdot N_{ДЕФ} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i}{k_i}, \qquad (21)$$

где p_i – доля мощности, покрываемая за счет i-го источника возобновляемой энергии, k_i – средний коэффициент использования установленной мощности оборудования на базе i-го источника возобновляемой энергии.

Результаты анализа потребности в гидроагрегатах до 2030 г. для Республики Карелия приведены на рис.8.4. Как следует из этих результатов потребность оценивается примерно в 300 микро-ГЭС мощностью до 10 кВт. Прогнозы получены для энергодефицитного региона в котором проживает около 700 тыс, человек. Эти оценки могут быть распространены и на другие регионы России.

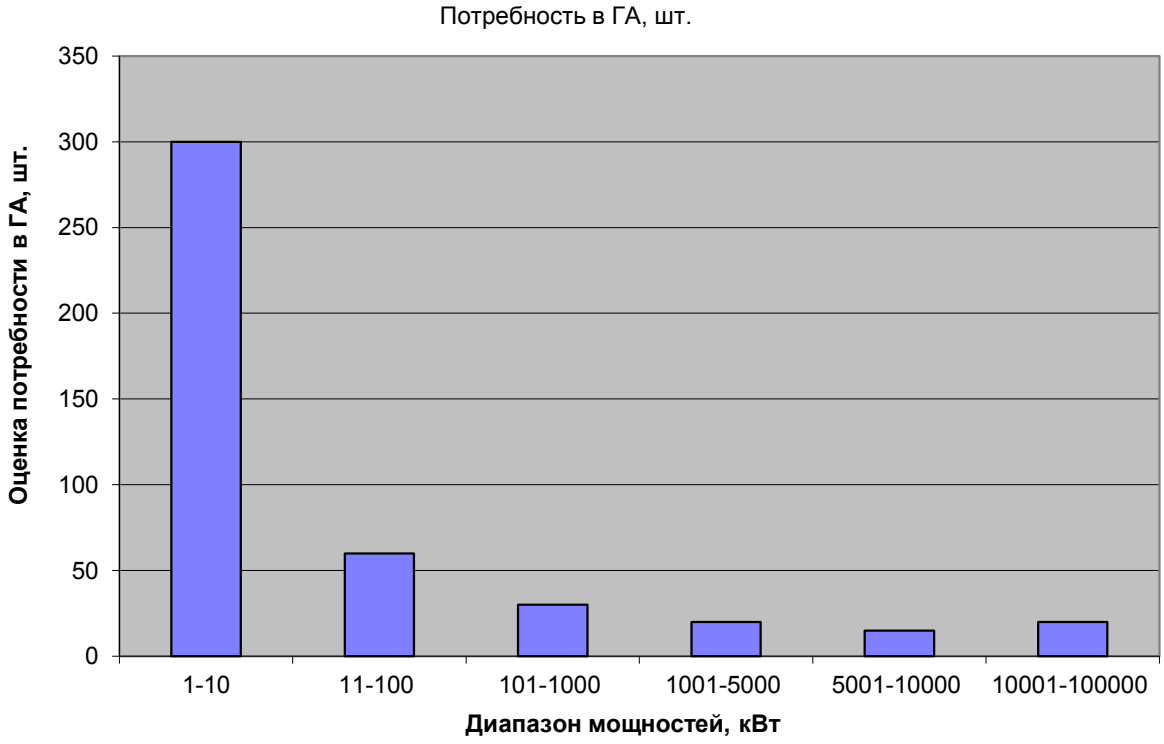

Рисунок 8.4- Распределение потребности в гидроагрегатах по мощности.

8.7. Оценка социально-экономической эффективности

Выполнена оценка социально-экономической эффективности внедрения 300 микро-ГЭС мощностью по 5 кВт в России. Капитальные вложения в оборудование оцениваются в 500 тыс. руб. за одну установку с учетом строительно-монтажных работ. Капитальные вложения в 300 микро-ГЭС составят 150 млн. руб. или 5 млн. дол.. Эксплуатация 300 микро-ГЭС позволит выработать около 12,6 ГВт·ч электроэнергии в год, сэкономить 3377 т у. т. ТЭР, снизить уровень выбросов в пересчете на углекислый газ в объеме 4064 т. Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии.

Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов проведен исходя из того, что количество топлива, требуемого для производства электрической энергии на ТЭЦ, равно

количеству сэкономленных топливно-энергетических ресурсов. Потребление топлива $M_П$, необходимое для производства электрической энергии на ТЭЦ, размещенной в качестве альтернативы ГЭС, за определенный интервал времени, рассчитано по формуле

$$M_П = k_{ЭЭ} \cdot 10^{-3} \cdot W,$$

где $M_П$ - потребление топлива для производства электрической энергии, т у.т./год; $k_{ЭЭ}$ - среднее по России значение расхода топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии, г у. т./кВт·ч; W - выработка электроэнергии за определенный интервал времени, МВт·ч.

Экологическая безопасность эксплуатации микро-ГЭС обусловлена:

- отсутствием выбросов вредных веществ в атмосферу при строительстве и функционировании микро-ГЭС;
- отсутствием нарушения природного ландшафта и окружающей среды в процессе строительства и на этапе эксплуатации;
- отсутствием отрицательного влияния на качество воды: она не теряет первоначальных природных свойств и может использоваться для водоснабжения населения;
- отсутствием зависимости от погодных условий (в отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии таких, как солнце, ветер);
- возобновляемость (неистощимость) энергоресурсов рек и их повсеместная распространенность;
- возможность улучшения многоцелевого (комплексного) водопользования вследствие создания водохранилищ ГЭС.

Расчеты валовых выбросов M_{N_2O}, M_{CH_4}, M_{CO_2} и твердых загрязняющих веществ проводились исходя из того, что в качестве альтернативы строительству 300 микро-ГЭС построили бы ТЭЦ аналогичной мощности. Валовой выброс закиси азота M_{N_2O}, метана M_{CH_4}, углекислого газа M_{CO_2}, т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, представлены для различных вариантов топлива, чаще всего используемого на котельных ТЭЦ (табл. 8.2), при выработке электроэнергии в объеме 12,6 ГВт·ч/год.

Таблица 8.2- Валовый выброс азота оксида, диоксида серы, углерода оксида, т/год

Наименование топлива	M_{N_2O}	M_{CH_4}	M_{CO_2}
Природный газ	4,54	45,3	4064,0
Мазут.	27,2	136,1	21487,0

Валовой выброс твердых частиц и сажи, мазутной золы в пересчете на ванадий, т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, представлены для природного газа и мазута, чаще всего используемого на котельных и ТЭЦ (табл. 8.3).

Таблица 8.3 -Валовый выброс твердых частиц, мазутной золы в пересчете на ваннадий, т/год

Наименование топлива	Величина выбросов твердых частиц и сажи	Величина выбросов мазутной золы в пересчете на ванадий
Природный газ	0	0
Мазут.	0,081-0,083	0,0324

В таблице 8.4 приведены основные показатели проекта строительства 300 микро-ГЭС. Расчеты выполнены при цене на энергию 3,0 руб/кВт·ч, норме дисконта 6,8% и предельном сроке службы микро-ГЭС в 20 лет. Оценки эффективности показаны в таблице 8.5. Как следует из этой таблицы, при принятых исходных данных проект является эффективным и дает значительный социально-экономический эффект. Социальные эффекты оцениваются почти в 300 тыс. долл.

Таблица 8.4 Основные экономические показатели проекта строительства 300 микро-ГЭС

Показатель	Величина
Капитальные вложения, млн. дол.	5,0
Годовые издержки, млн.дол. в год	0,55
Выручка от продажи электроэнергии, млн. дол. в год	1,26
Прибыль до уплаты налогов, млн. дол. в год	0,71
Налог на прибыль, млн. дол. в год	0,142
Чистый доход, млн. дол. в год	0,568
Социальные эффекты, млн. дол. в год	0,305
Доход с учетом социальных эффектов, млн. дол. в год	0,873

Таблица 8.5 Оценки социально-экономической эффективности проекта строительства 300 микро-ГЭС

Оценка	Без учета социальных эффектов	С учетом социальных эффектов
Простой срок окупаемости, лет	8,8	5,7
Чистый дисконтированный доход, млн. дол.	3,8	6,27

Коэффициент чистой существующей стоимости, о.е.	0,76	1,253
Дисконтированный срок окупаемости, лет	13,8	8,45

Социально-экологическая оценка строительства и эксплуатации 300 микро-ГЭС позволяет сделать следующие выводы:

- эксплуатация микро-ГЭС не приведет к существенному изменению водного режима и характеристик биоразнооообразия, исключаются внезапные и периодические изменения уровней воды и связанное с этим возрастание размывов русла;
- получены оценки социально-экономической эффективности строительства микро-ГЭС с учетом и без учета социальных эффектов;
- проект обеспечивает снижение уровня выбросов парниковых газов. За один год эксплуатации 300 микро-ГЭС снизится выброс в атмосферу углекислого газа на 4064 т по сравнению с ТЭЦ, работающей на природном газе и 21487 т - на мазуте;
- проведенные расчеты экономии топливно-энергетических ресурсов показали снижение поставок ТЭР в регионы на 3377 т у. т., что способствует повышению уровня энергетической безопасности России.

8.8. Перспективные регионы развития

Малые ГЭС эффективны там, где социально-экономические условия и перспективы развития производительных сил региона не требуют создания мощных источников энергии, а также в отдаленных районах с рассредоточенными потребителями энергии - в качестве независимого источника энергоснабжения, экономящего дорогое и наиболее опасное в экологическом отношении привозное ископаемое топливо [1,6,7,11,19,20,30,31,44,49,64]. Современный уровень техники дает возможность создавать оборудование для малых, мини- и микро-ГЭС, что при работе на независимого потребителя обеспечивает качество электрической энергии, которая не уступает по своим параметрам электроэнергии больших тепловых и гидроэлектростанций.

Следовательно, развитие малой гидроэнергетики перспективно в районах с высокой плотностью гидроэнергетических ресурсов (преимущественно горные территории) и низкой плотностью электросетей (в первую очередь районы, без возможности присоединения к централизованной сети). Прежде всего это СЗФО, Урал, Южная Сибирь и Поволжье.

В региональном отношении это:

Республики Северного Кавказа: Дагестан, Чечня, Ингушетия, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Адыгея; Ставропольский и Краснодарский край, где

потенциальными пользователями являются фермерские хозяйства, туристические базы и целые населённые пункты.

Карелия, Ленинградская и Мурманская области, где в развитии МГЭС заинтересованы туристические базы и лесозаготовительные предприятия.

Широкий круг потребителей на Среднем Урале, в Южной Сибири, Прибайкалье и на Дальнем Востоке.

Развитие малой гидроэнергетики в регионах обеспечивает:

- создание собственных региональных генерирующих мощностей и снижение дефицита электроэнергии в регионе;
- надежное электроснабжение качественной электроэнергией населенных пунктов в удаленных районах и на концевых участках магистральных линий электропередачи;
- достижение экономической и социальной стабильности в населенных пунктах, которые до настоящего времени не подключены к единой энергетической системе;
- снижение степени дотационности регионов, связанной с закупкой и завозом топлива в труднодоступные районы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный отчет о НИР выполнен в соответствии с государственным контрактом, Техническим Заданием, Календарным Планом и действующими нормативными документами.

На заключительном этапе №4 выполнено:

1. Обобщение и оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем;
2. Сравнительная оценка вариантов возможных решений исследуемой проблемы с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике в России и за рубежом;
3. Технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов;
4. Рекомендации и предложения по внедрению разработанных агрегатов микро-ГЭС в малую гидроэнергетику;
5. Проект методического документа в области малой гидроэнергетики;
6. Проект технического задания для проведения ОКР по теме «Разработка и создание агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии»;
7. Рекомендации по проектированию и изготовлению опытного образца агрегата микро-ГЭС мощностью до 5 кВт с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева;
8. Научно-техническое обоснование социально-экономической эффективности микро-ГЭС на сверхнизкие напоры;
9. Отчетная документация в соответствии с требованиями технического задания и актов Заказчика.

По результатам выполнения проекта можно сделать следующие выводы:

Разработаны научно-технические и технологические основы проектирования, создания, исследования и испытания агрегата микро-ГЭС на сверхнизкие напоры с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии.

Аналитический обзор и сравнение характеристик существующих низконапорных агрегатов микро-ГЭС показал, что на сверхнизкие напоры целесообразно использовать напорную пропеллерную гидротурбину, имеющую высокий коэффициент быстроходности.

Выполненный анализ функций и конструкций проточных частей позволил принять решение о необходимости выполнения турбины прямоточной для сохранения постоянного направления потока вдоль оси турбины с фиксированными лопатками направляющего аппарата, и возможностью разворота лопастей.

Проведенное математическое моделирование проточной части позволило обеспечить правильный выбор входного и выходного углов лопасти и спроектировать и создать лопасть с учетом полученных при моделировании результатов.

Для повышения электрического КПД микро ГЭС предложен способ использования электрической энергии для питания (в основном ночью) разработанного твердотельного аккумулятора тепла с индукционным нагревом на основе талькохлорита и шунгита.

Реконструкционные работы в лаборатории и на экспериментальном стенде кафедры ВИЭГ, СПбГПУ и создание автоматизированной контрольно-измерительной системы, позволили провести экспериментальные исследования и существенно повысить качество исследований, точность и достоверность получаемых результатов.

Последующее физическое моделирование головного образца агрегата микроГЭС подтвердило правильный подход в решении задач проектирования эффективной низконапорной гидротурбины.

По результатам выполненных исследований предложено компоновочное решение низконапорного блока микро-ГЭС с пропеллерным рабочим колесом и взаимно перпендикулярным расположением осей рабочего колеса и генератора.

Данный блок микро-ГЭС мощностью 4 кВт с рабочим колесом диаметром D1=200 мм и жесткозакрепленными лопастями с углом установки φ= -100 предполагается использовать на низкие напоры H=2,5÷5 м. Система автоматического регулирования с аккумулированием тепловой энергии на основе индукционного нагрева позволила наряду со стандартными функциями электроснабжения выполнять задачи теплоснабжения и повысить общую эффективность.

По выполненной технико-экономической оценке рыночного потенциала результатов НИР, потребность в разработанной микроГЭС с индукционным теплоаккумулятором для автономных потребителей в регионах РФ - не менее 1000 единиц на период до 2030 года. Годовой экономический эффект от внедрения таких систем на электроэнергетический рынок оценивается в объеме около 200 млн.руб./год.

При этом эксплуатации микро-ГЭС не приведет к существенному изменению водного режима и характеристик биоразнообразия, исключаются внезапные и периодические изменения уровней воды и связанное с этим возрастание размывов русла. Кроме этого проект обеспечивает снижение уровня выбросов парниковых газов и способствует повышению уровня энергетической безопасности России. За один год эксплуатации одна микро-ГЭС позволит снизить выбросы в атмосферу углекислого газа на 14 т по сравнению с ТЭЦ, работающей на природном газе и на 70 т - на мазуте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев Ю.С. П.П.Безруких, В.В.Елистратов, Г.И.Сидоренко. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии России. СПб: Изд-во Политехнического ун-та.2009.-250 с.

2. **Елистратов В.В.** Возобновляемая энергетика - СПб, Издательство Политехнического университета, 2011- ISBN 978-5-7422-3167-7

3. Елистратов В.В. Технологии преобразования и аккумулирования ветровой и гидроэнергии /Докл. Межд. Науч.-Техн. Конгресса ЭНЕРГЕТИКА В ГЛОБАЛЬНОМ МИРЕ, 16–18 июня 2010 г., Красноярск, 138-140 http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/1694/2/E-CONGRESS-2010%20part%202.pdf

4. Бляшко Я.И. Проблемы и перспективы развития малой гидроэнергетики в регионах России Докл. Межд. Науч.-Техн. Конгресса ЭНЕРГЕТИКА В ГЛОБАЛЬНОМ МИРЕ, 16–18 июня 2010 г., Красноярск, 195-197 http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/1694/2/E-CONGRESS-2010%20part%202.pdf

5. Barros R. M., Filho G.L T. Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil//Renewable Energy, 2012, V.48, pp/27-34 http://www.sciencedirect.com/science/journal/09601481

6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года Экологический консалтинг. 2010. № 1. С. 12-69

7. Обзор применяемых в субъектах Российской Федерации возобновляемых источников энергии - Министерство регионального развития Российской Федерации Департамент жилищно-коммунального хозяйства М.: 2007 archive.minregion.ru/OpenFile.ashx/obzor.doc

8. **Elistratov V. V.**, Aronova Ye. S. The Simulation of Operation and the Optimization of the Parameters of the Systems for Self Contained Power Supply Based on Renewable Energy Sources //Thermal Engineering, 2011, Vol. 58, №13, pp. 1081–1088

9. Макаров А.А., Фортов В.Е. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России//Вестник РАН. Т 74. № 3. 2004

10. Paish O. Micro-hydropower: status and prospects // Proc. Inst. Mech. Engrs., 2002, Vol. 216, Part A: J. Power and Energy- Spec. Iss. Paper, 31-40

11. Попель О.С., Реутов Б.Ф., Антропов А.П. Перспективные направления использования возобновляемых источников энергии в централизованной и автономной энергетике //Теплоэнергетика. 2010. № 11. С. 2-11 http://elibrary.ru/item.asp?id=15510076

12. Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries / FINAL SYNTHESIS REPORT, Contract R7215 Ed. by S. Khennas and A. Barnett In

association with London Economics & deLucia Associates, Cambridge Massachusetts, USA., 2004 http://practicalaction.org/docs/energy/bestpractsynthe.pdf

13. Основные технические характеристики и типы микроГЭС http://ecorussia.info/ru/ecopedia/standard_hydrofarms

14. Большое будущее малой гидроэнергетики http://aenergy.ru/1524

15. **Елистратов В.В., Минина А.А.** База Данных «Агрегаты микроГЭС» , заявка №2012620250 от 03.04.2012, свидетельство №2012620504 от 01.06.2012 https://sstp.ru

16. Микро-ГЭС для автономного дома Катастрофы и выживание в кризисных ситуациях. talks.guns.ru/forum_light_message/.../603352.htm

17. Бляшко Я.И. Малые гидроэнергетические станции / В кн. Аверьянов В.И., Карасевич А.М., Фадеев А.В Системы малой энергетики: современное состояние и перспективы развития.- М.: Страховое ревю, 2008/ Т.1, Гл.4 http://hghltd.yandex.net/yandbtm?fmode=inject&url=http

18. **Бляшко Я.И.,** Шпицберг В.Е. Проекты создания малых ГЭС и возможности повышения эффективности их использования//Теплоэнергетика. 2012. № 11 (в печати)

19. Бляшко Я.И. Современные тенденции развития малой гидроэнергетики в мире и в России//Теплоэнергетика. 2010. № 11. С. 43-50 http://elibrary.ru/title_profile.asp? id=8246

20. Санеев Б.Г. и др. Нетрадиционная энергетика в энергоснабжении изолированных потребителей регионов Севера /Проблемы нетрадиционной энергетики: материалы научной сессии Президиума Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, 13 декабря 2005.г.//Рос. акад. наук, Сиб. Отд.

21. Фортов В.Е., Федоров М.П., **Елистратов В.В.** Гидроэнергетика после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС//Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2011. Т. 130. № 3. С. 17-27

22. **Дюльдин М.В.,** Панфилов А.А., Столяров Н.В. Методы измерения ветрового потока при проектировании ветроэлектрических станций//Научно-Технические Ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического государственного политехнического университета. Сер. «Наука и образование», 2012, (в печати)

23. Бляшко Я.И., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. и др. Гидроэлектростанции малой мощности. /Под ред. В.В. Елистратова - СПб: Изд-во Политехнического университета, 2007 -420 с. ISBN 5-7422-1047-7 http://www.books.ru/books/gidroelektrostantsii-maloi-moshchnosti400465/

24. **Елистратов В.В.**, Аронова Е.С., Шварц М.З. Оптимизация фотоэлектрических модулей при проектировании солнечных электростанций// Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2012, Вып. 4(37) (в печати) http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8917

25. Организация серийного производства возобновляемых источников электроснабжения – свободнопоточных микроГЭС/ Материалы выставки-конференции «Инновации – бизнесу», Югра, 2008 http://www.ideasandmoney.ru/Ppt/Details/297397

26. **Елистратов В.В., Кудряшева И.Г.,** Мирошникова Ю.А Методы повышения системной и экономической эффективности гидроаккумулирующих станций// Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 2012, т.266 (в печати) http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8704

27. Методические рекомендации по определению рыночной стоимости интеллектуальной собственности от 26 ноября 2002 г. № СК-4/21297 М.Ж Минэкономразвития РФ http://ozenka-biznesa.narod.ru/Npd/mr_is.htm

28. Елистратов. В.В., И.Г. Кудряшева, А.А.Панфилов. Иформационно-аналитическая база данных «Малые ГЭС России». Тезисы докладов н.-т. конф. «Гидроэнергетика: новые разработки и технологии». СПб. ВНИИГ. 2005.

29. Бляшко Я.И. Малая гидроэнергетика в России http://cleandex.ru/opinion/2010/07/05/small_hydro_energy_in_russia

30. Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Технико-экономический анализ - Учеб. Пособие СПб: Изд-во Политехнического университета, 2009 http://www.saup.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=1

31. Компьютерные технологии в научных исследованиях и проектировании объектов возобновляемой энергетики - Учеб. пособие / Ю.С. Васильев, Л. И. Кубышкин, И. Г. Кудряшева; под общ. ред. Ю. С. Васильева – Рекомендовано Учебно-методическим объединением но университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140400 «Техническая физика» – СПб.: Изд-во Политехнического Университета 2009 – 262 с.; I8BN 978-5-7422-2014-5 http://www.saup.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=56&Itemid=1

32. **Светозарская Светлана Владимировна** Методика параметрического моделирования оборудования и сооружений зданий ГАЭС/ Дисс. на соиск. ученой степени кандидата технических наук СПб, 2011 230 с., защита 27.12.2011

33. Бляшко Я.И., Золотаревич В.П., Югов Н.В. Расчет гидродинамических характеристик потока для моделирования проточной части гидроагрегата на основе численных и аналитических методов с целью разработки инженерной методики расчета // Проблемы машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. СПб., 2005. Вып. 34. С. 24-40.

34. Светозарская С.В. Трехмерное параметрическое моделирование гидроэнергетических природно-технических комплексов. //Электротехнические комплексы и системы управления-2011, №3 http://elibrary.ru/title_about.asp?id=27785

35. Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Компьютерные, сетевые и информационные технологии. Расчет турбинных водоводов ГЭС - Учеб. пособие. СПб: Изд-во Политехнического университета, 2011 unilib.neva.ru›dl/2339.pdf

36. **Елистратов В.В., Конищев М.А., Давыдов К.И.** Лабораторные энергетические исследования низконапорного блока микроГЭС.//Научно-Технические Ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического государственного политехнического университета. Сер. «Наука и образование», 2012, (в печати)

37. Структура методических пособий . М.: 2011 http://www.rrc.ysu.ru/resource/network/doc102/3.htm

38. СТО 17330282.27.140.011-2008 Гидроэлектростанции. Условия создания. Нормы и требования doc-load.ru/SNiP/Data1/54/54044/index.htm

39. КАК СОСТАВИТЬ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ http://www.kakprosto.ru/kak-68103-kak-sostavit-metodicheskie-rekomendacii

40. ГОСТ Р 51238-98 НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА ГИДРОЭНЕРГЕТИКА МАЛАЯ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%2051238-98

41. Методическая документация в промышленности, строительстве, энергетике http://www.libinfo.org/nsi/index.php?dir1=m&dir2&dir3&page=1

42. ГОСТ 12.2.007.10-87 Установки, генераторы и нагреватели индукционные для электротермии, установки и генераторы ультразвуковые. Требования безопасности

43. ГОСТ 16962.1-90 Изделия электротехнические. Методы испытаний и оценки на устойчивость к климатическим внешним воздействующим факторам

44. Fulford S., P. Mosley and A.Gill, Recommendations on the use of micro-hydropower in rural development.//J. Int. Dev., 2000, 12, 975–983.

45. The EU–China Small Hydro Industry Guide, 1999 (IT Power, Chineham).

46. ГОСТ 21.615-88 (СТ СЭВ 6071-87) Система проектной документации для строительства. Правила выполнения чертежей гидротехнических сооружений. http://enginer-electric.ru/normativnye-dokumenty/spds/264-gost-21615-88-st-sev-6071-87-pravila-vypolneniya-chertezhej-gidrotexnicheskix-sooruzhenij.html

47. СНиП 23-01-99 Строительная климатология http://www.remontnik.ru/docs/5884/?page=2

48. СНиП 2.01.01-82 СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА http://www.polyset.ru/GOST/all-doc/SNiP/SNiP-2-01-01-82/

49. Maintenance and repais manual for private micro hydro power plants. Prepared by Development and Consulting Service : P.O. Box: 8, Butwal, Nepal. Revised by Dr. Anwar A.

Junejo, International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal, 1998 http://www.ahec.org.in/links/special%20publications/ICIMOD_Manual/M&RM/report_M&RM.pdf

50. Рекомендуемая форма технического задания и инструкция на выполнение опытно-конструкторских работ, направленных на создание новых видов продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления М.: 2010, 43 с. http://fcpir.ru/catalog.aspx?CatalogId=924

51. Методические рекомендации по оформлению технических заданий и календарных планов работ, планируемых к выполнению в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002 – 2006 годы.. М.:2001, 64 с. http://fcpir.ru

52. Материалы с портала “Отраслевые и ведомственные нормативно-методические документы. Проектирование и строительство объектов энергетического комплекса»: http://stroy.gostedu.ru/48834.html

53. Материалы с портала “ГОСТы и СНиПы, строительные нормы и правила. Сборник ГОСТов и СНиПов, нормативных документов и методических рекомендаций по строительству» http://www.spsi-sro.ru/?id=578&page=48&type=201

54. Kopacik A. , M. Zamechnikova, P. Kyrinovic 3D Model Creation of Hydro-Technical Structures/In: Proc. of XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006 www.fig.net/pub/fig2006/papers/.../ts88_06_**kopacik**_etal_0674.pdf

55. **Елистратов В.В.,** Минина А.А. Моделирование энергетически эффективной части ветрового потока за краткосрочные интервалы времени//Научно-Технические Ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического государственного политехнического университета. Сер. «Наука и образование», 2012, (в печати)

56. Бляшко Я.И., Ванжа А.И. Регионы покупают собственные ГЭС//Академия энергетики. 2006. № 10. С. 42-45. http://elibrary.ru/title_about.asp?id=28060

57. Чиркова И.Г. Формирование спроса на технологии возобновляемой энергетики в сельской местности//Никоновские чтения, 2007, №12, 484-487 http://elibrary.ru/download/82472360.pdf

58. Обзор Российского рынка распределенной энергетики М.:2007 INFOMINE Research Group www.infomine.ru

59. Малик Л.К. Проблемы освоения гидроэнергетического потенциала малых рек России: экологический и социально-экономический аспекты//Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: Материалы Междунар. науч. конф. - Томск, 2000. -С. 627 -630

60. Масликов В.И., Федоров М.П. Природно-технические системы в энергетике// Известия Российской академии наук. Энергетика. 2006. № 5. С. 7-16

61. Пешнин Алексей Геннадьевич Экологическая оценка экономической эффективности использования возобновляющихся источников энергии Дисс. на соиск. ученой степени кандидата технических наук М, 2002 227 с. http://www.dissercat.com/content/ekologicheskaya-otsenka-ekonomicheskoi-effektivnosti-ispolzovaniya-vozobnovlyayushchikhsya-i

62. **Васильев Ю.С., Сидоренко Г.И.,** Фролов В.В. Методика обоснования параметров малых гидроэлектростанций //Научно-Технические Ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического государственного политехнического университета. Сер. «Наука и образование», 2012, №2-1(145), 76-84 http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=574603

63. Мустафьев Р.И., Рахманов Н.Р., Dursun K. Стратегия развития малой и микрогидроэнергетики: опыт использования МГЭС в Норвегии// Energetikamn Problemlari - Проблемы энергетики, 2007, №1 http://www.elm.az/physics/PowerEng/2007/v1article/art03.pdf

64. Сидоренко Г.И., Ельцова Е.А Обоснование параметров малых гидроэлектростанций с учетом социально-экологических ограничений //Экология промышленного производства – 2010, №2 http://elibrary.ru/item.asp?id=14314712

65. Отчет о НИР «Разработка научно-технических и технологических основ проектирования, создание, исследования и испытания головного образца агрегата микро-ГЭС на сверхнизкие напоры с турбиной нового поколения и интегрированной системой аккумулирования энергии». Этапы №№1-3. Научный рук/ – профессор В.В.Елистратов ГР 01201175622. СПб, 2011-2012 https://sstp.ru

66. Проект Программы модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года. Руководитель – академик РАН Э.П. Волков. М.: ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского», 2011

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

_____ Д.Ю. Райчук

«3» июля 2012 г.

ПРОЕКТ МЕТОДИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА В ОБЛАСТИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Руководитель разработки,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВИЭГ В.В. Елистратов

Санкт-Петербург

2012

АННОТАЦИЯ

Документ разработан в соответствии с п. 5.1.7 Технического Задания по государственному контракту.

Документ может быть полезен для моделирования объектов малой гидроэнергетики, а также при подготовке специалистов (магистров, бакалавров, дипломированных специалистов и кадров высшей квалификации) в области возобновляемой энергетики.

При разработке документа использованы публикации и нормативно-методическая литература в области гидроэнергетики, теплоэнергетики, строительства, подготовки кадров по университетскому политехническому образованию, отраженные во всемирной сети Интернет, опыт исполнителей по государственным контрактам и грантам Минобрнауки, РФФИ и субъектов Российской Федерации.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	ВВЕДЕНИЕ	4
1.	Методические предложения по параметрическому моделированию объектов малой гидроэнергетики	5
2	Методические предложения по моделированию проточной части гидротурбин	7
3	Методические предложения по аккумулированию вырабатываемой микро-ГЭС энергии	9
4	Методические предложения по управлению агрегатом микро ГЭС	12
5	Методические предложения по учебно-научным исследованиям в области малой гидроэнергетики	12
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	15

ВВЕДЕНИЕ

Методический документ может быть полезен для моделирования объектов малой гидроэнергетики, а также при подготовке специалистов (магистров, бакалавров, дипломированных специалистов и кадров высшей квалификации) в области возобновляемой энергетики.

При разработке документа использованы публикации и нормативно-методическая литература в области гидроэнергетики, теплоэнергетики, строительства, подготовки кадров по университетскому политехническому образованию, отраженные во всемирной сети Интернет, опыт исполнителей по государственным контрактам и грантам Минобрнауки, РФФИ и субъектов Российской Федерации.

Авторы – д.т.н., профессор В.В. Елистратов, к.т.н., ст.н.с. Я.И. Бляшко, к.т.н., ст.н.с., профессор Л.И. Кубышкин, к.т.н., директор УНЦ М.А. Конищев.

1. Методические предложения по параметрическому моделированию объектов малой гидроэнергетики

При создании параметрических моделей элементов объектов малой гидроэнергетики следует руководствоваться следующими положениями:

1.1 Разработка базы данных унифицированных моделей конструктивных компонентов и их сборок направлена на усовершенствование технологии трехмерного моделирования для повышения качества проекта, его экономической и энергетической эффективности и сокращения сроков моделирования.

В отличие от существующих методик параметрического моделирования, основанных на использовании библиотек типовых конструкций, применяемых в таких областях как машиностроение, унифицированные модели установок микро-ГЭС представляют собой взаимосвязанные объекты, созданные с использованием сквозной параметризацией, так как геометрические размеры компонентов установки микро-ГЭС должны определяться с учетом их взаимной работы в составе общей модели.

1.2. Для формирования трехмерной параметрической модели твердотельной модели элементов объектов малой гидроэнергетики предлагается использование графического пакета Inventor.

1.3. Создание трехмерной параметрической модели твердотельной модели в графическом пакете Inventor производится в режиме построения эскиза и детали. Эскиз представляет собой двумерный контур, на основе которого при помощи различных функций моделирования (выдавливания, сдвига, вращения и т.д.) создается твердотельная модель элемента гидроэнергетического объекта – деталь.

При моделировании в среде Inventor установок микро-ГЭС под деталью подразумеваются строительные конструкции, например колонны, стены здания станции и конструктивные элементы оборудования - рабочее колесо, спиральная камера и т.д.

1.4 При построении эскизов особое внимание предлагается уделять их взаимосвязи. При этом положение каждого отдельного элемента эскиза жестко определено относительно других элементов, в противном случае, при изменении параметров преобразование модели не будет выполнено или будет выполнено некорректно. Взаиморасположение эскизов определяется рабочими плоскостями, также жестко связанными между собой. Кроме того, возможно построение эскиза на какой-либо поверхности детали. Также следует отметить, что создание твердотельной модели возможно только на основе замкнутого эскиза. На основе эскиза, представляющего собой незамкнутый контур, возможно построение только поверхности.

1.5 Поверхность может быть использована в качестве ограничения твердого тела или,

например, для проецирования контуров модели, но не может использоваться для определения физических характеристик модели.

1.6 Полученные на основе эскизов детали могут быть объединены в сборку, представляющую собой набор деталей, расположенных по отношению друг к другу определенным образом, причем одна деталь может быть включена в сборку несколько раз, образуя массив элементов. Изменение параметров каждой отдельной детали, включенной в сборку, возможно в режиме ее редактирования. Задание общих параметров, управляющих несколькими элементами сборки, не предусмотрено.

1.7 Взаиморасположение деталей в сборке может задаваться наложением зависимостей, то есть ограничением их степеней свободы. Кроме определения положения детали в сборке, наложение зависимостей может определять размеры детали. Например, возможно задание необходимого диаметра картера двигателя-генератора в зависимости от габаритов его модели. Наложением таких зависимостей реализуется геометрическая (адаптивная) параметризация модели.

1.8 Чертежи в среде Inventor создаются на основе полученной трехмерной модели и представляют собой набор проекций, видов, разрезов, узлов объекта.

1.9 Чертеж отображает текущее состояние модели, то есть при внесении каких-либо изменений в модель эти изменения автоматически отображаются на чертеже, что исключает возможность возникновения несогласованной графической документации. Средства редактирования чертежей в графическом пакет Inventor позволяют оформлять чертежи на достаточно высоком уровне, и, кроме того, предусматривают возможность импорта чертежей из пакета Inventor в другие графические пакеты, например в AutoCAD, где они могут быть доработаны.

1.10 Изменение параметров модели может производиться на любом этапе создания модели, в том числе предусмотрено преобразование деталей, включенных в сборку, причем другие детали сборки при наложении адаптивных зависимостей также преобразуются в соответствии с новыми размерами изменяемой детали.

1.11 Наиболее эффективным представляется управление моделями объектов при помощи небольшого количества базовых параметров, когда все размеры модели заданы как функции от этих параметров. Преобразование модели в таком случае не требует дополнительных расчетов и непосредственного редактирования смоделированной детали. Для преобразования модели достаточно изменить значения базовых параметров в таблице «Параметры», после чего автоматически производится пересчет размеров, зависящих от измененных параметров, и модель обновляется в соответствии с новыми данными.

1.12 Пакет Inventor позволяет задавать управляющие параметры в виде констант,

формул или при помощи таблиц MS Excel. В процессе создания трехмерной модели в графическом пакете Inventor автоматически генерируется таблица «Параметры», в которой отображаются все размеры, используемые при создании модели.

1.13 В случае необходимости моделирования элемента, базовые параметры которого должны определяться расчетами, необходимо использование дополнительных программ. В частности, в пакете Inventor предусмотрен импорт данных электронных таблиц MS Excel, которые используются в качестве внешних таблиц параметров модели. [1-12]

2. Методические предложения по моделированию проточной части гидротурбин

При проектировании проточной части гидроагрегата микроГЭС следует руководствоваться следующими положениями:

2.1 Рекомендуется использовать имеющийся банк данных проточных частей, созданный путем статистической обработки данных по действующим отечественным гидротурбинам.

2.2 При заданных параметрах (напор, расход, частота вращения рабочего колеса) из банка данных выбираются меридианные очертания проточной части турбины, включающие зону статора, направляющего аппарата, рабочего колеса и входного элемента отсасывающей трубы.

Кроме того, из банка данных используются энергетические параметры, соответствующие оптимальному КПД гидротурбины: приведенный расход; и приведенные обороты.

2.3 Методом математического моделирования по геометрическим и режимным параметрам с учетом гидродинамики, определяются меридианные проекции входной и выходной кромок рабочего колеса гидротурбины, которые заданы в виде аналитических, интегрируемых функций.

2.4 При заданной геометрии проточного тракта турбины и меридианным проекциям входной и выходной кромок лопасти рабочего колеса с использованием основного уравнения турбины и условия неразрывности потока определяются гидродинамические параметры потока.

2.5 На основании уравнения баланса энергии определяется КПД гидротурбины.

2.6 Для формирования лопасти гидротурбины следует сформировать расчетную криволинейную сетку

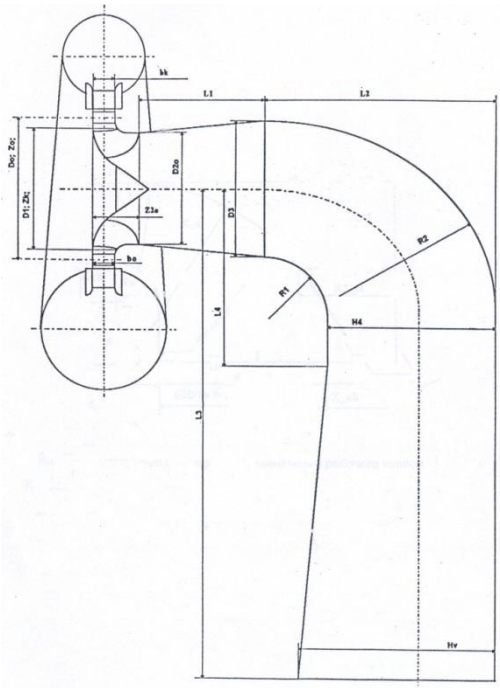

Рисунок А1 Габаритный чертеж проточного тракта гидротурбины

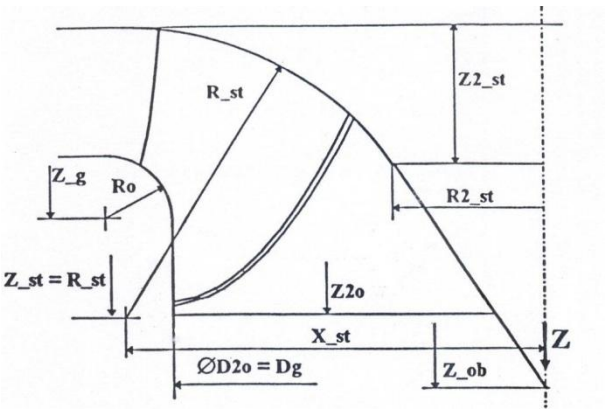

Рисунок А 2 Меридианная проекция проточной части рабочего колеса

Расчетную криволинейную сетку следует формировать в меридианной проекции.. Так как входная и выходная кромки заданы в виде аналитических, интегрируемых функций одного семейства следует задать семейства аналогичных линий с равным шагом в направлении от входной к выходной кромке.

Координаты полученных точек являются узловыми точками расчетной криволинейной сетки для формирования лопасти.

После построения криволинейной сетки при заданном расходе определяются составляющие скорости в узлах этой сетки. Далее, по заданному закону сработки закрутки потока от входной кромки к выходной определяется третья координата.

В результате получают дискретное задание поверхности лопасти, которое представляется в виде каркаса.

2.7 Сформированная таким образом каркасная поверхность транслируется в пакет программного обеспечения "CAD/CAM" для создания математической модели лопасти гидротурбины .

2.8 На основе полученных моделей строится прогнозная универсальная характеристика гидротурбины .

2.9 Методику моделирования целесообразно интерпретировать исследовательскими испытаниями гидротурбины на стенде. Целесообразно принять, при этом, шаг по углу открытия направляющего аппарата, равным 2^0 , шаг по приведенным оборотам, равным 5 об/мин.

2.10 Для расчетных гидродинамических исследований элементов проточной части предлагается использовать решения задачи осесимметричного течения и обтекания профилей решеток на осесимметричных поверхностях.

2.11 Область решения гидродинамической задачи включает подобласти лопаток направляющего аппарата (НА), лопастей рабочего колеса (РК) и безлопастных каналов. В качестве вычислительного метода рекомендуется использовать метод конечных элементов (МКЭ). Определяемые в результате решения поля скоростей и некоторые другие гидродинамические параметры являются объектом исследований для выяснения возможностей улучшения энергетических качеств проточной части гидротурбины. Для анализа результатов решения может быть использована компьютерная графика. [13]

3 Методические предложения по аккумулированию вырабатываемой микро-ГЭС энергии

При разработке системы аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии следует руководствоваться следующими положениями:

3.1 Необходимость обеспечение единого подхода к проектированию систем аккумулирования вырабатываемой микроГЭС энергии на основе индукционного нагрева, включающего в себя рекомендации по проектированию и изготовлению этих систем в составе микро-ГЭС.

3.2 При проектировании и изготовлении теплоаккумулятора следует выполнить условия, обеспечивающие повышенный электрический КПД микро-ГЭС.

Повышение электрического КПД микроГЭС осуществляется за счет более полного использования электрической энергии в течение суток.

Особенностью современных микроГЭС является непрерывная в течение суток работа без регулярного технического обслуживания. При этом нагрузка на генератор в течение суток меняется по мере включения или отключения основных потребителей. Наиболее существенные изменения нагрузки происходит в ночное время, когда основные потребители отключены. Таким образом, примерно треть суток современные микро-ГЭС работают в режиме, характеризующимся электрическим коэффициентом полезного действия, близким к нулевому значению. Соответственно снижается и электрический КПД электростанции в целом.

Для повышения электрического КПД можно электроэнергию, вырабатываемую микро-ГЭС ночью, аккумулировать в виде тепловой энергии в теплоаккумуляторах, которую затем расходовать на отопление помещений.

Для микро-ГЭС мощностью до 5 кВт, учитывая особенности ее эксплуатации, наиболее целесообразно применение твердотельных теплоаккумуляторов, выполненных из минералов с высоким значением удельной и объемной теплоемкости, а также коэффициента теплопроводности (талькохлорит или шунгит)..

3.3 В качестве первичного источника тепловой энергии для нагрева теплоаккумуляторов можно использовать установку индукционного нагрева, с помощью которой за счет снижения рабочей температуры нагрева можно значительно увеличить срок эксплуатации теплоаккумуляторов. Физические основы индукционного нагрева состоят в том, что под действием электромагнитного поля в телах с конечной электрической проводимостью возбуждаются вихревые токи заданной частоты. Эти токи являются источником тепловой энергии, которая в обычных электротехнических устройствах рассматривается как активные потери, а в установках индукционного нагрева – основным полезным выходным параметром.

3.4 Установка индукционного нагрева состоит из следующих элементов:

- накопителя тепловой энергии
- индуктора,
- источник питания индуктора.

3.4..1 Возможно использование 2-х типов накопителей тепловой энергии. Каждый из этих типов отличается удельной электрической проводимостью материала σ и могут быть выполнены:

- из диэлектрического материала (например, минерал талькохлорит), σ =0,
- из электропроводного материала (например, шунгита), σ >> 1.

Особенностью диэлектрических накопителей тепла является невозможность возбуждения вихревых токов в теле теплоаккумулятора. В этом случае необходимо

использовать дополнительный нагреватель, (например, стальной лист), в котором могут быть возбуждены вихревые токи. Параметры стального листа определяются в соответствии с предварительной методикой, разработанной в рамках настоящей темы.

Для теплоаккумуляторов из электропроводных материалов нагрев осуществляется вихревыми токами, которые индуцируются непосредственно в теле минерала. Допустимые размеры шунгита как источника тепловой энергии определяются в соответствии с предварительной методикой, разработанной в рамках настоящей темы.

3.4.2 Индуктор представляет собой катушку индуктивности, выполненную из проводников с высокой проводимостью (как правило, медных или алюминиевых) и соответственно малыми электрическими потерями, которая предназначена для возбуждения путем электромагнитной индукции вихревых токов в нагреваемом теле.

Основные характеристики индуктора: число витков, амплитуда тока, сечение проводников и другие характеристики должны быть определены в процессе проектирования в соответствии с предварительной методикой, разработанной в рамках настоящей темы.

3.4.3 Источник питания индуктора представляет собой транзисторный преобразователь частоты. Система «индуктор – источник питания» требует для повышения КПД настойки в резонанс, который достигается путем включения последовательно с индуктивностью конденсаторов согласующей емкости. Параметры согласующей емкости определяются по предварительной методике [14]

4 Методические предложения по управлению агрегатом микроГЭС

При разработке системы управления агрегатом микроГЭС следует руководствоваться следующими положениями:

4.1 Необходимо обеспечение устойчивой работы агрегата микроГЭС в условиях неравномерной нагрузки на основе применения система автоматического регулирования (САР).

4.2 Система автоматического регулирования может поддерживать в течение суток величину нагрузки, близкую к номинальному значению. Это достигается путем ступенчатого замещения отключаемых потребителей соответствующим набором активных сопротивлений, собранных в единый блок балластной нагрузки (ББН), который является неотъемлемой частью гидроагрегата. При таком переключении избыточная

электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию и практически бесполезно рассеивается в окружающее пространство.

4.3 Автоматическое управление агрегатом микро ГЭС с аккумулированием энергии на основе индукционного нагрева состоит в том, что при отключении штатных потребителей вместо ББН производится включение установки индукционного нагрева с теплоаккумуляторами.

4.4 Система автоматического регулирования (САР) в этом случае может использоваться для поддержания устойчивой работы микро-ГЭС. путем замещения мощности отключаемых потребителей мощностью системы «индуктор – нагреваемое тело», определенной как произведение постоянного вносимого сопротивления системы на переменное значение амплитуды тока. [15]

5. Методические предложения по учебно-научным исследованиям в области малой гидроэнергетики

При проведении учебно-научных исследований и испытаний в области малой гидроэнергетики следует руководствоваться следующими положениями:

5.1 Учебно-научные исследования и испытания в гидроэнергетике проводятся на базе автоматизированных лабораторных стендов.

На рис. А3 представлена схема экспериментального стенда лаборатории гидроэнергетических установок кафедры ВИЭГ СПбГПУ.

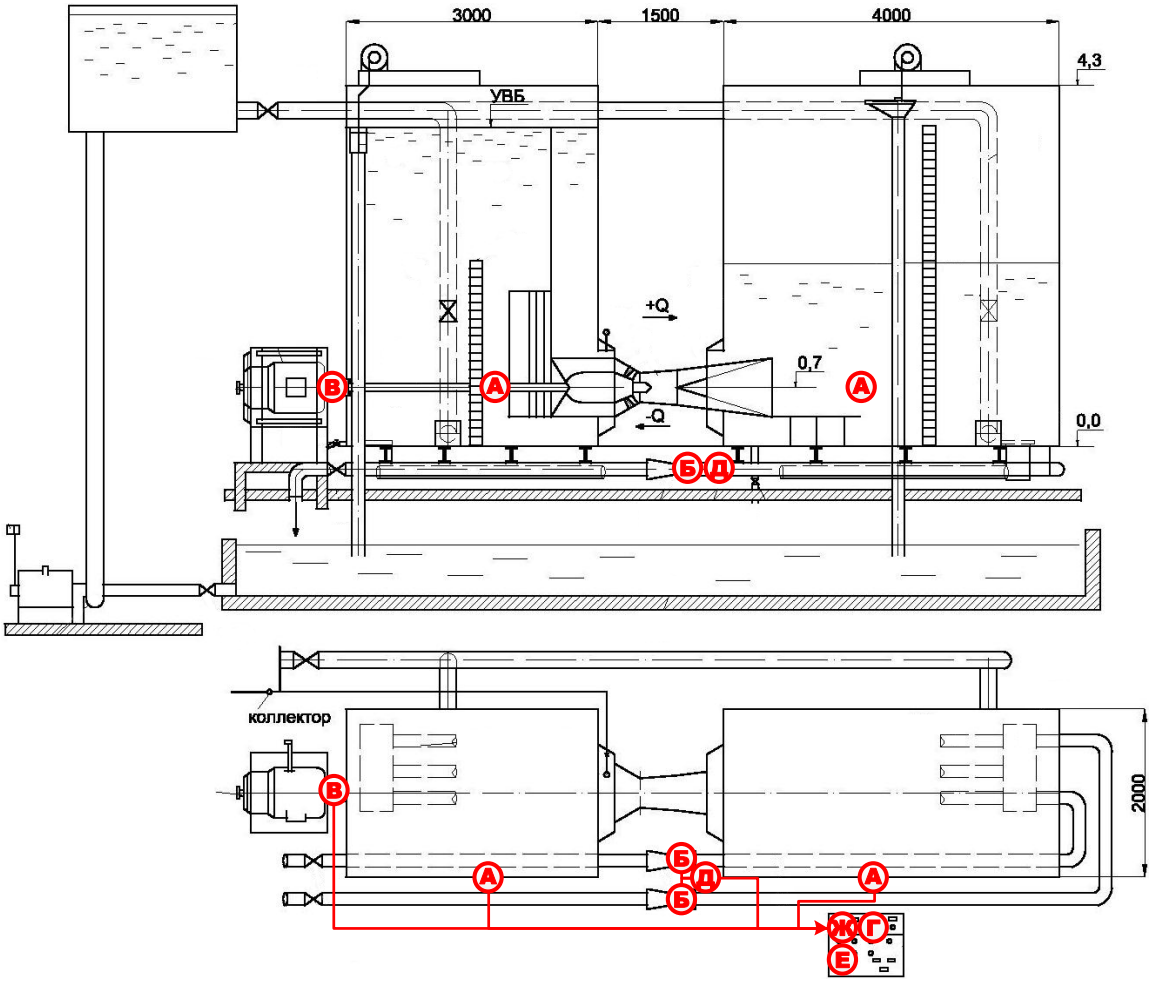

Рисунок А3. Общая схема стенда испытаний микро-ГЭС с контрольно-измерительной аппаратурой: А – емкостные преобразователи давления; Б – преобразователи дифференциального давления; В – вращающийся датчик крутящего момента; Г – частотный преобразователь; Д – аналого-цифровой преобразователь ; Е – Пульт управления трехфазным асинхронным двигателем ; Ж – персональный компьютер.

5.2 Процесс энергетических исследования и испытаний экспериментального гидроагрегата на лабораторном стенде сводится к определению характеристик гидротурбины в различных режимах, при которых лопасти рабочего колеса закреплены в определенном положении.

5.3 При проведении энергетических исследований экспериментального гидроагрегата на лабораторном стенде основными измеряемыми параметрами режима работы являются:

- уровень верхнего $H_{ВБ}$ и нижнего $H_{НБ}$ бьефов (мм вод. ст.);
- расход воды, пропускаемой турбиной, Q ($м^3/с$);
- частота вращения вала агрегата, n (об/мин.);
- момент на валу, M (Н·м);
- угол установки лопаток направляющего аппарата, α_0;
- угол установки лопастей рабочего колеса, φ.

5.4 Энергетические испытания экспериментального гидроагрегата на лабораторномп стенде проводятся при переменной частоте вращения n = var. – с целью построения универсальной характеристики и семейства рабочих характеристик для различных углов φ и α_0.

В качестве примера результатов энергетических испытаний низконапорного блока микро-ГЭС с рабочим колесом ПЛ984-35 на рисунке А4 приведены рабочие характеристики при φ = -5^0 и α_0 = $(100\text{-}120)^0$, а на рисунке А5 - Универсальная характеристика низконапорного блока микроГЭС с зонами работы для D_1= 200 мм и D_1 = 212 мм

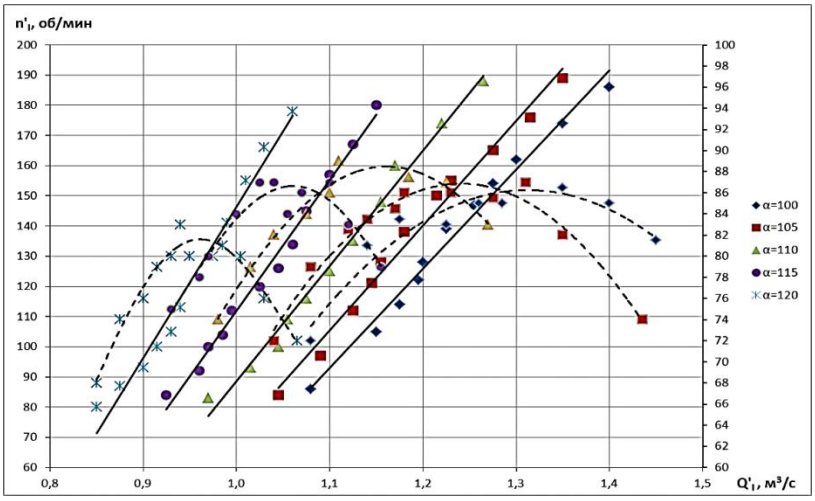

Рисунок А4. Рабочие характеристики при φ = -5^0 и α_0 = $(100\text{-}120)^0$

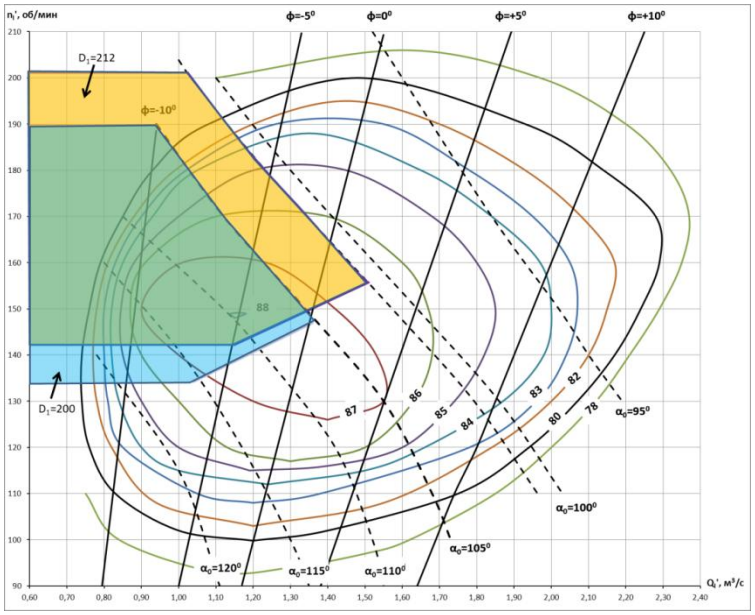

Рисунок А5 - Универсальная характеристика низконапорного блока микроГЭС с зонами работы для D_1= 200 мм и D_1 = 212 мм

5.5 Считывание и обработка результатов экспериментальных исследований и испытаний проводится в автоматическом режиме на основе интеллектуальной системы управления физическим экспериментом. [16-20]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы с портала "Ресурс машиностроения. Машиностроение: новости машиностроения, статьи. Каталог: машиностроительный завод и предприятия." http://www.i-Mash.ru/
2. Светозарская Светлана Владимировна «Методика параметрического моделирования оборудования и сооружений зданий ГАЭС» Дисс. на соиск. ученой степени кандидата технических наук СПб, 2011 193 с.
3. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Parametric modeling of hydroelectric facilities. Proceedings of the union of scientists. Rousse fourth conference. Energy efficiency and agricultural engineering. Association of agricultural engineering in Southeastern Europe. Rousse, Bulgaria 1-3 October 2009. – 10 с.
4. . Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. «Моделирование природно-технических комплексов возобновляемой энергетики». Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (по материалам II международной научно-практической конференции "Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения") – Санкт-Петербург- Чита: Изд-во ЧитГУ, 2010. – Т. 15. №4. – 9 с.
5. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. «Методика параметрического моделирования объектов возобновляемой энергетики». Научно-технические ведомости СПбГПУ., 2011. - №4.
6. Светозарская С.В. «Трехмерное параметрическое моделирование гидроэнергетических природно-технических комплексов». Электротехнические комплексы и системы управления. - Воронеж: Изд-во Кварта, 2011 г. - №3. – 6 с.
7. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И. “Моделирование энергетических сооружений ГАЭС.” "Гидротехническое строительство" №4, 2006
8. Васильев Ю.С., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. “Обоснование параметров и эффективности гидроаккумулирующих электростанций.” Труды СПбГТУ № 502, 2007

9. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. Компьютерные технологии в научных исследованиях и проектировании объектов возобновляемой энергетики. учеб. пособие под общ. ред. Ю.С. Васильева.- СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2008.-262 с.

10. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Параметрическое моделирование объектов возобновляемой энергетики. Научно-технические ведомости СПбГПУ 4(110)/2010 Наука и образование. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – стр. 8 .

11. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Моделирование природно-технических комплексов возобновляемой энергетики. Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Вестник (приложение) Т.15, № 4, 2010 г. Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения. Материалы II международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург – Чита. РИК ЧитГУ, 2010,

12. Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. “Компьютерные, сетевые и информационнын технологии” : учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 56 с.

13. Бляшко Я.И., Золотаревич В.П., Югов Н.В. Расчет гидродинамических характеристик потока для моделирования проточной части гидроагрегата на основе численных и аналитических методов с целью разработки инженерной методики расчета // Проблемы машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. СПб., 2005. Вып. 34. С. 24-40.

14. Бляшко Я.И., Шпицберг В.Е. Проекты создания малых ГЭС и возможности повышения эффективности их использования//Теплоэнергетика. 2012. № 11 (в печати)

15. Бляшко Я.И. Малая гидроэнергетика в России http://cleandex.ru/opinion/2010/07/05/small_hydro_energy_in_russia

16. Елистратов В.В., Конищев М.А., Давыдов К.И. Лабораторные энергетические исследования низконапорного блока микроГЭС.//Научно-Технические Ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического государственного политехнического университета. Сер. «Наука и образование», 2012, (в печати)

17. Малышев В.М. Модельные исследования гидротурбин. – Л.: Машиностроение, 1970, 288 с.

18. Международный код модельных приемо-сдаточных испытаний гидравлических турбин. Рекомендации МЭК. Публикация 193. – Женева, 1965 г. 54 с. Первое дополнение к публикации 193. Женева, 1974 г. 21с.

19. Чистяков А.М. Исследование горизонтальных капсульных гидротурбин и гидротурбинных блоков. – Известия ВНИИГ, т. 86, 1968 г.

20. Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Поташник С.И. Перспективы использования реконструируемых низконапорных ГЭС в режимах ГЭС-ГАЭС. Гидротехническое строительство, 1989, №10

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

_____Д.Ю. Райчук

«3» июля 2012 г.

ПРОЕКТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКР

ПО ТЕМЕ «РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ»

Руководитель разработки,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВИЭГ В.В. Елистратов

Санкт-Петербург

2012

АННОТАЦИЯ

Документ разработан в соответствии с пп. 4.2.1 и 8.1.4 Технического Задания по государственному контракту.

Документ разработан в соответствии с рекомендациями Федерального агентства по науке и инновациям - Министерства образования и науки для выполнения опытно-конструкторских разработок (ОКР) как единой технологии

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	Основание для выполнения	4
2.	Цель выполнения	4
3.	Головной исполнитель и соисполнители	4
4.	Технические требования	5
5.	Технико-экономические требования	12
6.	Требования по видам обеспечения	13
7.	Требования к консервации, упаковке и маркировке	13
8.	Требования к патентной чистоте и патентоспособности	13
9.	Специальные требования	14
10.	Перечень, сроки выполнения и стоимость этапов	14
11.	Порядок выполнения и приемки этапов	14
12.	Обоснование серийного производства	15

1 Основание для выполнения

1.1 Основанием для выполнения работы является решение Конкурсной комиссии Министерства образования и науки по организации и проведению конкурсов на выполнение опытно-конструкторских работ по важнейшим инновационным проектам государственного значения.

1.2 Наименование ОКР – «Разработка и изготовление агрегата микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии».

2 Цель выполнения ОКР

2.1 Работа выполняется с целью:

- разработки опытного образца микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с аккумулированием энергии на основе индукционного нагрева,
- разработки перспективной проточной части микро-ГЭС на сверх низские напоры,
- выбора перспективных комплектующих компонентов проектируемой микро ГЭС, в том числе, материала теплоаккумулятора в составе микро- ГЭС и способа преобразования электрической энергии в тепловую,
- разработки системы автоматического регулирования (САР) микро-ГЭС, в том числе, алгоритмов управления и контроля, включая дистанционный, и необходимого программного обеспечения;
- изготовления опытного образца;
- проведения натурных испытаний;
- исследования рынков сбыта и поиск потенциальных заказчиков и источников финансирования.

3 Головной исполнитель и соисполнители

Головной исполнитель –

Соисполнители –

3.1 Головной исполнитель вправе привлекать для исполнения составных частей, разделов, работ по ОКР соисполнителей, имеющих надлежащие лицензии и необходимый научный и технический потенциал и опыт работы в соответствующей отрасли науки и техники. Ответственность за полноту и качество выполненных ими работ несет Головной исполнитель.

3.2 Права на интеллектуальную собственность, полученную в ходе выполнения работы, а также на разработанную научно-техническую и конструкторскую документацию принадлежат сторонам Совместного соглашения на паритетных началах.

4 Технические требования

4.1 Состав опытного образца

Опытный образец микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии должен содержать следующие составные части:

- турбину гидроагрегата номинальной мощностью до 5 кВт,
- электрический генератор мощностью до 5 кВт,
- твердотельные теплоаккумуляторы в количестве до 3 штук мощностью до 2-х кВт каждый,
- индукторы для питания теплоаккумуляторов тепловой энергией,
- систему автоматического регулирования работой микро-ГЭС,
- комплект эксплуатационной технической документации, включающий формуляр (паспорт), руководство по эксплуатации, руководство по монтажу и пуско-наладке, руководство оператора (при необходимости).
- распределительной кабельной сети;
- комплекта ЗИП;
- комплекта защитных средств от поражения электрическим током

Окончательный состав комплектности микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии будет уточняться в процессе разработки образца.

4.2. Требования по назначению

4.2.1 Микро- ГЭС мощностью до 5 кВт с интегрированной системой аккумулирования энергии должны выполнять следующие функции:

- круглосуточное обеспечение гарантированного и бесперебойного электроснабжения потребителей в регионах, не имеющих стационарных сетей электроснабжения;
- наряду с бесперебойным электроснабжением обеспечивать потребителей тепловой энергией для отопления помещений, а также при необходимости горячей водой.

Основным источником электроснабжения потребителей должны быть возобновляемый источник энергии (гидроресурсы), имеющий необходимый энергетический потенциал в планируемом регионе размещения.

4.2.2 микро-ГЭС должна работать круглосуточно без специального обслуживания и обеспечивать работу в следующих режимах:

- основной режим (дневной) – подключены все штатные потребители электроэнергии, работающие на номинальную мощность до 5 кВт; питание теплоаккумуляторов отключено; если потребляемая мощность при выполнении основного режима меньше 5 кВт, то ее оставшаяся часть расходуется на питание теплоаккумуляторов;
- режим ночного энергоснабжения – питание теплоаккумуляторов включено; штатные потребители за исключением приборов бесперебойного электроснабжения отключены.

4.2.3 Система автоматического регулирования микро-ГЭС должна обеспечивать реализацию алгоритма функционирования и управления, в том числе:

- работу микро-ГЭС в автоматическом, необслуживаемом в течение длительного времени, режиме;
- сбор информации о состоянии оборудования;

- включение аварийной сигнализации в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

4.2.4 Микро-ГЭС, как источник электро – и теплоснабжения, должен удовлетворять следующим требованиям:

- максимально эффективное использование энергетического потенциала региона размещения;
- обеспечение работы в автоматическом режиме;
- аварийное отключение источника энергии не должно приводить к выходу из строя всей системы энергоснабжения;
- конструктивное исполнение микро-ГЭС должно допускать возможность ее эксплуатации в зимних условиях.

4.2.5 Для обеспечения заданного значении мощности микро- ГЭС в местах размещения должны выполняться следующие усредненные параметры первичных возобновляемых источников энергоснабжения:

напор, м . . . . . до 3,5 ;

расход воды, м куб/ с……до 0,2;

4.2.6 Энергетические параметры микро-ГЭС и качество электроэнергии на выходных шинах распределительного устройства должны соответствовать следующим значениям:

- номинальная установленная мощность микро- ГЭС, кВт …..не менее 5.0;
- род тока на выходе устройства. . . . . .. переменный, трехфазный;
- номинальное напряжение, В ……..……..380/220;
- номинальная частота, Гц …….……..……... . . . 50;
- нейтраль……глухозаземленная;
- точность поддержания напряжения при изменении нагрузки от 0 до 100% в установившемся режиме, % …… . . + 10;

- коэффициент искажения синусоидальности кривой линейного напряжения, % . . . . . …….…...… не более 15;
- режим работы микро- ГЭС ……...непрерывный.

4.2.7 Требования к теплоаккумуляторам

- теплоаккумуляторы должны иметь следующие тепловые характеристики:
- удельную теплоемкость, кДж/кг·0С …….0,88 ÷ 4,2,
- объемную теплоемкость, кДж/м3·0С……..2400 ÷ 4200,
- коэффициент теплопроводности, Вт/м·0С……0,6 ÷ 6,
- температуропроводность, м2/с……0,25·10-6 ÷ 2,2·10-6 ,
- нагревательные элементы теплоаккумуляторов, должны быть выполнены в виде индукторов – плоских катушек индуктивности, выполненных из медной или алюминиевой шины – со следующими характеристиками, приведенными в таблице:

Таблица Характеристики индукторов

№ п/п	Параметр	Размерность	Индуктор	
			Сталь Ст-3	минерал
1	Рабочая частота питающего напряжения	кГц	10	100
2	Глубина проникновения электромагнитного поля	м	0,15·10-3	0,036
3	Активное сопротивление одновиткового индуктора	Ом	1,3·10-3	14·10-3
4	Индуктивное	Ом	1,6·10-3	17·10-3

	сопротивление одновиткового индуктора			
5	Полное сопротивление одновиткового индуктора	Ом	2,1·10-3	22·10-3
6	Число витков в индукторе	-	77	24
7	Сопротивление индуктора	Ом	7,9	69,3
8	Действующее значение тока в индукторе	А	30,3	30,2
9	Емкость конденсаторной батареи	μF	1,67	0,17
10	Мощность конденсаторной батареи	ВАр	9,0·103	8,0·103

4.3 Требования к конструкторской и технологической документации

4.3.1 На первом этапе выполнения ОКР разрабатывается:

- РКД на низконапорную микро- ГЭС мощностью до 5 кВт,
- РКД на установку индукционного нагрева, предназначенную для работы совместно с микро- ГЭС аккумулирования тепловой энергии в ночное время при минимальной полезной нагрузке,
- РКД системы автоматического регулирования работой микро- ГЭС с системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева.

При отсутствии существенных технических и конструктивных различий может быть выпущен единый комплект РКД, предусматривающий варианты исполнения энергоблока. Решение принимается по результатам выполнения технического проекта.

4.3.2 На втором этапе, при наличии потенциальных заказчиков, разрабатывается РКД на низконапорную микро-ГЭС выходной мощностью до 5кВт с системой аккумулирования энергии на основе индукционного нагрева для конкретных условий эксплуатации. Последующая комплектация и этапы выполнения работ уточняется по результатам выполнения первых этапов ОКР.

4.4 требования по надежности

4.4.1 Аппаратура установки должна быть стойкой к воздействию электромагнитных полей и токов от источников естественного и искусственного происхождения.

4.4.2 Опытный образец микро-ГЭС должен быть работоспособным в диапазоне рабочих температур от - 10оС до + 40оС.

4.5 Требования по эргономике и технической эстетике

4.5.1 Решения по эргономике и технической эстетике должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.049-80, исходя из необходимости обеспечения условий выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту изделия.

4.6 Требования по эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта

4.6.1 Эксплуатация микро-ГЭС (осмотры, чистки оборудования, планово-предупредительные ремонты) должна осуществляться в соответствии с требованиями “Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей”, “Правил техники безопасности при эксплуатации электростанций”, руководств по эксплуатации составных частей и комплектующих изделий, составленных разработчиками соответствующего оборудования.

4.6.2 Условия хранения готовой продукции – открытые площадки.

4.6.3 Установка должна быть ремонтопригодной в условиях специализированного предприятия, а также иметь возможность восстановления работоспособности на месте эксплуатации путем замены вышедших из строя блоков.

4.6.4 Перечень необходимых видов технического обслуживания должен предусматривать:

контрольный осмотр (КО) (проводится при каждом выезде на место эксплуатации микро-ГЭС);

техническое обслуживание № 1 (ТО-1) (проводится 1 раз в 3 месяца);

сезонное техническое обслуживание (СО) (проводится 2 раза в год – при переходе на весенне-летний и осенне-зимний периоды эксплуатации);

техническое обслуживание при хранении изделия.

4.7 Требования по транспортабельности

4.7.1 микро-ГЭС должна обеспечивать возможность ее транспортировки всеми видами транспорта, в том числе вертолетом и морским транспортом с любым числом перегрузок.

4.8 Требования по безопасности

4.8.1 Установка должна соответствовать требованиям “Правил устройства электроустановок” (ПУЭ), “Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, станций и подстанций”, “Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

4.8.2 Установка должна комплектоваться защитными средствами, заземляющими устройствами и противопожарными средствами.

Проект размещения должен предусматривать выполнение контура защитного заземления.

Заземляющие устройства должны располагаться внутри контролируемой территории (при наличии) и соответствовать требованиям ПУЭ, ГОСТ 12.1.030-81, ГОСТ 50571.

4.8.3 Сопротивление изоляции между токоведущими и заземленными частями комплекса должно соответствовать нормам главы 1.8 ПУЭ.

4.8.4 Конструкция установки и комплектующее оборудование должны обеспечивать ее пожарную безопасность.

4.8.5 Оборудование установки должно удовлетворять требованиям по безопасности труда и санитарным нормам, действующим на территории Российской Федерации. Показатели безопасности не должны превышать предельно допустимых значений, установленных санитарными нормами и правилами.

4.9 Требования по технологичности

4.9.1 Установка должна соответствовать ГОСТ 14. 201-83 и обеспечивать возможность ее изготовления на отечественных предприятиях без вложения значительных капитальных затрат на подготовку производства.

4.10 Конструктивные требования

4.10.1 Конструктивно установка должна быть выполнена в виде теплоизолирующего контейнера, разделенного на три отсека:

- отсек для размещения микро-ГЭС с фланцами для подвода и стока воды;
- аппаратный отсек для размещения автоматизированной аппаратуры управления и контроля микро-ГЭС, УАР, коммутационного и сервисного оборудования, систем обогрева (при необходимости, кондиционирования), вентиляции, пожаротушения.

4.10.2 Контейнер должен иметь стандартные размеры для транспортировки, точную центровку, кронштейны и усиление для транспортировки всеми видами транспорта. Вес контейнера не должен превышать 5 тонн, длина – 6м.

4.10.3 Распределительная кабельная сеть должна быть выполнена в соответствии с ПУЭ с учетом специфики питания микропроцессорной техники.

Кабельную сеть необходимо выполнять проводами и кабелями с гибкими медными жилами в негорючей оболочке.

Проводка должна выполняться с обеспечением возможности замены и дополнительной прокладки без проведения дополнительных работ.

4.10.4 Все системы переменного тока должны проектироваться с глухо заземленной нейтралью.

4.10.5. Металлические детали установки, включая крепежные узлы, должны иметь антикоррозионное покрытие.

5 Технико-экономические требования

5.1 Стоимость выполнения ОКР определяется по соглашению сторон, принявших решение о выполнении ОКР.

5.2 Себестоимость образца в условиях серийного производства не должна превышать ___ _____руб., в ценах на комплектующие изделия и по экономическим нормативам 2012 года.

6 Требования к видам обеспечения

6.1 Требования по метрологическому и диагностическому обеспечению

6.1.1 Метрологическое и диагностическое обеспечение ОКР должно осуществляться в соответствии с требованиями ГОСТ – серии 8, в том числе, ГОСТ 8.009-84, ПР50.2.009-94 и ГОСТ 26656-85.

6.1.2 Требования к показателям метрологического обеспечения и методам измерений и измерительного контроля параметров и характеристик устройства – по решению исполнителя по условиям выполнения заданных тактико-технических требований к изделию.

6.1.3 В техническом проекте разрабатываемого изделия должны быть приведены:

обоснование состава контролируемых при эксплуатации изделия параметров;

обоснование требований к точности измерения параметров при эксплуатации;

обоснование выбора методов измерений, обеспечивающих требуемую их точность.

6.1.4 Метрологическая экспертиза технического проекта и рабочей конструкторской документации должны проводиться в установленном действующими нормативными документами порядке.

6.1.5 Проведение метрологических экспертиз осуществляет метрологическая служба исполнителя ОКР.

6.2 Требования по математическому, программному и информационному обеспечению в соответствии с ГОСТ З 51904-2002 и др.

7 Требования к консервации, упаковке и маркировке

7.1 Изделие должно быть законсервировано и упаковано в соответствии с ГОСТ 9.014-78, ГОСТ 23170-78, а также соответствовать требованиям настоящего ТЗ.

7.2 На стадии технического проекта определяется объем упаковки отдельных агрегатов установки (при необходимости), комплектующих изделий и ЗИП

7.3 Маркировка должна соответствовать требованиям ГОСТ 26828-86ГОСТ 18620-86 и сохраняться в процессе его эксплуатации.

8 Требования к патентной чистоте и патентноспособности

8.1 На этапах_____ календарного плана должны быть проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

8.2 Должна быть определена рыночная стоимость интеллектуальной собственности в соответствии с методическими рекомендациями, утвержденными Министерством имущественных отношений 26 ноября 2002 г. № СК-4/21297.

8.3 Патентная чистота на методы изготовления и конструктивные решения должна быть обеспечена в отношении Российской Федерации и следующих стран, куда возможна поставка изделии, а также передача технической, информационной и другой документации.

9 Специальные требования

Специальные требования не требуются.

10 Перечень, сроки выполнения и стоимость этапов

10.1 ОКР выполняется сентября 2012гг. по декабрь 2013 г. с разбивкой работ на следующие этапы:

технический проект – декабрь 2012г;

разработка РКД - апрель 2013г;

изготовление опытного образца – июль 2013г.;

проведение ПИ - сентябрь 2013г.;

опытная эксплуатация - ноябрь 2013г.;

корректировка РКД по результатам опытной эксплуатации - декабрь 2013г.

Примечания:

- необходимость проведения МВИ и МВК, порядок и состав комиссий по их проведению уточняется в ходе выполнения ОКР исходя из ведомственной принадлежности потенциальных потребителей;
- в ходе ОКР прорабатывается необходимость, порядок и сроки сертификации проектируемого изделия для поставок за границу.

11 Порядок выполнения и приемки этапов

11.1 Порядок выполнения работы должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 201-2000 (ГОСТ Р 15.005-86), других действующих нормативных документов с учетом особенностей, связанных с инициативным характером выполнения ОКР.

11.2 Для проведения всех категорий и видов испытаний изготавливается один опытный образец в комплектности, соответствующей конкретным физико-географическим условиям назначенного района для проведения испытаний.

11.3 Место проведения испытаний опытного образца (с учетом примечаний п.12.1) определяется совместно Сторонами соглашения на проведение ОКР в месячный срок после приемки технического проекта.

11.4 ОКР заканчивается утверждением акта испытаний и присвоением литеры “О1”.

11.5 Приемка этапов опытно-конструкторской работы производится в соответствии с требованиям ГОСТ Р 201-2000 (ГОСТ Р 15.005-86) и Положения о порядке приемки работ, выполняемых в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002 – 2006 годы, утвержденной приказом Миннауки России от 28 января 2005 г. № 21

12. Обоснование серийного производства

Обоснование серийного производства не требуется.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

_____ Д.Ю. Райчук

«3» июля 2012 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА АГРЕГАТА МИКРО-ГЭС МОЩНОСТЬЮ ДО 5 КВТ С ТУРБИНОЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Руководитель разработки,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой ВИЭГ В.В. Елистратов

Санкт-Петербург

2012

АННОТАЦИЯ

Документ разработан в соответствии с п. 4.2.2 и 9.4.7 Технического Задания по государственному контракту.

Документ может быть полезен при проектировании объектов микрогидроэнергетики с аккумулированием вырабатываемой на МГЭС энергии на основе индукционного нагрева для автономных потребителей, а также для подготовки специалистов (магистров, бакалавров, дипломированных специалистов) и кадров высшей квалификации в области возобновляемой энергетики.

При разработке документа использованы публикации и нормативно-методическая литература в области гидроэнергетики, теплоэнергетики, строительства, подготовки кадров по университетскому политехническому образованию, отраженные во всемирной сети Интернет, опыт исполнителей по государственным контрактам и грантам Минобрнауки, РФФИ и субъектов Российской Федерации.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	ВВЕДЕНИЕ	4
1	Рекомендации по компьютерному проектированию гидроагрегатов малых и микроГЭС	5
1.1	Термины, определения и сокращения	5
1.2	Общие положения	6
1.3	Общие рекомендации по использованию параметрических моделей в САПР МГЭС	8
1.4	Рекомендации по созданию параметрических моделей конструктивных компонентов МГЭС	10
2	Рекомендации по проектированию и изготовлению опытного образца гидроагрегата микро-ГЭС	14
2.1.	Рекомендации по проектированию проточных частей гидроагрегата МкГЭС	14
2.2	Рекомендации по изготовлению гидротурбины МкГЭС	17
3	Рекомендации по проектированию и изготовлению системы аккумулирования вырабатываемой Микро-ГЭС энергии	18
3.1	Рекомендации по проектированию системы аккумулирования вырабатываемой Микро-ГЭС энергии	18
3.2	Рекомендации по изготовлению системы аккумулирования вырабатываемой Микро-ГЭС энергии	22
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	24

ВВЕДЕНИЕ

Рекомендации могут быть использованы при проектировании объектов микрогидроэнергетики с аккумулированием вырабатываемой на МГЭС энергии на основе индукционного нагрева - для автономных потребителей, а также для подготовки специалистов (магистров, бакалавров, дипломированных специалистов) и кадров высшей квалификации в области возобновляемой энергетики.

При разработке рекомендаций использованы публикации и нормативно-методические документы в области гидроэнергетики, теплоэнергетики, строительства, подготовки кадров по университетскому политехническому образованию, отраженные во всемирной сети Интернет, опыт исполнителей по государственным контрактам и грантам Минобрнауки, РФФИ и субъектов Российской Федерации.

Авторы – д.т.н., профессор В.В. Елистратов, к.т.н., с.н.с. Я.И. Бляшко, к.т.н., с.н.с., профессор Л.И. Кубышкин, к.т.н., директор УНЦ М.А. Конищев.

1 Рекомендации по компьютерному проектированию гидроагрегатов малых и микроГЭС

Представленные рекомендации применимы для подготовки специалистов (магистров, бакалавров, дипломированных специалистов) и кадров высшей квалификации в области возобновляемой энергетики.

1.1. Термины, определения и сокращения

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

- электронная модель изделия (модель): Электронная модель детали или сборочной единицы по ГОСТ 2.102,
- электронная геометрическая модель (геометрическая модель): Электронная модель изделия, описывающая геометрическую форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров,
- геометрический элемент: Идентифицированный (именованный) геометрический объект (точка, линия, плоскость, поверхность, геометрическая фигура, геометрическое тело), используемый в наборе данных,
- атрибут модели: Размер, допуск, текст или символ, требуемый для определения геометрии изделия или его характеристики,
- модельное пространство: Пространство в координатной системе модели, в котором выполняется геометрическая модель изделия,
- твердотельная модель: Трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам,
- поверхностная модель: Трехмерная электронная геометрическая модель, представленная множеством ограниченных поверхностей, определяющих в пространстве форму изделия,
- каркасная модель: Трехмерная электронная геометрическая модель, представленная пространственной композицией точек, отрезков и кривых, определяющих в пространстве форму изделия,
- составная часть изделия: Изделие любого вида по ГОСТ 2.101, входящее в состав изделия и рассматриваемое как единое целое,
- файл модели: Файл, содержащий информацию о геометрических элементах, атрибутах, обозначениях и указаниях, которые рассматриваются как единое целое,

- электронный макет: Электронная модель изделия, описывающая его внешнюю форму и размеры, позволяющая полностью или частично оценить его взаимодействие с элементами производственного и/или эксплуатационного окружения, служащая для принятия решений при разработке изделия и процессов его изготовления и использования.

В настоящем документе приняты следующие сокращения:

- ПОУ - плоскость обозначений и указаний;
- ПЗ - пояснительная записка;
- КД - конструкторский документ;
- ЭМИ - электронная модель изделия;
- ЭМД - электронная модель детали;
- ЭМСЕ - электронная модель сборочной единицы;
- ЭМК - электронный макет;
- САПР - система автоматизированного проектирования;
- ПО - программное обеспечение;
- ЭГМ - электронная геометрическая модель.

1.2. Общие положения

1. Одним из перспективных направлений развития технологии разработки конструкторской документации является 3D моделирование. При этом ЭМИ представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

2. ЭМИ может использоваться:

- для определения физических характеристик и экономических показателей проектируемого объекта;

- для визуализации модели объекта с целью анализа проектных решений, оперативного устранения ошибок и планирования процесса проектирования;

- для создания основе таких ЭМИ в автоматизированном режиме пакета непротиворечивых, взаимно согласованных графических проектных документов – чертежей проектируемых микро-ГЭС [7, 8].

3. Традиционная 2D технология проектирования не позволяет в достаточной степени установить связи между элементами чертежа, между чертежами и спецификациями. В связи с этим любое изменение требует немедленной корректировки всей КД и ПЗ. Кроме,

того, возникают большие сложности с накоплением наработанных материалов для дальнейшего использования, так как переработка и изменение 2D чертежа зачастую оказывается более сложной процедурой, чем создание нового. Применение ЭМД, ЭМИ и ЭМСД позволяет решать эти и многие другие проблемы традиционного подхода к разработке КД [9 - 11].

4. ЭМИ, как правило, состоит из геометрической модели изделия, произвольного количества атрибутов модели и может включать технические требования. Схематический состав и вид модели приведен на рисунках В1 и В2.

Рисунок В1 - Состав ЭМИ

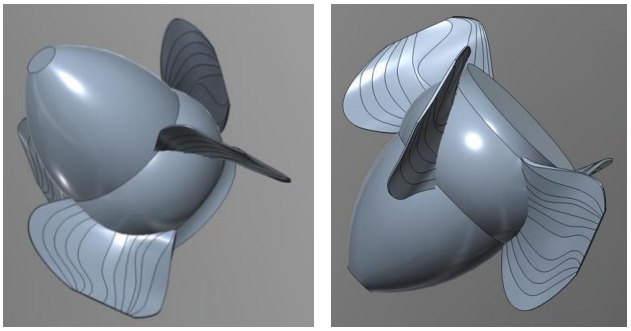

Рисунок В2 - Геометрическая модель изделия

5. Вместе с тем, такая технология проектирования микро-ГЭС должна предусматривать автоматизацию работы проектировщика (использования САПР) не только на этапе выпуска чертежей, но и на ответственном и трудоемком этапе создания трехмерных моделей объекта. В свою очередь разработка всей системы САПР, основанной на разработке трехмерной параметрической модели ГЭС, подразумевает формирование математического, информационного и программного обеспечения, а также методических рекомендаций, содержащих основные принципы проектирования и использования данной системы. Полнота и подробность ЭМД, ЭМИ и ЭМСД на различных стадиях разработки должны соответствовать требованиям стандартов ЕСКД.

1.3 Общие рекомендации по использованию параметрических моделей в САПР МГЭС

1. В качестве решения проблемы сокращения сроков и автоматизации трудоемкого процесса создания трехмерной модели микро-ГЭС предлагается использование информационного обеспечения в виде базы данных многократно используемых унифицированных моделей конструктивных компонентов оборудования и сооружений установки.

2. Для реализации предлагаемой методики необходимо создание базы данных многократно используемых трехмерных параметрических моделей.

3. Достижение автоматизации преобразования моделей предлагается за счет использования базовых параметров - физических, энергетических или геометрических характеристик, в зависимости от которых заданы все размеры модели.

4. Для проведения расчетов базовых параметров и вспомогательных вычислений, реализация которых затруднительна в графической среде, необходима разработка прикладного ПО, интегрированного в геометрическую модель. Основным назначением такого ПО предполагается вычисление базовых параметров и зависимых от них размеров модели, а также расчет параметров станции, определение которых устанавливается действующими стандартами и нормами проектирования.

5. С целью сокращения сроков моделирования и устранения возможных ошибок в базу данных унифицированных моделей целесообразно также включить ЭМСЕ или сборки, представляющие собой, например, установку микро-ГЭС определенного типа. ЭМСЕ представляет собой составную модель, включающую в себя несколько деталей, расположение которых определяется наложенными ограничениями. Технология создания унифицированных ЭМСЕ должна предусматривать наложение зависимостей между составляющими ее моделями, обеспечивающими возможность замены отдельного элемента [7, 12, 13].

Схема создания трехмерной модели с использованием унифицированных моделей элементов оборудования и сооружений ГЭУ приведена на рисунке В3.

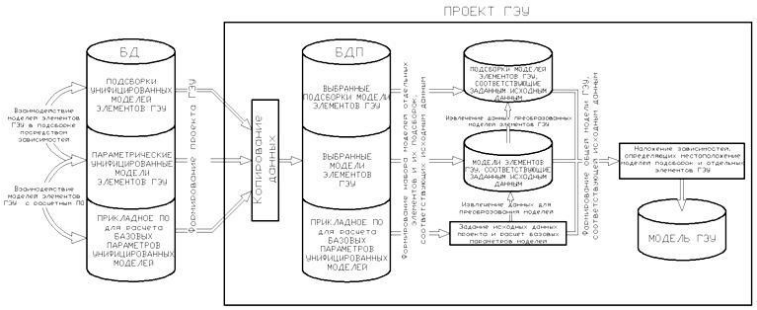

Рисунок В3 - Схема моделирования ГЭУ с использованием базы данных унифицированных моделей

Согласно приведенной схеме, база данных унифицированных ЭМСЕ включают:

- Блок унифицированных параметрических моделей конструктивных компонентов

оборудования и сооружений установки микро-ГЭС, преобразование которых осуществляется путем изменения их базовых параметров;

- Блок унифицированных ЭМСЕ, представляющих собой совокупность расположенных определенным образом моделей компонентов конструкции установки;
- Блок прикладного программного обеспечения для расчета базовых параметров и размеров унифицированных моделей.

На рисунке В4 представлены примеры унифицированных ЭМСЕ.

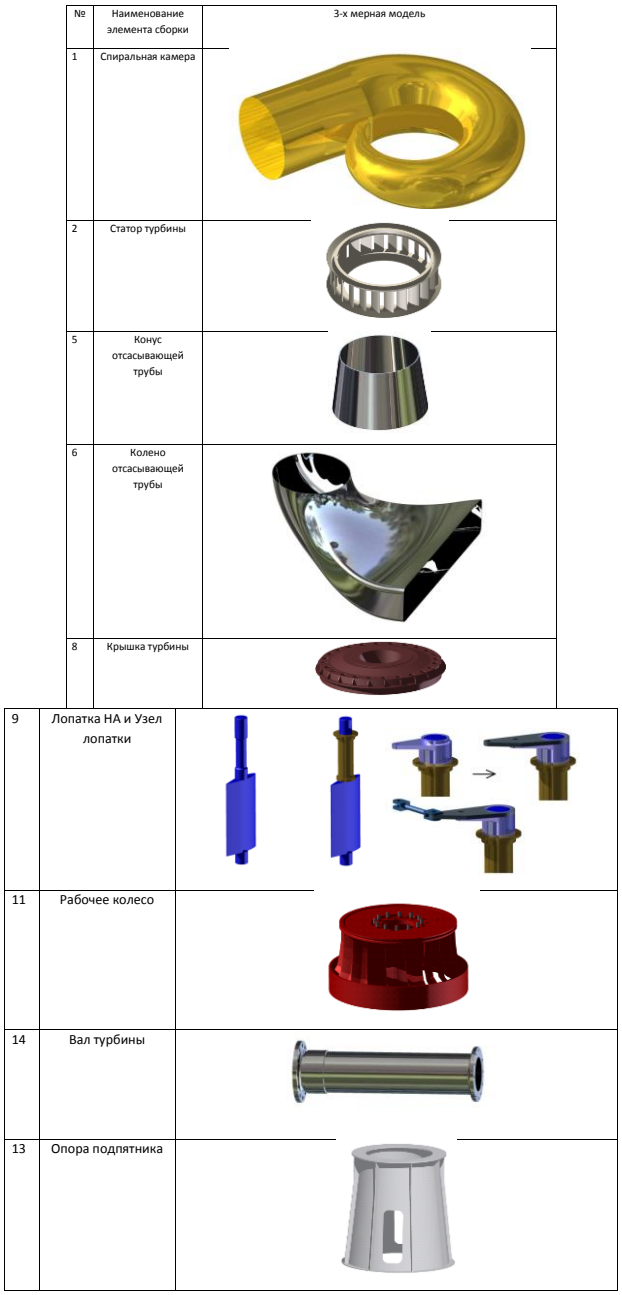

Рисунок В4 - Примеры компонентов библиотеки ЭМСЕ

6. Согласно предлагаемой технологии проектирования после назначения предварительной компоновки и размещения МГЭС производится извлечение

необходимых унифицированных моделей, их ЭМСЕ и прикладного ПО из базы данных. Принятые исходные данные проекта вносятся в прикладные расчетные программы, где производится вычисление основных параметров станции и размеров моделей.

7. Преобразование геометрии извлеченных унифицированных ЭМСЕ, связанных с расчетным ПО, производится автоматически. Одновременно с этим в соответствии с новыми размерами моделей, входящих в состав извлеченных сборок, происходит переопределение зависимостей, определяющих местоположение отдельных компонентов составной модели. Полученный набор моделей, соответствующих заданным исходным данным, образует базу данных проекта.

8. Создание общей трехмерной модели станции осуществляется объединением включенных в базу данных проекта моделей ее отдельных элементов. Полученная модель может быть легко преобразована путем изменения состава и типов конструктивных компонентов, входящих в состав общей модели, редактирования исходных данных и параметров моделей.

1.4 Рекомендации по созданию параметрических моделей конструктивных компонентов МГЭС

1. Разработка базы данных унифицированных моделей конструктивных компонентов и их сборок направлена на усовершенствование технологии трехмерного моделирования для повышения качества проекта, его экономической и энергетической эффективности, сокращения сроков моделирования.

В отличие от существующих методик параметрического моделирования, основанных на использовании библиотек типовых конструкций, применяемых в таких областях как, например, машиностроение, унифицированные модели установок микро-ГЭС должны представлять собой взаимосвязанные объекты, созданные с использованием сквозной параметризацией, так как геометрические размеры компонентов установки микро-ГЭС должны определяться с учетом их взаимной работы в составе общей модели.

2. Создание трехмерной параметрической модели твердотельной модели в графическом пакете Inventor производится в режиме построения эскиза и детали. Эскиз представляет собой двумерный контур, на основе которого при помощи различных функций моделирования (выдавливания, сдвига, вращения и т.д.) создается твердотельная модель элемента гидроэнергетического объекта – деталь (см. рисунок В5).

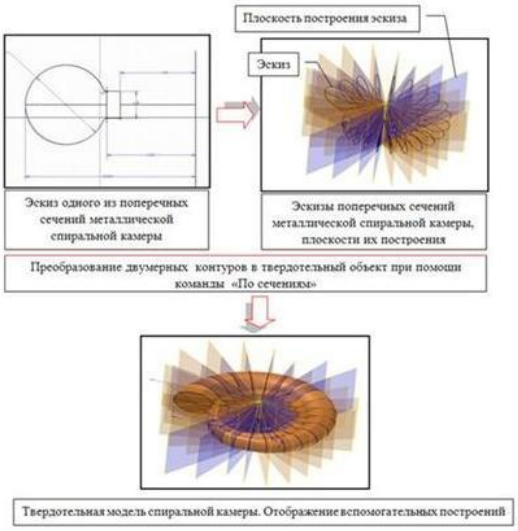

Рисунок В5 - Создание твердотельной модели металлической спиральной камеры

При моделировании в среде Inventor установок микро-ГЭС под деталью подразумеваются строительные конструкции, например колонны, стены здания станции и конструктивные элементы оборудования - рабочее колесо, спиральная камера и т.д.

3. При построении эскизов особое внимание должно уделяться их взаимосвязи. Положение каждого отдельного элемента эскиза должно быть жестко определено относительно других элементов, в противном случае, при изменении параметров преобразование модели не будет выполнено или будет выполнено некорректно. Взаиморасположение эскизов определяется рабочими плоскостями, также жестко связанными между собой. Кроме того, возможно построение эскиза на какой-либо поверхности детали. Также следует отметить, что создание твердотельной модели возможно только на основе замкнутого эскиза. На основе эскиза, представляющего собой незамкнутый контур, возможно построение только поверхности.

4. Поверхность может быть использована в качестве ограничения твердого тела или, например, для проецирования контуров модели, но не может использоваться для определения физических характеристик модели.

5. Полученные на основе эскизов детали могут быть объединены в сборку, представляющую собой набор деталей, расположенных по отношению друг к другу определенным образом, причем одна деталь может быть включена в сборку несколько раз, образуя массив элементов. Изменение параметров каждой отдельной детали, включенной в сборку, возможно в режиме ее редактирования. Задание общих параметров, управляющих несколькими элементами сборки, не предусмотрено.

6. Взаиморасположение деталей в сборке задается наложением зависимостей, то есть ограничением их степеней свободы. Кроме определения положения детали в сборке, наложение зависимостей может определять размеры детали. Например, возможно задание

необходимого диаметра кратера двигателя-генератора в зависимости от габаритов его модели. Наложением таких зависимостей реализуется геометрическая (адаптивная) параметризация модели.

На рисунке В6 приведен пример составления сборки из деталей, представляющих собой модели строительных конструкций шатра здания МГЭС, в результате объединения которых создается модель здания станции.

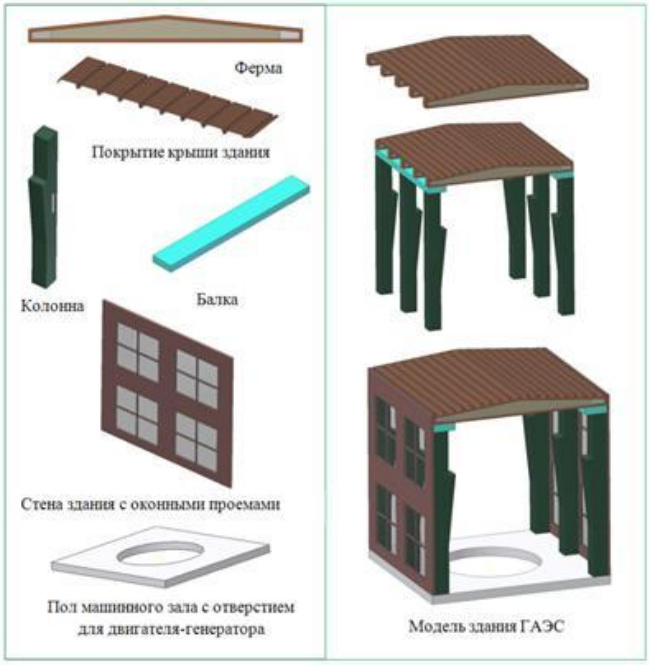

Рисунок В6 - Объединение моделей строительных конструкций

7. Чертежи в среде Inventor создаются на основе полученной трехмерной модели и представляют собой набор проекций, видов, разрезов, узлов объекта [14]. На рисунках В7 и В8 приведены примеры чертежа сборок параметрических моделей металлической спиральной камеры с расположенными в ней колоннами статора, рабочего колеса и отсасывающей трубы.

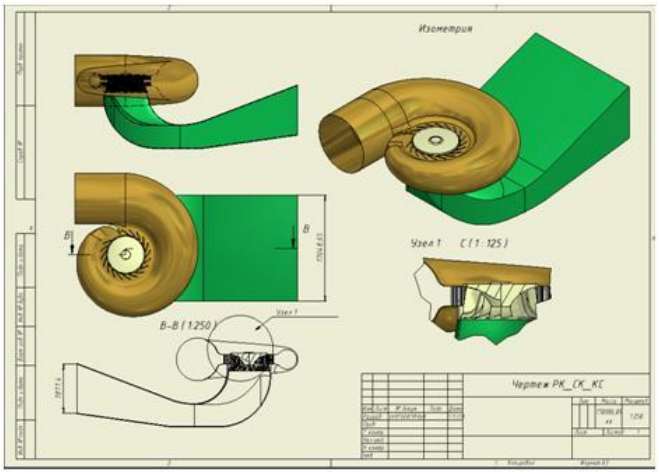

Рисунок В7 - Чертеж проточного тракта гидротурбинного блока

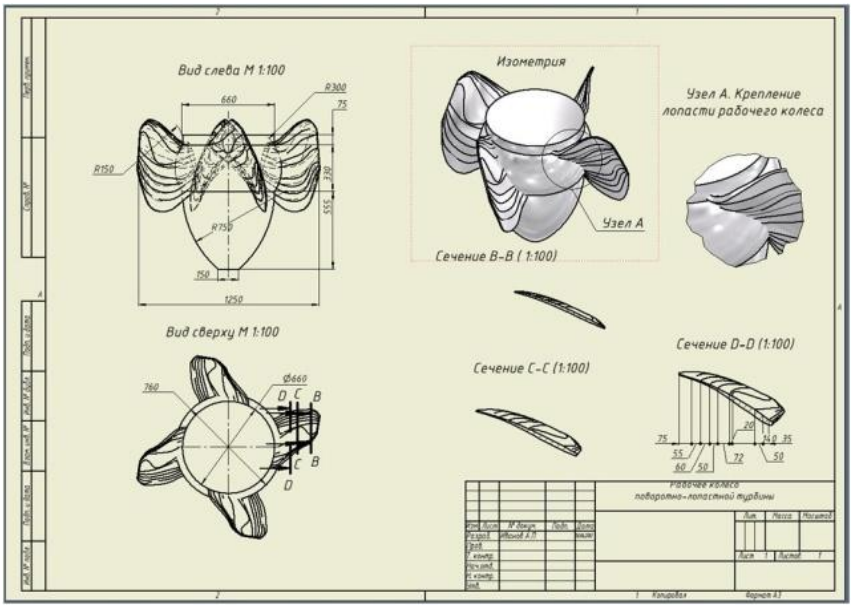

Рисунок В8 - Чертеж рабочего колеса ПЛ турбины

8. Чертеж отображает текущее состояние модели, то есть при внесении каких-либо изменений в модель эти изменения автоматически отображаются на чертеже, что исключает возможность возникновения несогласованной графической документации. Средства редактирования чертежей Autodesk Inventor позволяют оформлять чертежи на достаточно высоком уровне, и, кроме того, предусматривают возможность импорта чертежей Autodesk Inventor в другие графические пакеты, например в AutoCAD, где они могут быть доработаны.

9. Изменение параметров модели может производиться на любом этапе создания модели, в том числе предусмотрено преобразование деталей, включенных в сборку, причем другие детали сборки при наложении адаптивных зависимостей также преобразуются в соответствии с новыми размерами изменяемой детали.

10. Наиболее эффективным представляется управление моделями объектов при помощи небольшого количества базовых параметров, когда все размеры модели заданы как функции от этих параметров. Преобразование модели в таком случае не требует дополнительных расчетов и непосредственного редактирования смоделированной детали. Для преобразования модели достаточно изменить значения базовых параметров в таблице «Параметры», после чего автоматически производится пересчет размеров, зависящих от измененных параметров, и модель обновляется в соответствии с новыми данными.

11. Пакет Autodesk Inventor позволяет задавать управляющие параметры в виде констант, формул или при помощи таблиц MS Excel. В процессе создания трехмерной модели в графическом пакете Autodesk Inventor автоматически генерируется таблица «Параметры», в которой отображаются все размеры, используемые при создании модели.

12. В случае необходимости моделирования элемента, базовые параметры которого

должны определяться расчетами, необходимо использование дополнительных программ. В частности, в пакете Inventor предусмотрен импорт данных электронных таблиц MS Excel, которые используются в качестве внешних таблиц параметров модели [15-17].

2. Рекомендации по проектированию и изготовлению опытного образца гидроагрегата микро-ГЭС

2.1 Рекомендации по проектированию проточных частей гидроагрегата МкГЭС

1. Рекомендуется использовать имеющийся банк данных проточных частей, созданный путем статистической обработки данных по действующим отечественным гидротурбинам.

При заданных параметрах (напор, расход, частота вращения рабочего колеса) из банка данных выбираются меридианные очертания проточной части турбины, включающие зону статора, направляющего аппарата, рабочего колеса и входного элемента отсасывающей трубы.

Символьная визуализация параметров банка данных геометрии представлена на рисунках В9 и В10. Кроме того, в банк данных включены энергетические параметры, соответствующие оптимальному КПД гидротурбины: Q_1` - приведенный расход; - $n_1$` - приведенные обороты;

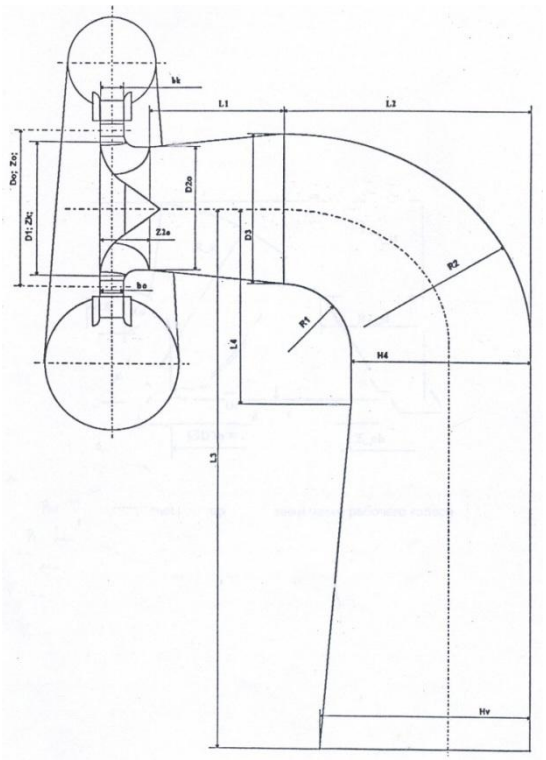

Рисунок В9 - Габаритный чертеж проточного тракта гидротурбины

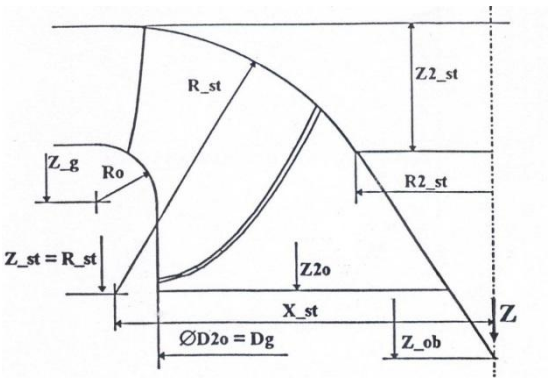

Рисунок В10 - Меридианная проекция проточной части рабочего колеса

2. Методом математического моделирования по геометрическим и режимным параметрам с учетом гидродинамики, рекомендуется определить меридианные проекции входной и выходной кромок рабочего колеса гидротурбины, которые заданы в виде аналитических, интегрируемых функций в координатах “R - Z”.

При заданной геометрии проточного тракта турбины и меридианным проекциям входной и выходной кромок лопасти рабочего колеса определяются гидродинамические параметры потока.

Для этого необходимо использовать условие неразрывности потока, т. е. принимаем, что Q = const и основное уравнение турбины

$$\eta \cdot g \cdot H = Cu_1 \cdot U_1 - Cu_2 \cdot U_2;$$

где η - к.п.д. гидротурбины;

g - ускорение свободного падения;

H - располагаемый напор;

Cu_1 - проекция вектора абсолютной скорости на окружное направление в точке выхода потока на выходной кромке лопатки направляющего аппарата;

U_1 - окружная скорость рабочего колеса в точке входа потока;

Cu_2 - проекция вектора абсолютной скорости на окружное направление в точке выхода потока из рабочего колеса;

U_2 - окружная скорость рабочего колеса в точке выхода потока.

3. КПД гидротурбины рекомендуется определяеть на основании уравнения баланса энергии

$$\eta = \Sigma\ (\gamma \cdot Qi \cdot (H - \Delta hi\ ) / \gamma \cdot Q \cdot H;$$

где γ - удельный вес воды;

Qi - объемный расход воды через рабочее колесо малой гидротурбины;

Q - объемный расход воды через гидротурбину;

Δhi - потери напора в малой гидротурбине (суммарные потери в подводящем водоводе, в спиральной камере, статоре, направляющем аппарате, на входе в рабочее колесо, в рабочем колесе и отсасывающей трубе).

4. Расчетную криволинейную сетку рекомендуется формировать в меридианной проекции в координатах “R - Z”. Так как входная и выходная кромки заданы в виде аналитических, интегрируемых функций одного семейства не возникает проблем с заданием семейства аналогичных линий с равным шагом в направлении от входной к выходной кромке. Каждая из линий этого семейства делится на равное число отрезков из следующего условия:

$$F(i) = 2\pi \int_{Z(i)}^{Z(i+1)} r dz = const$$

где F(i) - площадь криволинейной поверхности, для которой образующей является расчетный отрезок линии семейства.

Координаты полученных точек являются узловыми точками расчетной криволинейной сетки для формирования лопасти.

5. После построения криволинейной сетки при заданном расходе рекомендуется определить составляющие скорости (Cm и Cu) в узлах этой сетки. Далее, по заданному закону сработки закрутки потока (Rcu) от входной кромки к выходной определяется третья координата (φ).

В результате можно получить дискретное задание поверхности лопасти, которое представляется в виде каркаса.

6. Сформированная таким образом каркасная поверхность может транслироваться в пакет программного обеспечения "CAD/CAM" для создания математической модели лопасти.

7. На основе полученных результатов может быть построена прогнозная универсальная характеристика.

8. Рекомендуется расчет интерпретировать модельными испытаниями гидротурбины на стенде. Целесообразно принять, при этом, шаг по углу открытия направляющего аппарата, равным 2^0 , шаг по приведенным оборотам, равным 5 об/мин.

9. Для расчетных гидродинамических исследований элементов проточной части рекомендуется использовать решения задачи осесимметричного течения и обтекания профилей решеток на осесимметричных поверхностях. На практике фирмы "ИНСЭТ" для исследований и доводки лопастных систем гидротурбин используется решение прямой

осесимметричной задачи. Как показывает практика, такая модель течения для густых пространственных решеток отражает принципиальные моменты рабочего процесса жидкости в гидротурбине). Уравнение эллиптического типа в частных производных относительно неизвестной функции тока ψ решается в цилиндрической системе координат (r, φ, z). Течение предполагается установившимся, жидкость невязкая, несжимаемая.

Уравнение имеет следующий вид:

$$L\Psi \equiv -\frac{\partial}{\partial z}\left(A\frac{\partial\psi}{\partial z}+B\frac{\partial\psi}{\partial z}\right)-\frac{\partial}{\partial r}\left(B\frac{\partial\psi}{\partial z}+C\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)+D\frac{\partial\psi}{\partial z}+E\frac{\partial\psi}{\partial r}=G(r,z,\psi)$$

$$Cr=-\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial z} \qquad Cz=\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial r}$$

Область решения задачи включает подобласти лопаток направляющего аппарата (НА), лопастей рабочего колеса (РК) и безлопастных каналов. Коэффициенты A,B,C,D,E и G могут терпеть разрывы на кромках лопаток НА и РК. Таким образом, имеется возможность исследовать взаимодействие и согласование между лопастными системами НА и РК. В качестве вычислительного метода рекомендуется использовать метод конечных элементов (МКЭ). Определяемые в результате решения поля скоростей и некоторые другие гидродинамические параметры являются объектом анализа с целью выяснения потенциальных возможностей улучшения энергетических качеств проточной части гидротурбины. Для анализа результатов решения может быть использована компьютерная графика.

2.2 Рекомендации по изготовлению гидротурбины МкГЭС

1. На основании проекта проточной части гидротурбины рекомендуется выбрать технологически обоснованный диаметр рабочего колеса, и на основе выбора приемлемой для рабочего колеса данного диаметра, конструкции генератора, связи между турбиной и генератором - рассчитать число оборотов, значение которого округляется до ближайшего из типового ряда, исходя из частоты 50 Гц.

2. В некоторых случаях после уточнения значения числа оборотов рекомендуется уточнить значение диаметра рабочего колеса для того, чтобы выдержать рекомендуемые значения приведенного числа оборотов. После выбора (уточнения) значения диаметра рабочего колеса выполняется его проектирование и изготовление.

3. Рабочее колесо рекомендуется спроектировать и изготовить с минимально возможным втулочным отношением; для данной конструкции втулочное отношение должно быть в пределах 0,3.

4. В связи с этим рекомендуется проверить места крепления лопастей на прочность при параметрах возможного разгона турбины.

5. При необходимости рекомендуется проверить материал лопастей или изменение их конструкции.

6. Для опытного образца целесообразно лопасти выполнить путем механической обработки. При переходе на серию целесообразнее использовать для изготовления лопастей метод точного литья. Для предотвращения износа вала манжету, предотвращающую попадание воды в подшипниковый узел, необходимо устанавливать на подманжетную втулку, устанавливаемую на вал.

7. В связи с тем, что турбина для Микро-ГЭС выбрана прямоточной для обеспечения минимизации потерь в проточном тракте необходимо предусмотреть в конструкции угловой мультипликатор (редуктор). Однако передаточное соотношение в таком мультипликаторе также с целью минимизации потерь должно быть равно 1.

8. Узел крепления мультипликатора проектируется как единое целое с узлом крепления генератора, что позволяет на последующих этапах при увеличении числа изготавливаемых Микро-ГЭС выполнять его методом точного литья.

9. Для удобства монтажа целесообразно энергоблок (турбина, генератор, мультипликатор) закрепить на раме.

3. Рекомендации по проектированию и изготовлению системы аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии

3.1 Рекомендации по проектированию системы аккумулирования вырабатываемой Микро-ГЭС энергии

Для повышения электрического КПД микро-ГЭС рекомендуется электроэнергию, вырабатываемую микро-ГЭС ночью, аккумулировать в виде тепловой энергии в теплоаккумуляторах, которую затем расходовать на отопление помещений.

1. Для микро-ГЭС мощностью до 5 кВт, предлагается применение твердотельных теплоаккумуляторов, выполненных из минералов с высоким значением удельной и объемной теплоемкости, а также коэффициента теплопроводности.

2. В качестве первичного источника тепловой энергии для нагрева теплоаккумуляторов рекомендуется использовать установку индукционного нагрева, с помощью которой за счет снижения рабочей температуры нагрева можно значительно увеличить срок эксплуатации теплоаккумуляторов.

3. Установка индукционного нагрева состоит из:

- накопителя тепловой энергии
- индуктора,
- источника питания индуктора.

4. Рекомендуются два типа накопителей тепловой энергии, которые могут быть использованы при проектировании установки индукционном нагрева как источника тепловой энергии. Каждый из этих типов отличается удельной электрической проводимостью материала σ и могут быть выполнены:

- из диэлектрического материала (например, минерал талькохлорит), σ =0,
- из электропроводного материала (например, шунгита), σ >> 1.

5. Индуктор представляет собой катушку индуктивности, выполненную из проводников с высокой проводимостью (как правило, медных или алюминиевых) и соответственно малыми электрическими потерями, которая предназначена для возбуждения путем электромагнитной индукции вихревых токов в нагреваемом теле.

Основные характеристики индуктора: число витков, амплитуда тока, сечение проводников и другие характеристики должны быть определены в процессе проектирования в соответствии с предварительной методикой, разработанной в рамках настоящей темы.

6. Источник питания индуктора представляет собой транзисторный преобразователь частоты. Система «индуктор – источник питания» требует для повышения КПД настойки в резонанс, который достигается путем включения последовательно с индуктивностью конденсаторов согласующей емкости. Параметры согласующей емкости определяются по предварительной методике, разработанной в рамках настоящей темы.

7. Рекомендуется следующая методика оценки основных параметров теплоаккумуляторов применительно к нагреву помещений:

- оценка тепловой энергии и мощности источника, которая необходима для поддержания комфортной температуры в данных помещениях,

- определение теплоотдачи с поверхности теплоаккумулятора их количества, которое обеспечит необходимую тепловую энергию для каждого помещения,

- расчет электрических параметров установки индукционного нагрева как источника тепловой энергии теплоаккумулятора,

- разработка алгоритма управления работой микро-ГЭС, с учетом питания теплоаккумуляторов установкой индукционного нагрева.

8. Оценку тепловой энергии, необходимой для поддержания комфортной температуры, рекомендуется осуществлять по формуле:

$$Q_{\hat{a}} = V_{\hat{a}} \cdot \rho_d \cdot c_{\varsigma} \cdot \Delta T .$$

где V_e -объем помещения,

$\rho_{\hat{a}}$ - плотность воздуха

c_p - удельная теплоемкость ,

ΔT - изменение температуры среды.

Тогда мощность $P_{\hat{a}}$ источника тепловой энергии определяется по формуле:

$$P_{\hat{a}} = \frac{Q_{\hat{a}}}{\Delta t},$$

где Δt - время, за которое должна измениться температура.

9. Определение теплоотдачи с поверхности теплоаккумулятора рекомендуется проводить следующим образом:

Мощность потерь, обусловленная излучением:

$$P_{\grave{e}\varsigma\ddot{e}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot S \cdot ((T_{\grave{o}} + 273)^4 - (T_{\hat{a}} + 273)^4),$$

где ε - степень черноты поверхности,

φ - угловой коэффициент,

S - площадь излучающей поверхности.

Мощность потерь, обусловленная конвекцией:

$$P_k = \alpha \cdot S \cdot (T_m - T_e),$$

где $\alpha = 1{,}31 \cdot (\frac{T_m - T_e}{h})^{\frac{1}{4}}$ - конвективный коэффициент,

h -высота стенки теплоаккумулятора.

Суммарная мощность:

$$P = P_{\grave{e}\varsigma\ddot{e}} + P_k .$$

Суммарная тепловая энергия, рассеянная теплоаккумулятором:

$$Q = P \cdot \Delta t .$$

Количество теплоаккумуляторов в помещении:

$$N = \frac{Q_e}{Q} .$$

10. Расчет электрических параметров индукционного нагрева как источника тепловой энергии теплоаккумулятора рекомендуется проводить следующим образом:

Определение активного и реактивного сопротивления электрической системы «индуктор - теплоаккумулятор» с условным индуктором, выполненным в виде одного витка с площадью, равной площади боковой поверхности теплоаккумулятора, производится:

- активное сопротивление, Ом

$$R = \frac{2 \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot T}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-(2 \cdot n-1) \cdot \frac{\pi}{T} \cdot (z_0 - \frac{h}{2})}}{(2 \cdot n-1)^2} \cdot Rr_n \cdot \cos \frac{(2 \cdot n-1) \cdot \alpha}{T} \cdot \sin \frac{(2 \cdot n-1) \cdot y}{T} ,$$

- реактивное сопротивление, Ом

$$XL = \frac{2 \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot T}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-(2 \cdot n-1) \cdot \frac{\pi}{T} \cdot (z_0 - \frac{h}{2})}}{(2 \cdot n-1)^2} \cdot RL_n \cdot \cos \frac{(2 \cdot n-1) \cdot \alpha}{T} \cdot \sin \frac{(2 \cdot n-1) \cdot y}{T} ,$$

где T , м - наибольший геометрический размер индуктора,

$$Rr_n = \frac{A_n \cdot D_n - B_n \cdot C_n}{C_n^{\ 2} + D_n^{\ 2}} , \qquad RL_n = \frac{A_n \cdot C_n - B_n \cdot D_n}{C_n^{\ 2} + D_n^{\ 2}} ,$$

$$A_n = \cos\delta \cdot ch\delta + \frac{N_n}{2} \cdot (\sin\delta \cdot ch\delta + sh\delta \cdot \cos\delta) ,$$

$$B_n = \sin\delta \cdot sh\delta + \frac{N_n}{2} \cdot (\sin\delta \cdot ch\delta - sh\delta \cdot \cos\delta) ,$$

$$C_n = \cos\delta \cdot ch\delta + N_n^{\ +} \cdot \cos\delta \cdot sh\delta + N_n^{\ -} \cdot \sin\delta \cdot ch\delta ,$$

$$D_n = \sin\delta \cdot sh\delta + N_n^{\ +} \cdot \sin\delta \cdot ch\delta - N_n^{\ -} \cdot \cos\delta \cdot sh\delta ,$$

$$N_n = \frac{(2 \cdot n-1) \cdot \pi \cdot \mu_r \cdot \Delta}{T} , \qquad N_n^{\ \pm} = \frac{N_n}{4} \pm \frac{1}{2 \cdot N_n} ,$$

$$\delta = \frac{h}{\Delta} ,$$

$\Delta = \dfrac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_r \cdot \mu_0}}$,м- глубина скин-слоя материала нагреваемой пластины,

σ См/м- удельная электрическая проводимость материала,

μ_r - относительная магнитная проницаемость материала нагреваемой пластины,

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м- магнитная постоянная,

$\omega = 2\pi \cdot f$ - угловая скорость,

f ,Гц- частота,

h ,м- толщина нагреваемой пластины.

Определение полного сопротивления индуктора, Ом

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2} \ .$$

Определение синуса и косинуса угла потерь φ электрической систем «индуктор – нагреваемое тело»

$$\sin\varphi = \frac{R}{Z}, \qquad \cos\varphi = \frac{XL}{Z}.$$

При заданном значении суммарной тепловой мощности P , Вт, и действующем напряжении на входе индуктора U , В ,определяется число витков в индукторе

$$w = U \cdot \sqrt{\frac{\sin\varphi}{P \cdot Z}}$$

и действующее значение тока А в индукторе ,

$$I = \frac{1}{w} \cdot \sqrt{\frac{P}{Z}} \ .$$

3.2 Рекомендации по изготовлению элементов системы аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии

1. Изготовление системы аккумулирования вырабатываемой микро-ГЭС энергии в виде индукционного теплового нагрева включает в себя разработку и изготовление следующих элементов:

- теплоаккумуляторов,
- источников тепловой энергии - индукторов,
- источника питания индукторов.

2. Изготовление теплоаккумулятора.

В настоящее время для изготовления теплоаккумуляторов используется добываемый в Карелии талькохлорит, который представляет собой диэлектрический минерал с высокой удельной и объемной теплоемкостью. Для этой цели может быть использован также добываемый там же шунгит, теплофизические свойства которого близки к свойствам талькохлорита, а проводимость отлична от нуля.

Теплоаккумулятор рекомендуется изготавливать в виде пластины, размеры которой выбираются исходя из размеров отапливаемого помещения и мощности источника питания пластины, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 7 настоящего отчета.

Например, согласно расчетам для обогрева помещения стандартных размеров 5,0 х 4,0 х 3,0 м использовать теплоаккумулятор размерами 1,0 х 1,0 х 0,1 м. При этом мощность источника питания теплоаккумулятора должна быть не менее чем 400 Вт.

3. Изготовление индуктора

3.1 Источником тепловой энергии теплоаккумулятора может быть индуктор, запитанный переменным током средней частоты.

Индуктор рекомендуется выполнить в виде плоской катушки индуктивности с витками из медного (или алюминиевого) провода прямоугольного сечения. Привод должен иметь электрическую изоляцию, стойкую к воздействию температуры до 180 ^{0}С. Индуктор крепится к плоской поверхности теплоаккумулятора с помощью диэлектрических элементов. При этом необходимо обеспечить плотный контакт катушки индуктивности с поверхностью пластины теплоаккумулятора. Это позволит обеспечить максимальную эффективность преобразования электромагнитной энергии в тепловую. Индуктор необходимо изготавливать с соблюдением требований «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ).

3.2 При использовании теплоаккумулятора из минерала талькохлорит в качестве источника тепловой энергии может использоваться стальной лист, размер которого равен размеру поверхности, на которую укладывается индуктор.

3.3 При использовании теплоаккумулятора из минерала шунгит в качестве источника тепловой энергии используется сам минерал. В этом случае индуктор укладывается непосредственно на плоскую поверхность теплоаккумулятора.

Характеристики индуктора для теплоаккумулятора размером 1,0 х 1,0 х 0,1 м из талькохлорита и шунгита приведены в таблице.

Таблица - Электрические параметры индуктора для теплоаккумуляторов из талькохлорита и шунгита

№ п/п	Параметр	Обозначение	Размерность	Индуктор	
				Ст-3 для нагрева талькохлорита	Шунгит
1	Рабочая частота питающего напряжения	f	кГц	10	100
2	Глубина проникновения электромагнитного поля	Δ	м	$0{,}15\cdot10^{-3}$	0,036
3	Активное сопротивление	zR	Ом	$1{,}3\cdot10^{-3}$	$14\cdot10^{-3}$

	одновиткового индуктора				
4	Индуктивное сопротивление одновиткового индуктора	zL	Ом	$1{,}6\cdot10^{-3}$	$17\cdot10^{-3}$
5	Полное сопротивление одновиткового индуктора	z	Ом	$2{,}1\cdot10^{-3}$	$22\cdot10^{-3}$
6	Число витков в индукторе	w	-	77	24
7	Сопротивление индуктора	Z	Ом	7,9	69,3
8	Действующее значение тока в индукторе	$I_{д}$	А	30,3	30,2

4. Изготовление источника питания индуктора

В качестве источника питания индуктора рекомендуется использовать стандартный преобразователь частоты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы с портала "Ресурс машиностроения. Машиностроение: новости машиностроения, статьи. Каталог: машиностроительный завод и предприятия" http://www.i-Mash.ru/
2. ГОСТ 2.051-2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения
3. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам
4. ГОСТ 2.305-68 Единая система конструкторской документации. Изображения - виды, разрезы, сечения
5. ГОСТ 2.307-68 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений
6. ГОСТ 2.317-69 Единая система конструкторской документации. Аксонометрические проекции
7. Светозарская Светлана Владимировна «Методика параметрического моделирования оборудования и сооружений зданий ГАЭС» Дисс. на соиск. ученой степени кандидата технических наук СПб, 2011. – 193 с.

8. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Parametric modeling of hydroelectric facilities. Proceedings of the union of scientists. Rousse fourth conference. Energy efficiency and agricultural engineering. Association of agricultural engineering in Southeastern Europe. Rousse, Bulgaria 1-3 October 2009. – 10 с.
9. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. «Моделирование природно-технических комплексов возобновляемой энергетики». Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (по материалам II международной научно-практической конференции "Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения") – Санкт-Петербург- Чита: Изд-во ЧитГУ, 2010. – Т. 15. №4. – 9 с.
10. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. «Методика параметрического моделирования объектов возобновляемой энергетики». Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. - №4. – 9 с.
11. Светозарская С.В. Трехмерное параметрическое моделирование гидроэнергетических природно-технических комплексов// Электротехнические комплексы и системы управления, 2011, №3.
12. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И. “Моделирование энергетических сооружений ГАЭС.” "Гидротехническое строительство" №, 2006
13. Васильев Ю.С., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. “Обоснование параметров и эффективности гидроаккумулирующих электростанций.” Труды СПбГТУ № 502. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2007 г. стр. 9.
14. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г. Компьютерные технологии в научных исследованиях и проектировании объектов возобновляемой энергетики. учеб. пособие под общ. ред. Ю.С.Васильева.- СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2008.-262 с.
15. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Параметрическое моделирование объектов возобновляемой энергетики. Научно-технические ведомости СПбГПУ Наука и образование. №4(110), /2010
16. Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. Моделирование природно-технических комплексов возобновляемой энергетики. Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Вестник (приложение) Т.15, № 4, 2010 г. Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения. Материалы II международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург – Чита. РИК ЧитГУ, 2010

17. Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Светозарская С.В. “Компьютерные, сетевые и информационнын технологии” : учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 56 с.

18. Бляшко Я.И., Золотаревич В.П., Югов Н.В. Расчет гидродинамических характеристик потока для моделирования проточной части гидроагрегата на основе численных и аналитических методов с целью разработки инженерной методики расчета // Проблемы машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. СПб., 2005. Вып. 34. С. 24-40.
19. Бляшко Я.И., Шпицберг В.Е. Проекты создания малых ГЭС и возможности повышения эффективности их использования//Теплоэнергетика. 2012. № 11 (в печати)
20. Бляшко Я.И. Малая гидроэнергетика в России http://cleandex.ru/opinion/2010/07/05/small_hydro_energy_in_russia
21. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок http://www.elec.ru/library/direction/pue.html