

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой



В.И. Пантелеев
«08» июля 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка структурной схемы управления режимами работы каскадных
миниГЭС

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.05 – Электроприводы и системы управления электроприводов

Научный руководитель

 05.07.19
подпись, дата

канд. техн. наук,
должность, ученая степень

К.С. Федий
инициалы, фамилия

Выпускник

 05.07.19
подпись, дата

А.К. Цулая
инициалы, фамилия

Нормоконтроль

 05.07.19
подпись, дата

канд. техн. наук,
должность, ученая степень

К.С. Федий
инициалы, фамилия

Красноярск 2019

Студенту Цулая Арсену Кахаевичу

Группа ФЭ17-08М Направление (специальность) 13.04.02.05 “Электроприводы и системы управления электроприводов”

Тема выпускной квалификационной работы Разработка структурной схемы управления режимами работы каскадных мини-ГЭС

Утверждена приказом по университету № 15505/с

Руководитель ВКР К.С. Федий, кандидат технических наук, доцент Политехнического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

Исходные данные для ВКР Годовой объем потребленной электроэнергии с разбивкой по месяцам, технические характеристики мини-ГЭС, водные характеристики реки Большой Пит.

Перечень разделов ВКР Введение; работа мини-ГЭС в составе каскада; структура управления каскадом мини- ГЭС и выбор оборудования; составление математической модели каскада мини- ГЭС и моделирование его работы; Выводы.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт

ОТЗЫВ

руководителя о выпускной квалификационной работе студента
группы ФЭ17-08М

Цулая Арсен Кахаевич
(Ф.И.О. студента)

1. Выпускная квалификационная работа выполнена по заданию
Политехнического института «Сибирского федерального университета»
(наименование организации, отдела)

2. В работе решены следующие задачи:

2.1) Изучены перспективность гидроэнергетики в Красноярском крае;

2.2) Проведен анализ существующих мини-ГЭС по типу исполнения;

2.3) Исследована параллельная работа мини-ГЭС с сетью.

2.4) Проведен анализ наиболее перспективных мест применения каскада мини-ГЭС.

2.5) Разработана структурная схема управления режимами работы каскада мини-ГЭС.

2.6) Разработана математическая модель каскада мини-ГЭС.

3. Замечания и предложения по работе и ее оценка

Выпускная квалификационная работа выполнена на высоком техническом уровне существенных замечаний нет.

Оценка «ХОРОШО»

Руководитель ВКР


подпись

/ Федий К. С. /
Ф.И.О.

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу в виде магистерской
диссертации студента 2-ого курса
кафедры “Электротехнические комплексы и системы”
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
“Сибирского федерального университета”

Цулая Арсен Кахаевич

(Ф.И.О. студента полностью)

Направления 13.04.02 “Электроэнергетика и электротехника” магистерская программа
13.04.02.05 “Электроприводы и системы управления электроприводов

На тему: “Разработка структурной схемы управления режимами работы каскадных мини-ГЭС”

Проанализировав материалы ВКР Цулая Арсена Кахаевича
Отмечается:

1. Актуальность темы:

• Разработка структурной схемы управления каскадными мини-ГЭС позволяет увеличить надежность электроснабжения, основанного на преобразовании энергии воды в электричество.

2. Качество оформления ВКР:

• Расчетно-пояснительная записка оформлена аккуратно и в соответствии с действующим стандартом организации СТО 4.2.-07-2017
• Качество выполнения графической части хорошее, выполнено в электронном виде и соответствии с ГОСТ.

3. Полнота и детальность разработки темы:

• Тема разработана полностью и соответствует заданию;
• Разработана структурная схема управления режимами работы каскадных мини-ГЭС;
• Разработана математическая модель каскада мини-ГЭС;
• Проведено моделирование работы каскада мини-ГЭС на основе разработанной схемы управления.

4. Использование ЭВМ:

- Excel;
- Simulink.

5. Практическая ценность (внедрение, использование в организации и т.д.):

• Разработанная схема управления позволяет использовать ее альтернативной энергетике и продвигает использование мини-ГЭС, как доступного источника электроэнергии.

6. Положительные стороны проекта:

• Выбрано место и рассчитано оборудование для установки каскада мини-ГЭС в реальных условиях;
• Моделирование работы каскада мини-ГЭС основано на данных, предоставленных существующим потребителем.

7. Замечания по работе:

- Не указаны все ссылки на используемую литературу;
- Не рассмотрена работа каскада мини-ГЭС в зимний период.

8. В целом, несмотря на указанные недостатки, магистерская диссертация оценивается на хорошо, а его автор Цулая Арсен Кахаевич заслуживает присвоения ему квалификации магистра по направлению “Электроприводы и системы управления электродвигателями”.

Рецензент (должность, место работы, Ф.И.О.) Заместитель главного инженера по эксплуатации филиала «Красноярская ГЭЦ-2» АО «Енисейская ТГК (ТГК-13)»

«04» июля 2019г.

Сизинцов С.Ю.

(подпись)



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
 «Сибирский федеральный университет»

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

660049, Красноярск, пр. Свободный ,79/10, тел.(3912) 2-912-820, факс (3912) 2-912-773
 E-mail: bik@sfu-kras.ru

ОТЧЕТ

о результатах проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ»

Автор: Цулая Арсен Кахаевич

Заглавие: Разработка структурной схемы управления режимами работы каскадных мини-ГЭС

Вид документа: Магистерская диссертация

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
Проектирование безплотинных гидроэлектростанций катамаранного типа	vuzring		0,02	3,83
МД ЭЭФ ЭССиС Мухамбетияр Д 18012017.txt	vuzring		0	2,74
Маргинов АВ.docx	vuzring		0	2,21
ЭС1301 Ачмиз Р Ш ВКР.pdf	vuzring		0	2,09
УП 02092015 ЭПП Казанина ИВ.txt	vuzring		0	2,05
Дипломы 2017 года выпуска/ Яшин МВ_154207_м1ЭЛЭТ21 2017 1.txt	vuzring *		0,03	1,67
ВКР Кондратьев 2017 НВИЭ halistovava ivts 2012.txt	vuzring		1,47	1,47
2018_110402_1160333239_С моленцев Павел Геннадьевич	vuzring		0	1,25
ФЭ1302 Легкий Д А ВКР.pdf	vuzring		0	1,2
Diplom Ovs.docx	stockphrase		0,65	0
Догадаев О.Н. 6 июня 2019.docx	sfukras		0	0,32
Dissertatsia_ot_07_05_2019_IT OG.pdf	sfukras		0,14	0,31
23	sfukras		0,05	0,22
Нечаев Роман Ф_дорович ФЭ1 7-09М	sfukras		0	0,22
Dissertatsia ot 1 06 2019	sfukras		0	0,22
Dissertatsia ot 07 05 2019 И	sfukras		0	0,22
Стабилизатор напряжения постоянного тока. Патент СССР 1 062670	patent	http://www.findpatent.ru/patent/106/1062670.html	0	0,13
Способ разработки нефтяного месторождения. Патент РФ 25 30948	patent	http://www.findpatent.ru/patent/253/2530948.html	0	0,11
Способ биологической очистки сточных вод. Патент РФ 2440	patent	http://www.findpatent.ru/patent/244/2440307.html	0	0,11

Источник	Коллекция / модуль поиска	Ссылка на источник	Доля в отчете	Доля в тексте
Справочник ресурсов возобновляемых источников энергии России. Справочник - каталог	bundle_ebs	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=58342	0	0,48
Энергетика России. Стратегия развития. (Научное обоснование энергетической политики)	bundle_ebs	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=58346	0	0,25
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	bundle_ebs	https://www.book.ru/book/920273	0	0,22
228798	bundle_ebs	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=228798	0	0,17
	biblioparsing		4,45	0
О проекте Указа Президента Республики Казахстан "О Стратегии эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года" - ИПС "Әділет"	adilet	http://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000060_	0,27	0,27
Об утверждении "Правил безопасности труда на водолазных работах" - ИПС "Әділет"	adilet	http://adilet.zan.kz/rus/docs/V980000789_	0,11	0,11
О Пояснениях к единой Товарной номенклатуре внешнеэкономической деятельности Таможенного союза - ИПС "Әділет"	adilet	http://adilet.zan.kz/rus/docs/H11T0000851	0,04	0,04

Частично оригинальные блоки: 37,16%

Оригинальные блоки: 62,84%

Заемствование из белых источников: 5,86%

Итоговая оценка оригинальности: 68,7%

Подготовлено автоматически с помощью системы «Антиплагиат»

дата: 07.07.2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. РАБОТА МИНИ-ГЭС В СОСТАВЕ КАСКАДА	6
1.1 Перспективность гидроэнергетики в Красноярском крае.....	6
1.2 Виды мини-ГЭС.....	8
1.3 Структура каскада мини-ГЭС и логика его работы.....	12
ГЛАВА 2. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ МИНИ-ГЭС И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ	15
2.1 Подключение мини-ГЭС к общей шине постоянного тока.....	15
2.2 Подключение аккумуляторных групп к шине постоянного тока.....	19
2.3 Параллельная работа мини-ГЭС и внешнего источника электроэнергии.....	20
2.4 Структура алгоритма управления каскадом мини-ГЭС.....	20
2.5 Место установки каскада.....	27
2.6 Выбор мини-ГЭС.....	29
2.6.1 Генератор.....	29
2.6.2 Расположение.....	33
2.7 Выбор аккумуляторов.....	35
2.8 Выбор инвертора.....	40
2.9 Выпрямитель и стабилизатор.....	42
2.10 Контроллер.....	44
ГЛАВА 3. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАСКАДА МИНИ-ГЭС И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕГО РАБОТЫ	45
3.1 Составление элементов математической модели.....	45
3.1.1. Моделирование потребителя.....	46
3.1.2 Моделирование скорости течения водного потока и генерируемой мощности мини ГЭС.....	46
3.1.3 Моделирование аккумуляторной батареи.....	47
3.1.4 Моделирование резервного источника питания.....	48
3.1.5 Контроллер управления каскадом мини-ГЭС.....	49
3.2 Алгоритм управления каскадом мини-ГЭС.....	53
3.2.1 Модуль управления зарядом АКБ.....	55
3.2.2 Модуль управления разрядом АКБ.....	57
3.2.3 Модуль управления резервным источником питания.....	59

3.2.4 Модуль управления балластной нагрузкой	60
3.3 Проверка правильности работы экспериментальной модели мини-ГЭС..	60
3.4 Моделирование работы каскада мини-ГЭС.....	66
3.5 Экономический расчет	68
ВЫВОДЫ	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ А	73

ВВЕДЕНИЕ

В России свыше 2,5 млн малых рек, на которые приходится около 99 % общего числа рек и около 93 % их протяжённости. Они формируют около половины суммарного объёма речного стока (более 1000 м³) [1].

Технический ресурс (потенциал) малых рек оценивается 382 млрд кВт*ч в год, а степень использования этого потенциала составляет примерно 2,2 млрд кВт*ч в год (объём производства малыми ГЭС России).

Установить экономический гидроэнергетический потенциал малых рек весьма затруднительно из-за отсутствия технико-экономических показателей, природных и строительно-хозяйственных условий сооружения малых ГЭС (МГЭС). Известна приблизительная оценка экономического потенциала (ресурса), составляющая около 55 % технического гидропотенциала [1].

Физические принципы процесса преобразования потенциальной энергии воды в электроэнергию просты, однако технические устройства, реализующие этот процесс, относительно сложные.

Основными проблемами внедрения МГЭС являются относительно высокая себестоимость оборудования и строительно-монтажных работ. Стоимость гидроагрегатов мощностью свыше 100 кВт в зависимости от напора составляет 200–400 дол. за 1 кВт установленной мощности. Стоимость сооружения МГЭС «под ключ» составляет от 100 до 400 % к стоимости оборудования в зависимости от типа сооружения и количества агрегатов на станции.

Перспективным направлением является применение мини и мини-ГЭС (МГЭС) на реках в предгорных и горных районах, где сам ландшафт создает необходимый напор воды.

Использование мини-ГЭС – для России вовсе не новое, а хорошо забытое старое: в 50-60-х годах у нас работало несколько тысяч малых ГЭС. В настоящее время их количество едва достигает нескольких сотен штук. Между тем, постоянный рост цен на органическое топливо приводит к

значительному удорожанию электрической энергии, доля которой в себестоимости производимой продукции достигает более 20 %. На этом фоне малая гидроэнергетика обретает новую жизнь [1].

Возобновление интереса к МГЭС обусловлено следующими преимуществами малой энергетики [2]:

1. Современная гидроэнергетика, по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики, является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии.

2. В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнце, ветер, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю.

3. Быстрый прогресс в области создания миниатюрных автономных электронных устройств по контролю и регулированию технологических процессов, в том числе и по дистанционному управлению малыми гидрогенераторами, работающими в сети или автономно.

4. Еще одно преимущество малой энергетики – экономичность. В условиях, когда природные источники энергии – нефть, уголь, газ – истощаются, постоянно дорожают, использование дешевой, доступной, возобновляемой энергии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать дешевую электроэнергию. К тому же сооружение объектов малой гидроэнергетики характеризуется низкой затратностью и быстро окупается, отсутствуют проблемы, характерные для крупной гидроэнергетики (строительство сложных и дорогостоящих гидросооружений, затопление местности и т.п.).

Так, при строительстве МГЭС установленной мощностью около 500 кВт стоимость строительно-монтажных работ составляет порядка 14,5– 15,0 млн руб. При совмещенном графике разработки проектной документации, изготовления оборудования, строительства и монтажа МГЭС вводится в эксплуатацию за 15–18 месяцев [1].

Расчёты показали, что себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на МГЭС, составит не более 0,45–0,5 руб за 1 кВт*ч, а затраты на строительство окупятся за 3,5–5,0 лет [1].

По прогнозам через 3–4 года стоимость электроэнергии увеличится более чем в 2 раза, поэтому перспективы МГЭС очевидны.

В настоящее время имеется успешный опыт эксплуатации оборудования с использованием существующих плотин, каналов, систем водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и объектов городского хозяйства, очистных сооружений, оросительных систем и питьевых водоводов.

Перспективным является направление упрощения конструкции МГЭС, прежде всего, за счёт использования нерегулируемых гидротурбин, а стабилизацию генерируемой электроэнергии осуществлять, используя статические (полупроводниковые) регуляторы.

Таким образом, малая энергетика – это на сегодняшний день наиболее экономичное решение энергетических проблем для территорий, относящихся к зонам децентрализованного электроснабжения, которые составляют более 70 % территории России. Обеспечение энергией удаленных и энергодефицитных регионов требует значительных затрат. В данном случае далеко не всегда выгодно использовать мощности существующей федеральной энергосистемы [3].

ГЛАВА 1. РАБОТА МИНИ-ГЭС В СОСТАВЕ КАСКАДА

1.1 Перспективность гидроэнергетики в Красноярском крае

Сущность региональной энергетической политики заключается в создании условий для стабильного, эффективного и надежного энергоснабжения потребителей всех регионов при минимальных затратах на производство, преобразование, транспорт и потребление энергоносителей и приемлемом уровне техногенного воздействия на окружающую природную среду [4].

Решение социальных проблем, или повышение уровня и качества жизни населения, часто выдвигается на первый план в качестве главного приоритета энергетической политики. Нет возражений против того, чтобы решение этой задачи «пронизывало» всю энергопрограмму. Однако же представляется разумным, чтобы программа решала, прежде всего, задачу энергоэффективности, производным от которой и является рост благосостояния в регионе.

Большое количество малых рек с необходимым запасом гидроресурсов позволяет достаточно экономично решать проблему электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, в особенности, удаленных от линий электропередач.

Наиболее экономичными и легко сменяемыми являются свободнопоточные мини-ГЭС. Погружные мини-ГЭС круглогодичного действия удобны для небольших поселков, геологических партий, фермерских хозяйств. Они с успехом могут работать параллельно с дизельными электростанциями, существенно сокращая расход дизельного топлива или заменяя последние в случае аварии.

Таблица 1 – Перспективность установки мини-ГЭС на реках Красноярского края

Пригодность	Район	Реки	Населенный пункт
Очень низкая	Енисейский	Ангара	п. Стрелка
		Енисей	
		Кемь	с. Плотбище
		Кас	п. Александровский шлюз
		Сым	п. Майское
	Туруханский	Сухая Тунгуска	п. Сухая Тунгуска
Низкая	Енисейский	Малая Белая	д. Малобелая
	Северо-Енисейский	Вельмо	п. Вельмо
	Каратузский	Казыр	с. Таяты
	Шушенский	Оя	с. Жеблахты
Не очень высокая	Туруханский	Турухан	п. Янов Стан
Высокая	Северо-Енисейский	Большой Пит	п. Брянка
	Туруханский	Подкаменная Тунгуска	д. Подкаменная Тунгуска
	Курагинский	р. Казыр	д. Гуляевка
	Ермаковский	Большая	п. Большая речка
Очень высокая	Ермаковский	Ус	д. Усть-Золотая
			с. Верхнеусинское
Другое	Енисейский	Кас	п. Новый Городок
			п. Касово
	Северо-Енисейский	Еруда	п. Новоерудинский
	Туруханский	Дубчес	п. Сандакчес
		Елогуй	п. Келлог
		Нижняя Тунгуска	с. Туруханск
		Курейка	Курейская ГЭС
	Курагинский	Казыр	п. Казыр
	Ермаковский	Мигна	с. Мигна
Шушенский	Голубая	д. Голубая	

1.2 Виды мини-ГЭС

Мини-ГЭС могут работать как параллельно с сетью, так и автономно, т.е. непосредственно питая потребителя. Полный ресурс работы станции составляет не менее 40 лет (не менее 5 лет до капитального ремонта) [5].

Выработка электроэнергии с использованием энергии движущейся воды – обычные и горные реки, водопроводные и канализационные сети, является наиболее экологически чистым и экономичным решением энергетических проблем для территорий, относящихся к зонам децентрализованного электроснабжения, обеспечения электроэнергией фермерских хозяйств и прочих потребителей, и в отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнце, ветер, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю.

В условиях, когда природные источники энергии – нефть, уголь, газ – истощаются, постоянно дорожают, использование дешевой, доступной, возобновляемой энергии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать дешевую электроэнергию. Это значительно дешевле и выгоднее, чем строительство линий электропередач или эксплуатация дизельных установок. Устройства в большинстве случаев не требуют каких-либо масштабных строительных работ, нет необходимости строить дамбы, что не затрагивает экологию места установки мини-ГЭС. К тому же сооружение объектов малой гидроэнергетики обладает низкими затратами и быстрой окупаемостью.

Таким образом, в настоящее время перспективным направлением является разработки МГЭС для удаленных объектов электроснабжения.

По мощности ГЭС классифицируются:

- микро-ГЭС – мощностью до 100 кВт;
- мини-ГЭС – мощностью от 100 до 500кВт;
- малые гидроэлектростанции – мощностью 500 кВт до 10МВт;
- средние гидроэлектростанции – мощностью – 10 – 1000 МВт;
- крупные гидроэлектростанции – мощностью выше 1000 МВт;

Гидростанции малой энергетики по характеру исполнения подразделяются на:

- стационарные приплотинные, с совмещением плотины и здания ГЭС;
- стационарные безплотинные с трубопроводом напорной деривации;
- мобильные в контейнерном исполнении, с использованием в качестве напорной деривации пластиковых труб или гибких армированных рукавов;
- переносные мощностью до 10 кВт, при использовании их, в качестве сооружения небольшой плотины, так и с напорной деривацией;
- погружные безплотинные мощностью до 5 кВт (при скорости течения воды в водотоке порядка 3-х метров в секунду).

Самыми распространенными типами ГЭС являются русловые и плотинные. Такие ГЭС сооружаются везде – и на равнинных реках (многоводных) и на горных реках. В таких ГЭС напор воды обеспечивается

сооружением плотины и водохранилища. Плотина в такой ГЭС перегораживает русло реки полностью. Плотина строится, как правило, в более узком месте реки, там, где русло немного сжато.

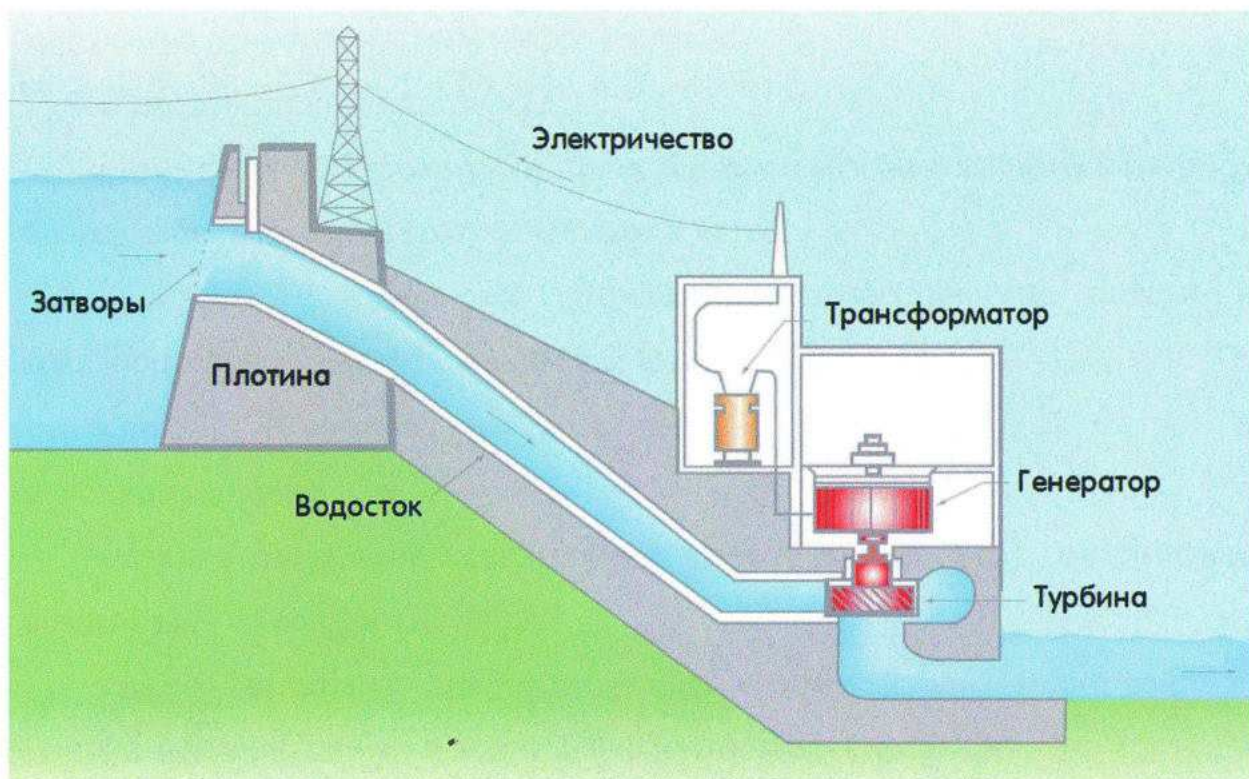


Рисунок 1.2 – Структура плотинной ГЭС

Приплотинные гидроэлектростанции обычно строятся, когда напор воды очень высок. В приплотинной ГЭС необходимо также построить плотину, и плотина должна полностью перегородить русло реки. При этом машинный зал (здание гидроэлектростанции) будет размещаться непосредственно за плотиной, внизу.

Основные минусы плотинных ГЭС:

- Большие водохранилища затопляют значительные участки земли;
- Разрушение плотины большой ГЭС практически неминуемо вызывает катастрофическое наводнение ниже по течению реки;
- Протяженная засуха снижает и может даже прервать производство электроэнергии ГЭС;

- Плотина снижает уровень растворенного в воде кислорода, поскольку нормальное течение реки практически останавливается;

- Кроме этого, электрическую энергию плотинных ГЭС сложно и дорого передавать в труднодоступные районы, где в свою очередь, протекает множество рек, относимых к разряду малых.

Плюсы бесплотинных ГЭС

- генерация электроэнергии происходит от возобновляемого источника, более стабильного, чем солнечный свет и ветер;

- близость к конечному потребителю, энергетические потери на транспортировку при этом минимальны либо отсутствуют;

- низкая стоимость электроэнергии, с учетом нулевых затрат на исходное топливо;

- полное отсутствие каких-либо выбросов в атмосферу, минимальное воздействие на водные бассейны;

- выход на полную мощность у малых гидроэлектростанций занимает меньше времени, чем у генераторов на нефтепродуктах.

Минусы

- русла небольших рек и ручьев часто пересыхают летом и промерзают зимой;

- производительность мини-ГЭС связана с напором воды и ее количеством. Чтобы обеспечить свой дом электроэнергией в полном объеме, может потребоваться создание запруды выше по руслу водоема – но это нарушение законодательства;

- строительство полноценной, пусть даже и небольшой гидроэлектростанции, способной исправно снабжать загородный коттедж электрической энергией круглый год, обходится недешево.

1.3 Структура каскада мини-ГЭС и логика его работы

На рисунке 1.3 представлен вариант работы каскада, в котором мощность, вырабатываемая каждой мини-ГЭС, без преобразования поступает напрямую в нагрузку через общую шину переменного тока. При этом, система управления должна обеспечивать синхронизацию подключения каждой мини-ГЭС, дизель генератора и инвертора к общей шине и поддержание их синхронной работы в дальнейшем.

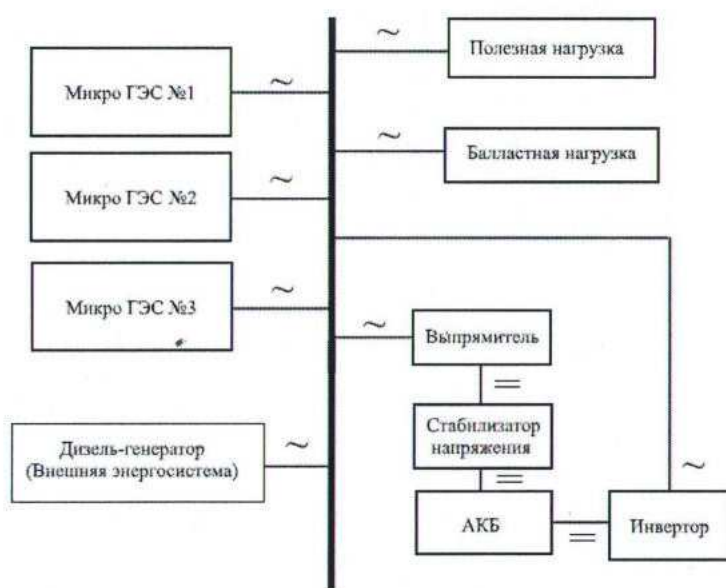


Рисунок 1.3 – Структура работы каскада с общей шиной переменного тока

Из достоинств данной схемы, можно отметить простоту согласования генерируемых напряжений. Это позволяет достаточно просто масштабировать установку до нужных мощностей (например, установка дополнительных мини-ГЭС в каскад). Так же, из преимуществ использования данного варианта можно отметить отсутствие дополнительных преобразований энергии, что обеспечивает более высокий КПД всей системы [6].

Главным недостатком является необходимость поддерживать постоянное напряжение и частоту каждого источника энергии. Это приводит к усложнению конструкции мини-ГЭС и, соответственно, к резкому увеличению ее стоимости.

Схема, изображенная на рисунке 1.4 лишена недостатка предыдущего варианта.

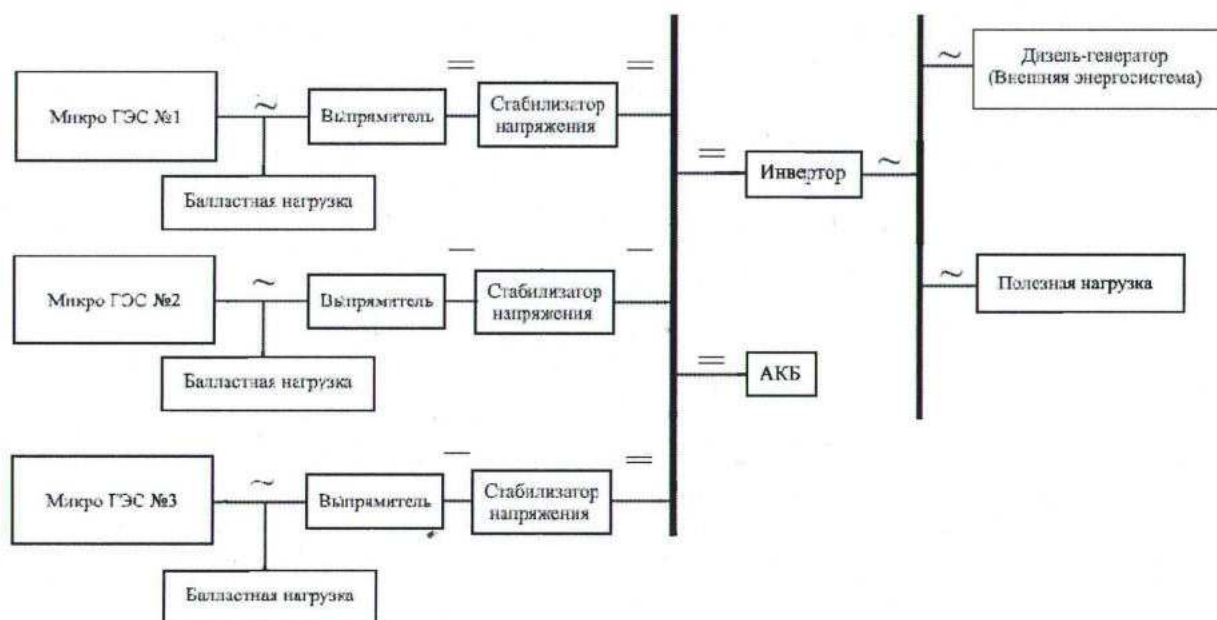


Рисунок 1.4 – Структура работы каскада с общей шиной постоянного тока

Несмотря на более сложную структуру установки (но, учитывая, что стоимость силовой электроники с каждым годом снижается, а ее удельная мощность растет), данная схема имеет большие преимущества в сравнении с первым вариантом:

- нет необходимости синхронизировать работу каждой мини-ГЭС друг с другом. Вырабатываемая энергия на каждом элементе каскада выпрямляется, после через стабилизатор напряжения с фиксированным напряжением для всех элементов, поступает на общую шину постоянного тока. Даже изменение выходного напряжения или частоты генератора мини-ГЭС не повлияет на стабилизированное напряжение;

- как и в первом варианте остается возможность масштабировать установку по мощности;

- высокие показатели качества электроэнергии у потребителя электроэнергии.

Из недостатков данной схемы можно отметить более высокую стоимость как всей установки, так и более дорогое расширение, путем добавления дополнительных мини-ГЭС в каскад, а так же меньший КПД, в сравнении с первым вариантом, из – за наличия двойного преобразования энергии (переменное напряжения – постоянное напряжение – переменное) [6].

ГЛАВА 2. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ МИНИ-ГЭС И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Подключение мини-ГЭС к общей шине постоянного тока

Подключение каждого элемента каскада будет осуществляться через выпрямитель и стабилизатор напряжения. Выпрямленное переменное напряжение поступает в стабилизатор напряжения и на выходе, в зависимости от необходимого напряжения на шине постоянного тока, получаем стабильное постоянное напряжение.

Плюсы данного подключения мини-ГЭС в том, что нет необходимости поддерживать стабильное напряжение и частоту на выходе генератора, так как современные стабилизаторы напряжения имеют большой диапазон входных напряжений от 100 до 300 В.

Минусы данного метода в том, что это усложняет общую схему, появляется трансформация генерируемого напряжения, что приводит к снижению КПД всего каскада [7].

Схема энергоустановки с автобалластным регулированием выходных параметров показана на рисунке 2.1.

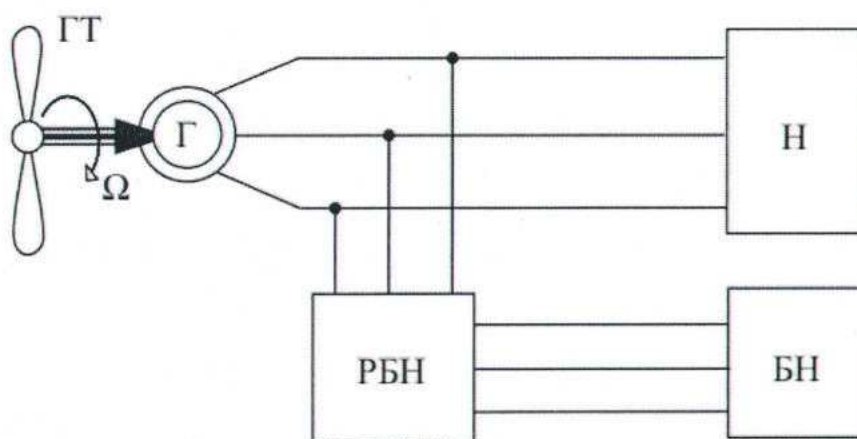


Рисунок 2.1 – Структурная схема стабилизации параметров мини-ГЭС автобалластного типа. ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – полезная нагрузка; БН – балластная нагрузка; РБН – регулятор балластной нагрузки

Принцип автобалластного регулирования предельно прост: параллельно полезной нагрузке станции через регулятор подключается такая же по величине дополнительная, или балластная нагрузка. При изменении величины полезной нагрузки, величина балластной изменяется при помощи регулятора таким образом, чтобы суммарная нагрузка электрического генератора оставалась неизменной [8].

В качестве балластной нагрузки обычно используют теплонагревательные элементы. И если учесть, что до 80 % электрической энергии автономный потребитель тратит на получение тепла, выделяемая на балластных сопротивлениях энергия также может быть полезно использована.

Достоинством данного способа регулирования является возможность стабилизации частоты вращения гидроагрегата при полном исключении из системы стабилизации электромеханических устройств. Замена их статическим регулятором весьма выгодна и с точки зрения улучшения характеристик мини-ГЭС и с точки зрения чисто экономической. Так, по данным [9, 10] стоимость регулятора автобалласта может составлять лишь 20 % от механического регулятора гидротурбины. Такая система регулирования может иметь высокое быстродействие, что положительно скажется на качестве выходного напряжения источника электропитания.

Благодаря стабилизации частоты вращения при водном двигателе в рассматриваемых типах электроустановок могут применяться общепромышленные генераторы без большого запаса механической прочности ротора. Кроме того, автобалластный способ стабилизации хорошо сочетается с регулированием выходных параметров асинхронного генератора с емкостным самовозбуждением, что позволяет применять в автономных мини-ГЭС как синхронные, так и асинхронные машины [11].

Структурная схема мини-ГЭС, система стабилизации которой построена на тиристорном преобразователе с фазовым регулированием мощности балласта, показана на рисунке 2.2. Система управления вентилями

регулятора, обычно вертикального типа, формирует определенный угол управления тиристорами регулятора в зависимости от величины управляющего воздействия, характеризующего отклонение выходных электрических параметров установки относительно номинальных значений.

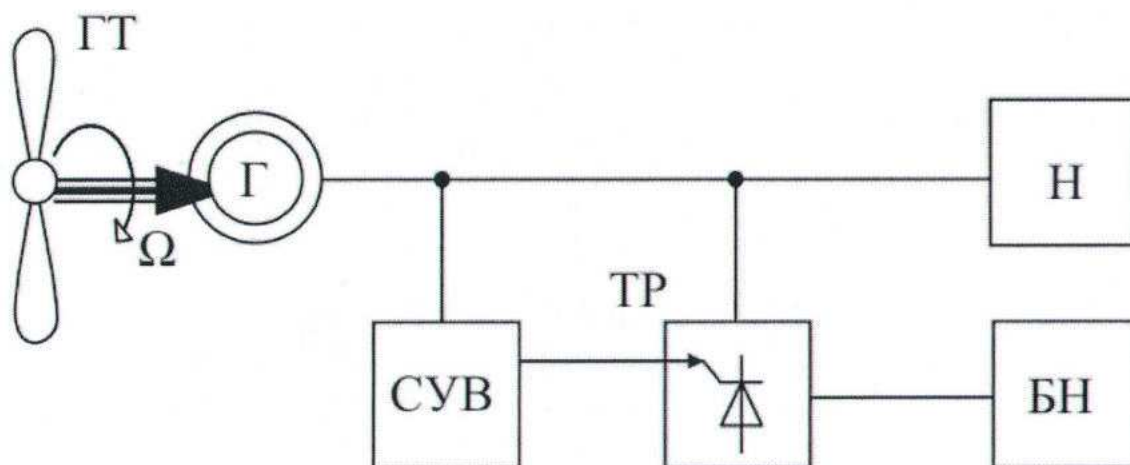


Рисунок 2.2 – Структурная схема мини-ГЭС с фазовым управлением.

СУВ – система управления вентилями; ТР – тиристорный регулятор

Основным недостатком регуляторов автобалласта с фазовым регулированием по сравнению с тиристорными коммутаторами является искажение формы кривых фазных токов и напряжений генератора мини-ГЭС. К параметрам автономной энергоустановки, по которым целесообразно осуществлять регулирование рабочих режимов гидроагрегата относятся, прежде всего, ток нагрузки и его составляющие: частота выходного напряжения и его величина.

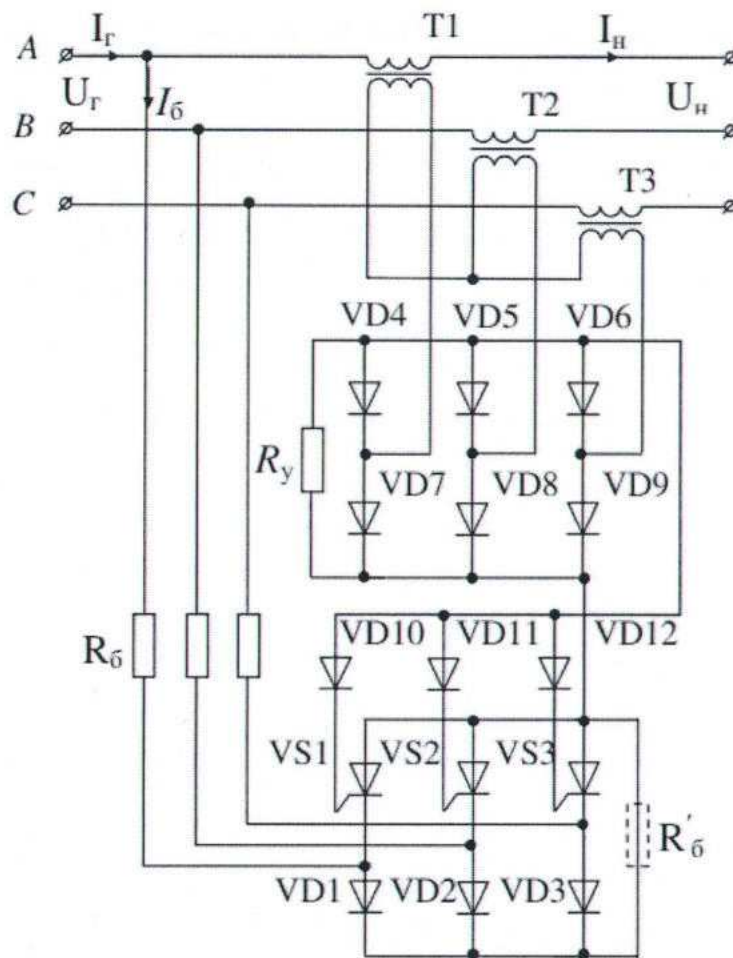


Рисунок 2.3 – Принципиальная электрическая схема регулятора автобалластной нагрузки

Эффективность и относительная простота схемных решений автоматических регуляторов балласта, реагирующих на величину тока полезной нагрузки, определили выбор именно этого типа автобалластной системы стабилизации. Принципиальная схема регулятора балластной нагрузки, рассматриваемой мини-ГЭС показана на рисунке 2.6. Работает схема следующим образом. Напряжение генератора $U_{Г}$ через первичные обмотки трансреакторов $T1-T3$ поступает к нагрузке $R_{Н}$, и к балластным нагрузкам $R_{б}$. Балластные нагрузки включены в звезду через силовой вентильный преобразователь, состоящий из тиристоров $VS1-VS3$ и диодов $VD1-VD3$.

2.2 Подключение аккумуляторных групп к шине постоянного тока

В связи с тем, что в разрабатываемой структуре мини-ГЭС выбрано три группы аккумуляторных батарей, необходимо обеспечить их попеременное подключение к шине постоянного тока.

Для этого каждая группа должна подключаться к шине через управляемый коммутационный аппарат, как показано на рисунке 2.4

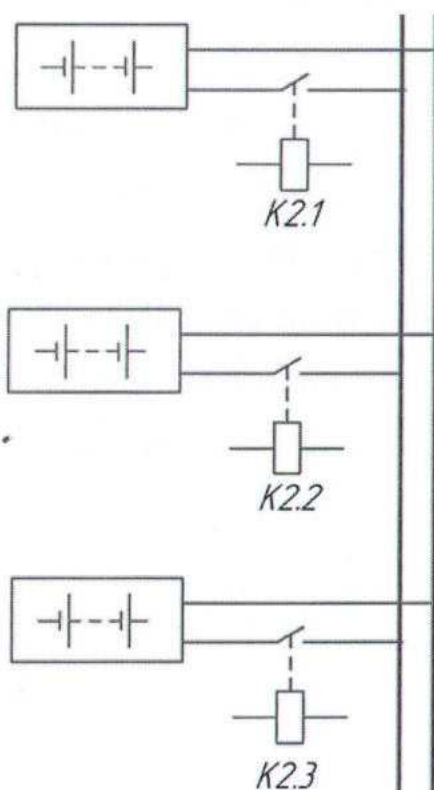


Рисунок 2.4 – Структурная схема подключения аккумуляторных групп батарей к шине постоянного тока.

За управление коммутационной аппаратурой отвечает логический контроллер, который в свою очередь следит за балансом в каскаде, а также состоянием и уровнем заряда АКБ.

При недостаточной генерации энергии от мини-ГЭС, к шине постоянного тока подключается 1 группа АКБ и начинает отдавать

запасенную энергии потребителю. При полном ее разряде, происходит ее отключение от общей шины постоянного тока и включение другой группы заряженных аккумуляторов. При появлении избытка мощности, подключается та группа АКБ, которой необходим заряд.

2.3 Параллельная работа мини-ГЭС и внешнего источника электроэнергии

В случае, когда все аккумуляторные батареи будут разряжены, а генерируемой мощности каскада будет недостаточно для потребителя, весь каскад отключается от потребителя электроэнергии через управляемый выключатель и основным источником питания для потребителя будет внешняя энергосистема. При этом, энергия генерируемая мини-ГЭС будет тратиться на заряд аккумуляторных батарей. В данном случае, все группы свинцово-кислотных аккумуляторов будут подключены к шине постоянного тока, в связи с тем, что уровень напряжения на всех группах будет одинаков, а так как емкости их одинаковы, то нет необходимости в балансире для заряда и несколько групп будут заряжаться как одна.

Структура и схема работы приведены на рисунке 2.10.

Данный режим работы каскада будет продолжаться до тех пор, пока не зарядятся свинцово-кислотные аккумуляторы и мощность, генерируемая каскадом, не будет больше мощности необходимой потребителю.

2.4 Структура алгоритма управления каскадом мини-ГЭС

Полная структура приведена каскада мини-ГЭС приведена на рисунке 2.5.

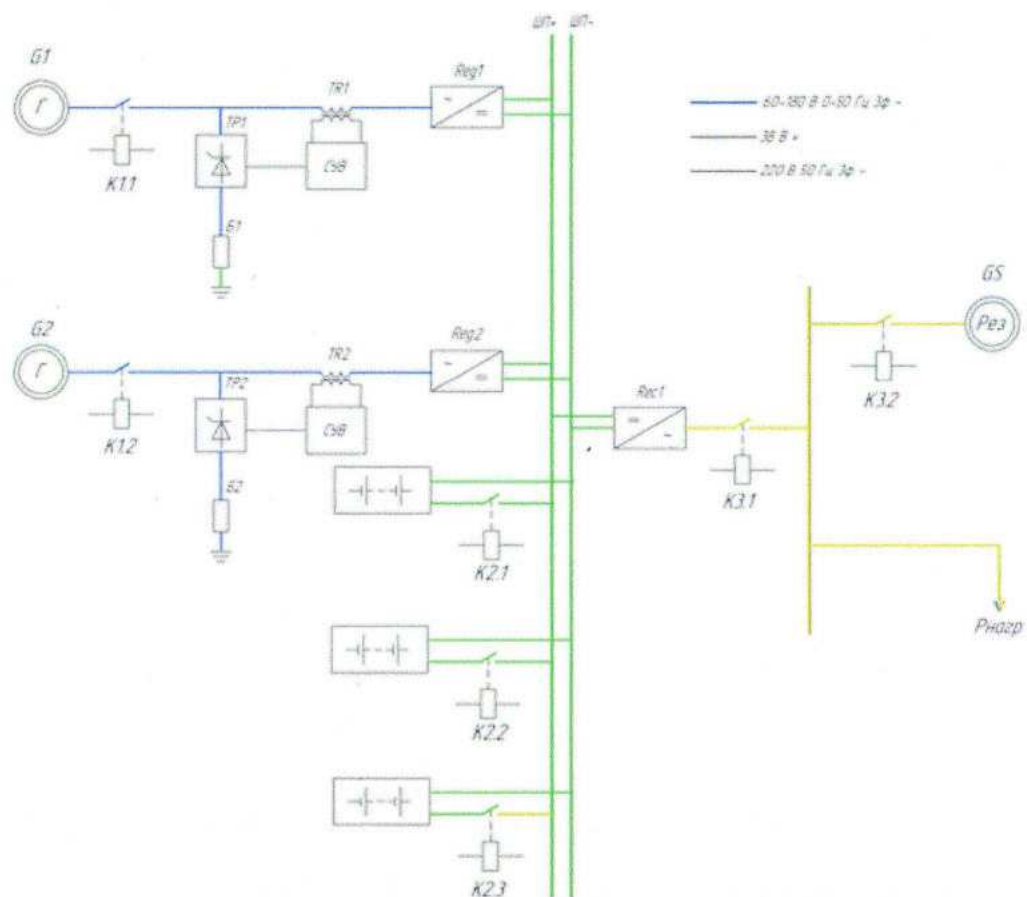


Рисунок 2.5 – Структура каскада мини-ГЭС, где G1, G2 – генераторы установленные на мини-ГЭС, GS – внешний источник электроэнергии, Kn.n – коммутационное управляемое оборудование, TRn – трансреакторы систем управления балластной нагрузкой, Regn – стабилизаторы напряжения, Resp – инверторы.

Алгоритм работы системы приведен в схеме, изображенной на рисунке 2.6.

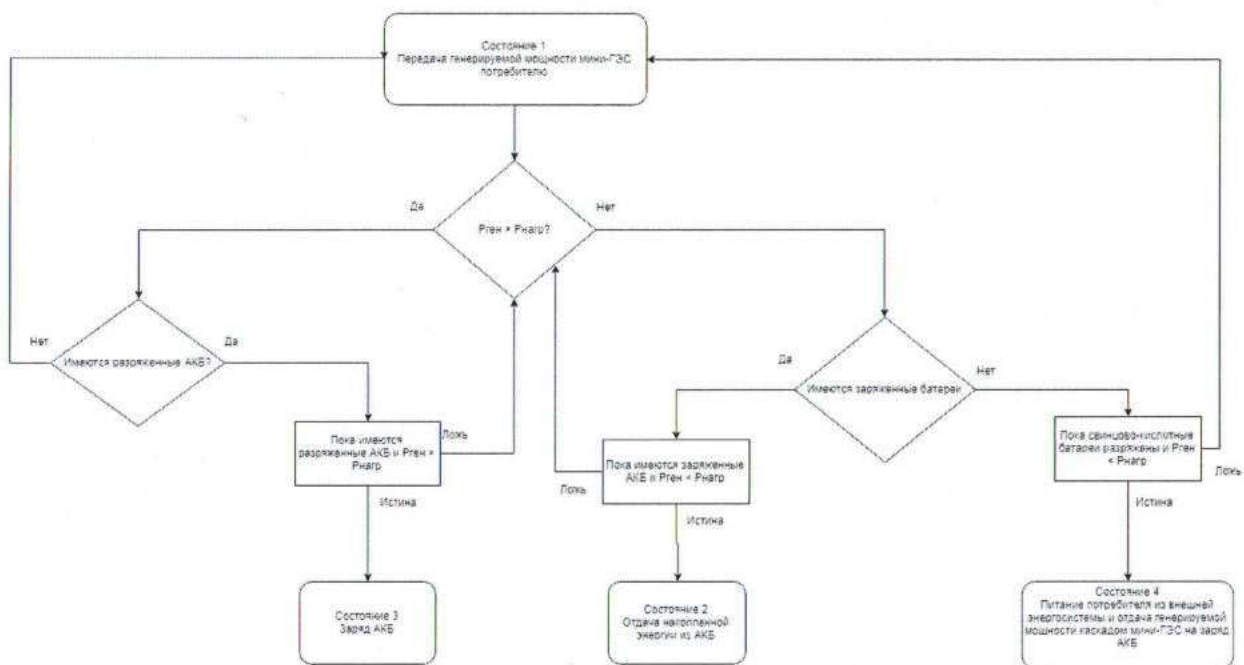


Рисунок 2.6 – Структурная схема работы алгоритма управления каскадом мини-ГЭС

Всю работу алгоритма можно разделить на состояния системы, переход к которых осуществляется при наступлении определенных условий.

2.4.1 Состояние 1

Данное состояние — это обычный режим работы каскада, когда все аккумуляторные батареи заряжены, а мощности, вырабатываемой генераторами, достаточно для покрытия нужд потребителя.

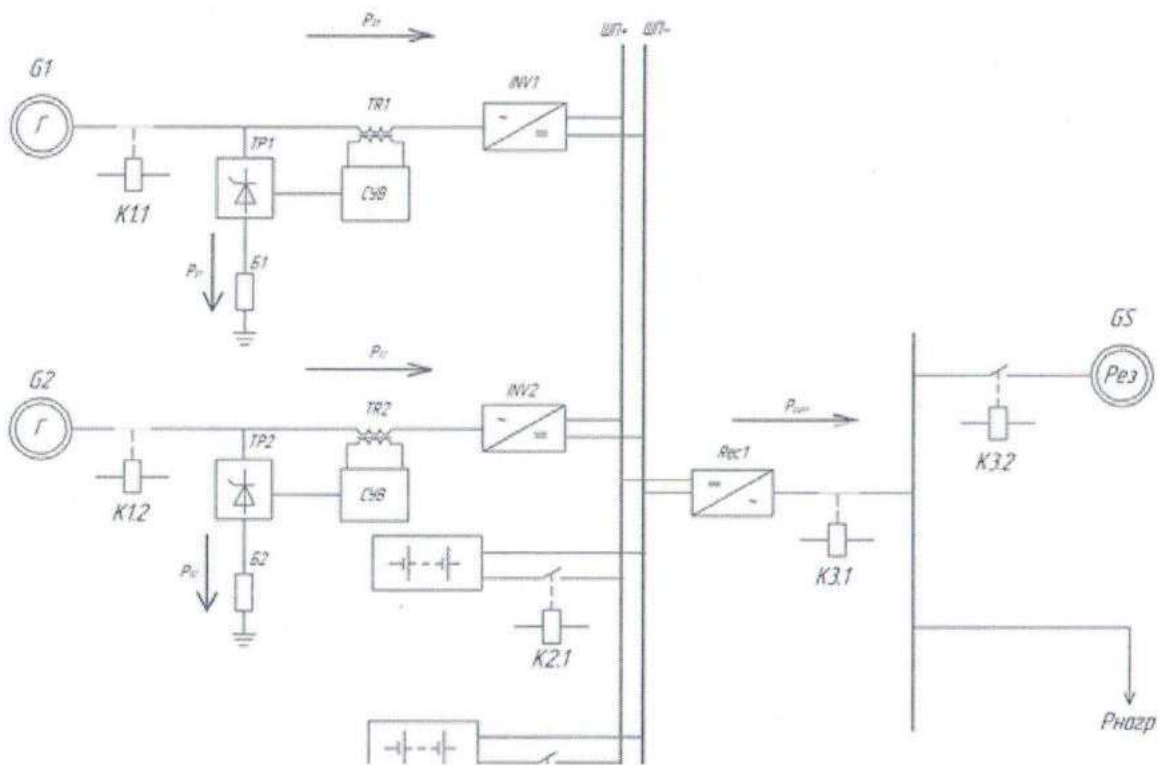


Рисунок 2.7 – Схема работы каскада в состоянии 1

Коммутационное оборудование $K1.1$, $K1.2$, $K3.1$ находятся во включенном состоянии. Необходимая мощность, генерируемая каскадом, уходит на нужды потребителя, остальная часть мощности уходит на балластную нагрузку. В системе соблюдается баланс:

$$P_{G1} + P_{G2} - P_{B1} - P_{B2} = P_{\text{сумм}}, \quad (2.1)$$

где P_{G1}, P_{G2} – мощности генерируемые мини-ГЭС;
 P_{B1}, P_{B2} – мощности уходящие в балластную нагрузку;
 $P_{\text{сумм}}$ – суммарная мощность от каскада мини-ГЭС, уходящая на нужды потребителя, равная $P_{\text{нагр}}$.

2.4.2 Состояние 2

Переход в данное состояние наступает, когда генерируемой мощности недостаточно и дополнительная мощность берется из ранее запасенной энергии в аккумуляторных батареях.

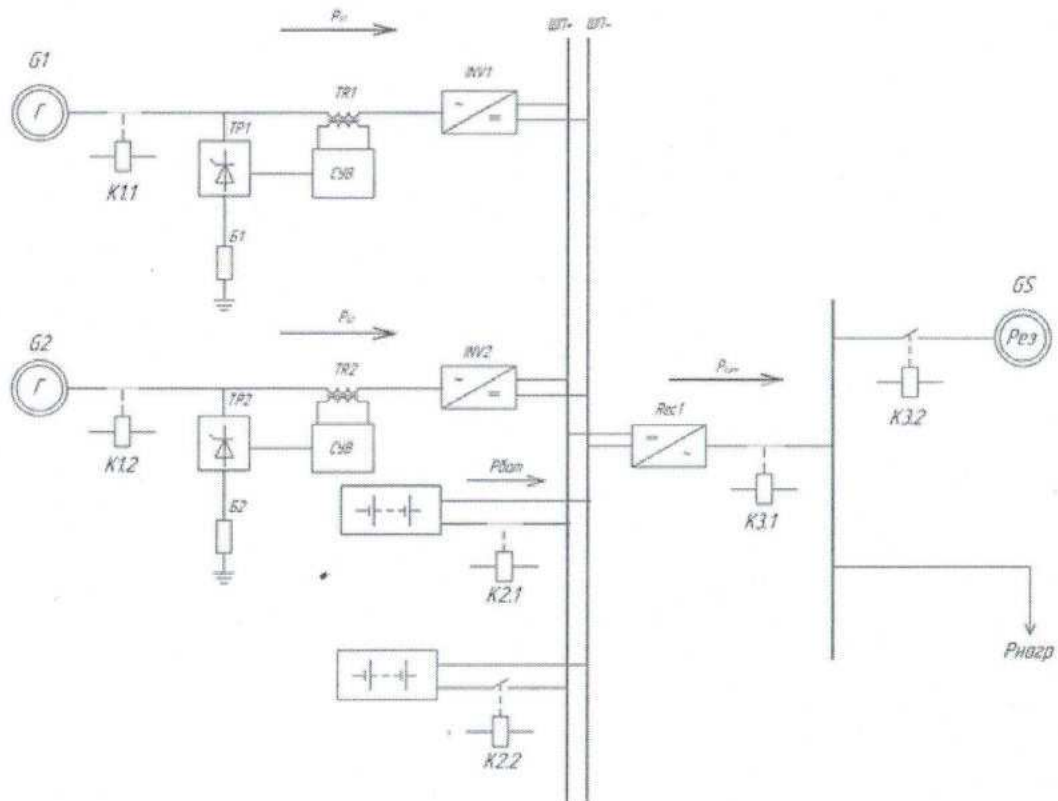


Рисунок 2.8 – Схема работы каскада в состоянии 2

В зависимости от того, какая группа батарей заряжена, включается коммутационный аппарат $K2.n$ и мощность запасенная ранее АКБ отдается потребителю.

$$P_{G1} + P_{G2} + P_{\text{бат}} = P_{\text{сумм}}, \quad (2.2)$$

где $P_{\text{бат}}$ – мощность, отдаваемая аккумуляторной батареей в сеть.

2.4.3 Состояние 3

При наличии избытка мощности и разряженных АКБ наступает состояние 3, когда идет заряд АКБ и покрытие всей потребляемой мощности каскадом мини-ГЭС. Цикл состояний 1-2-3 является обычным состоянием работы каскада и занимают большую часть времени, в котором прибывает вся система.

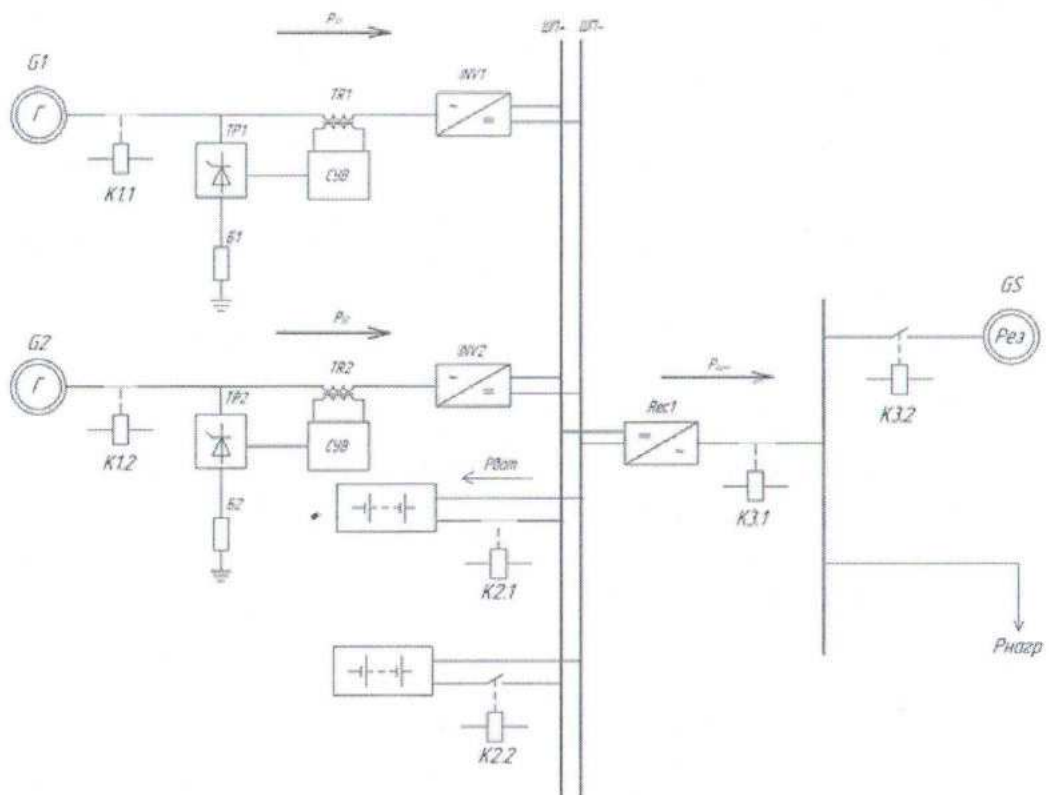


Рисунок 2.9 – Схема работы каскада в состоянии 3

Положение коммутационных аппаратов такое же, как и при состоянии 2, только часть мощности, генерируемой каскадом, уходит на зарядку аккумуляторных батарей. Соответственно, баланс в системе, следующий:

$$P_{G1} + P_{G2} - P_{\text{бат}} = P_{\text{сумм}}, \quad (2.3)$$

2.4.4 Состояние 4

Данное состояние можно назвать критическим, так как переход в него нарушает принцип автономности и питание потребителя осуществляется от внешнего источника электроэнергии и работы всего каскада на заряд АКБ, что приводит к увеличению стоимости электроэнергии.

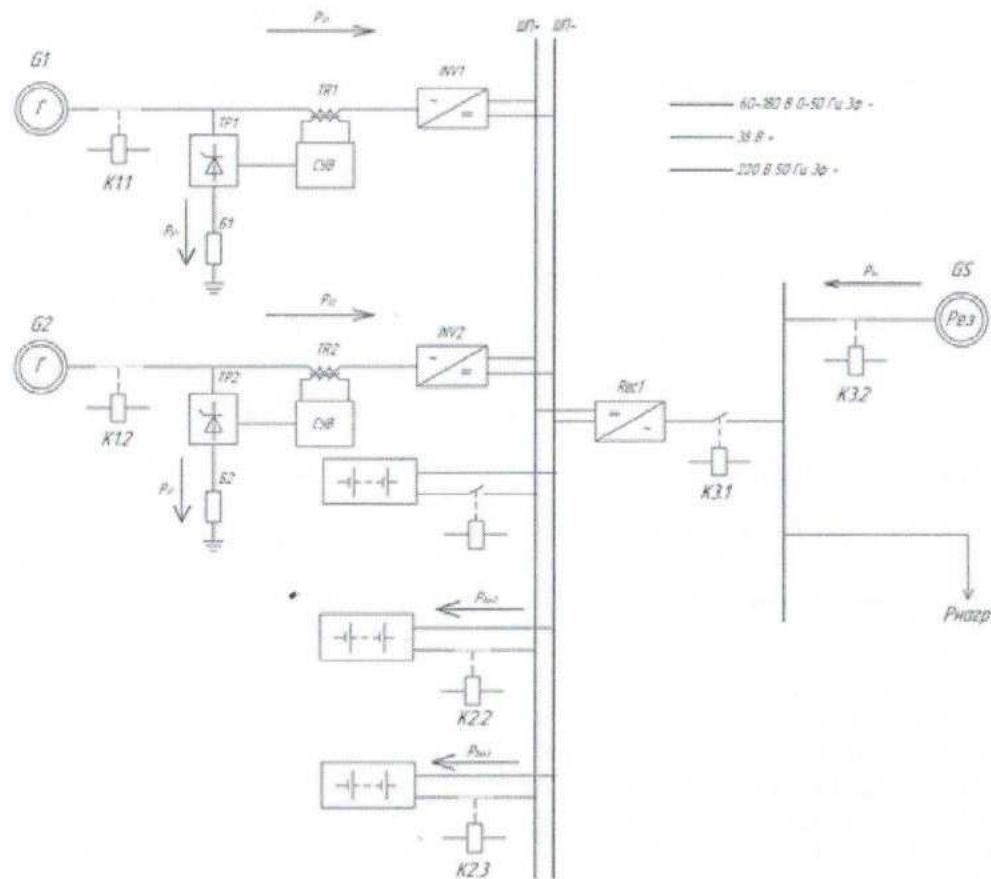


Рисунок 2.10 – Схема работы каскада в состоянии 4

В данное состояние К3.1 размыкается, тем самым отключая каскад от потребителя и замыкается К3.2, беря всю необходимую мощность из внешнего источника питания. Вся мощность, генерируемая каскадом при этом, уходит на зарядку аккумуляторных батарей.

$$P_{G1} + P_{G2} - P_{B1} - P_{B2} = P_{бат1} + P_{бат2}, \quad (2.4)$$

$$P_{ВН} = P_{нагр}. \quad (2.5)$$

2.5 Место установки каскада

На основе исследований, приведённых в прошлой главе, для дальнейшего рассмотрения места установки каскада выбран посёлок Брянка, расположенный на реке Большой Пит.

Климат умеренный, зона средней суровости, средняя многолетняя температура января -23°C , июля $+17^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура -5°C .

Большой Пит река в Азиатской части России, в Сибири, в Красноярском крае; правый приток р. Енисей.

Первые осенние ледовые явления начинаются в середине октября. После длительного ледохода (до 20 суток) возникает устойчивый ледяной покров (к середине первой декады ноября). Вскрытие реки происходит в конце первой декады мая, сопровождается бурным ледоходом (продолжительность до 7 суток). В период ледохода возможны заторы льда и наводнения. Продолжительность периода с ледовыми явлениями 214 суток.

Течение на участке стремительное, скорость его 6,0-6,5 км/ч, а в паводок достигает 15 км/ч [12].

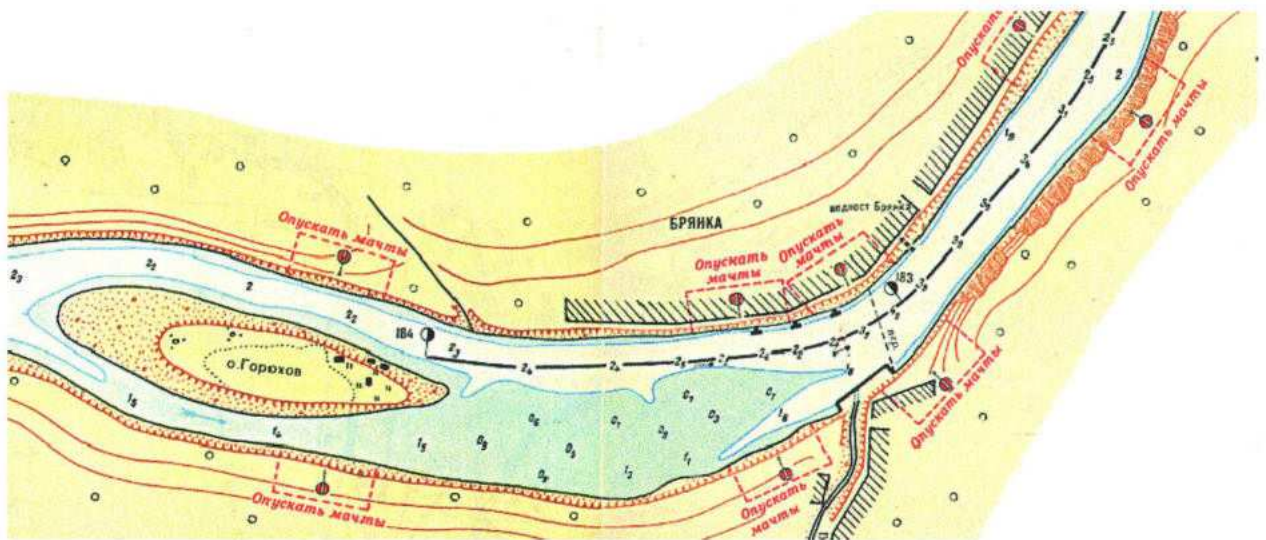


Рисунок 2.11 – Карта реки Большой Пит возле поселка Брянка.

На графике, изображенном на рисунке 2.12, отображена средняя скорость течения реки у населенного пункта.

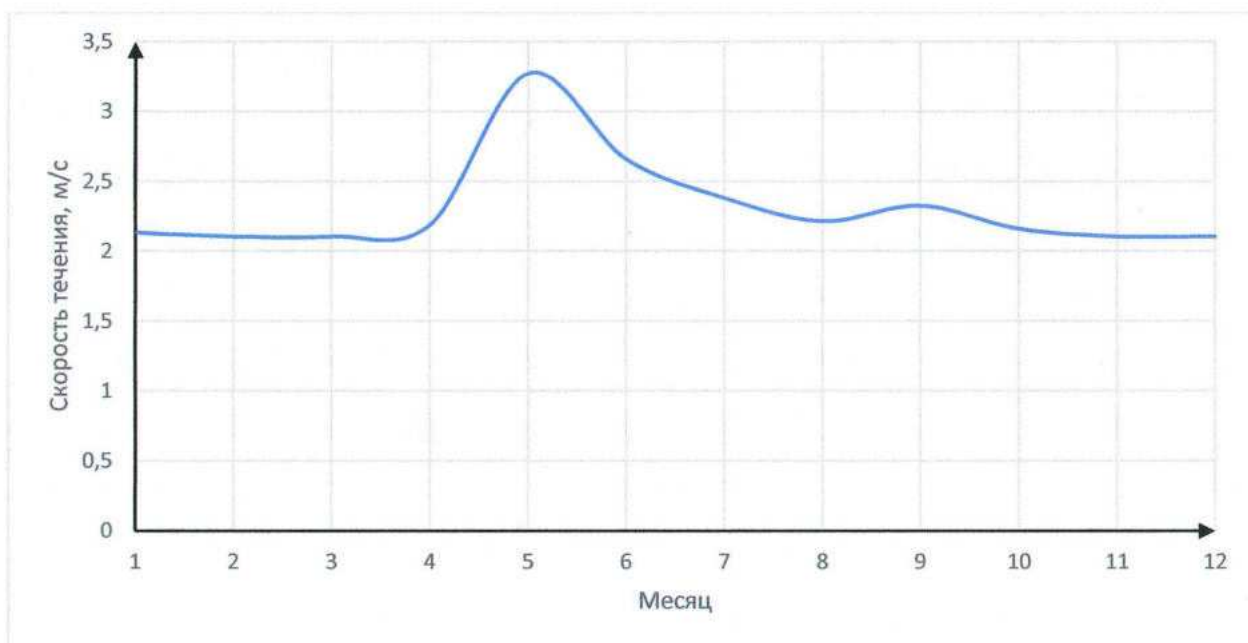


Рисунок 2.12 – График зависимости течения реки Большой Пит от месяца.

В качестве рассматриваемого объекта выбрана часть улицы п. Брянка. Это 19 квартир расположенные вблизи берега реки. Данные о годовом расходе электроэнергии ежемесячно представлены в Приложении А.



Рисунок 2.13 – Схема расположения жилых домов и воздушной линии электропередачи

Генераторы ВГ – 3/300-02В и 02Г предназначены для работы в составе ветряных электростанций и мини-ГЭС. Генераторы с исполнением 02В предназначены для вертикально осевых ветряков и гидротурбин, а 02 Г – горизонтально осевых.

Конструкции генераторов ВГ – 3/300-02В и 02Г представляют собой трехфазные многополюсные генераторы переменного тока классической конструкции с возбуждением от постоянных магнитов на основе Nd - Fe - В . На цилиндрическом роторе облегченной конструкции наклеены в два ряда сегментные полюса. Генераторы отличаются способом крепления. Генераторы исполнения 02В имеют «уши» для крепления в вертикальном положении, а генераторы 02Г имеют лапки для установки на станину [13].

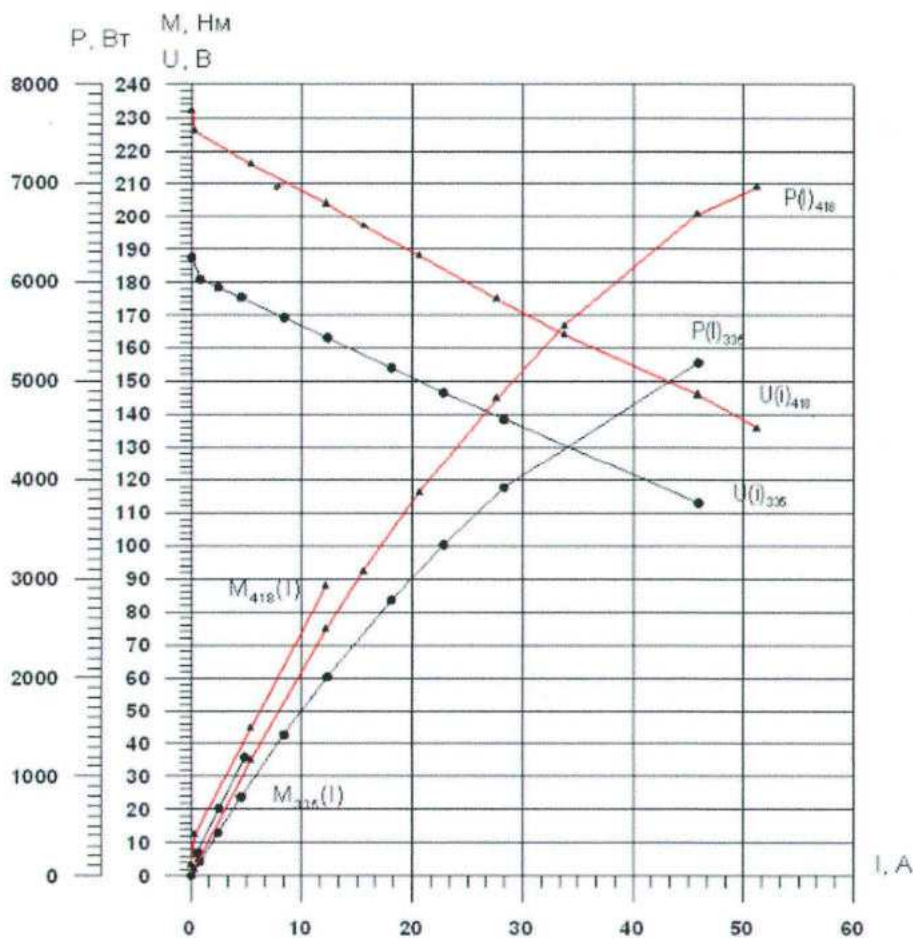


Рисунок 2.14 – Внешняя характеристика генератора ВГ – 3/300-02В и 02Г

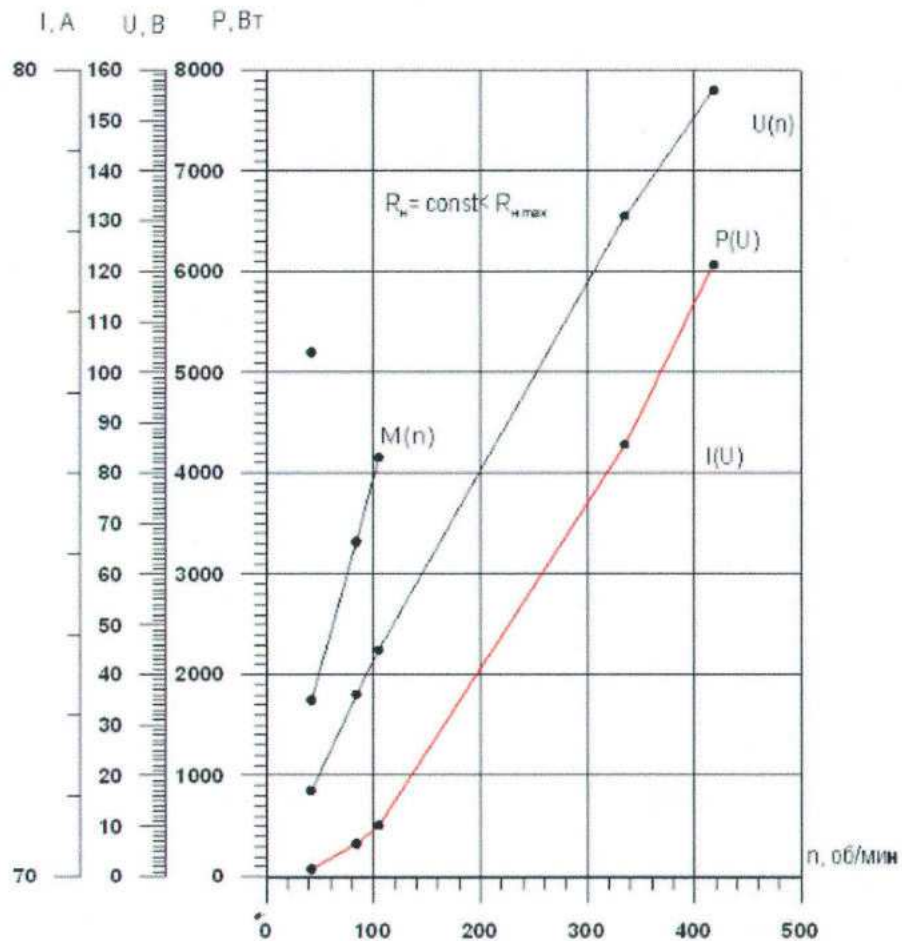


Рисунок 2.15 – Скоростная характеристика генератора ВГ – 3/300-02В и 02Г

Остальные части мини-ГЭС проектируются и разрабатываются индивидуально для каждого проекта.

Среднесуточное потребление объекта определим по таблице годового потребления электроэнергии за год (Приложение А).

Определим суммарный объем потребленной электроэнергии в месяц, кВт*ч:

$$P_{\text{месяц}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{кв}}} P_i, \quad (2.1)$$

где P_i – объем потребленной электроэнергии квартирой в месяц, кВт*ч;

2.6 Выбор мини-ГЭС

Основными компонентами свободнопоточной ГЭС являются: турбина, генератор, передаточный механизм, система автоматического регулирования, защитное устройство и несущая конструкция. Так же, при выборе мини-ГЭС нужно учитывать необходимость редуктора, который повышает стоимость всей мини-ГЭС 10%

2.6.1 Генератор

Параметры генераторов с пониженной частотой вращения, производимых фирмой ВИНДЭК, приведены в таблицу 2 [13].

Таблица 2 - Сравнение характеристик генераторов, применяемых в мини-ГЭС

	ВГБЖ- 0,15/200 *	ВГБЖ- 02/200	ВГ- 0,5/650	ВГБЖ- 0,8/600	ВГ- 1/450	ВГБЖ- 1,5/600	ВГ- 3/300
Мощность, Вт	150	200	500	800	1000	1500	3000
Частота вращения, об/мин	200	200	650	600	450	600	300
КПД	0,75	0,9	0,7	0,8	0,9	0,85	0,85
Масса, кг	13	10	11	14	19	16	120
Стоимость, тыс.руб	25,2	25,2	12,6	30	14,4	36	106

В связи с тем, что скорость течения реки не превышает больше 3 м/с, эффективнее будет применить генератор с меньшей частотой вращения.

Рассмотрим генератор ВГ – 3/300.

Результаты расчётов за каждый месяц занесены в таблицу 3.

Таблица 3 - Потребление электроэнергии по месяцам

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Объем, кВт*ч	4308	4209	3399	3159	3117	2527
Месяц	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Объем, кВт*ч	2500	2690	2883	2969	3202	3915

Средний объем потребленной электроэнергии в месяц, кВт * ч:

$$P_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_{\text{Месяц } i}}{12} = 3239, \quad (2.2)$$

Соответственно, средний объем потребленной электроэнергии в час, кВт * ч:

$$P_{\text{час}} = \frac{P_{\text{ср}}}{30 \cdot 24} = 4,5, \quad (2.3)$$

Таким образом, для покрытия мощности нагрузки требуется силовая установка мощностью минимум 4,5 кВт при скорости течения реки 1,5 м/с. Данная мощность может быть получена с помощью каскада мини-ГЭС.

Недостаток мощности будет компенсироваться дизель-генератором или внешней энергосистемой.

Количество мини-ГЭС в каскаде, шт:

$$n_{\text{миниГЭС}} = \frac{P_{\text{час}}}{P_{\text{ген.ном}}}, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{час.}}$ - максимальная расчетная нагрузка, кВт;
 $P_{\text{ген.ном}}$ - номинальная мощность генератора, установленного на мини-ГЭС, кВт.

$$n_{\text{мини-ГЭС}} = \frac{4,5}{3} = 1,5, \quad (2.5)$$

Примем, что в каскаде будет установлено две мини-ГЭС с номинальной мощностью 3 кВт при скорости течения реки 2 м/с.

2.6.2 Расположение

При размещении мини-ГЭС необходимо учитывать, что расположение, показанное на рисунке 2.16, приведет к снижению КПД всего каскада. Связано это с тем, что при близком последовательном размещении, скорость течения потока после прохождения каждой мини ГЭС будет снижаться ($V_1 > V_2 > V_3$), в связи с этим вырабатываемая мощность каждой последующей электроустановки будет уменьшаться.

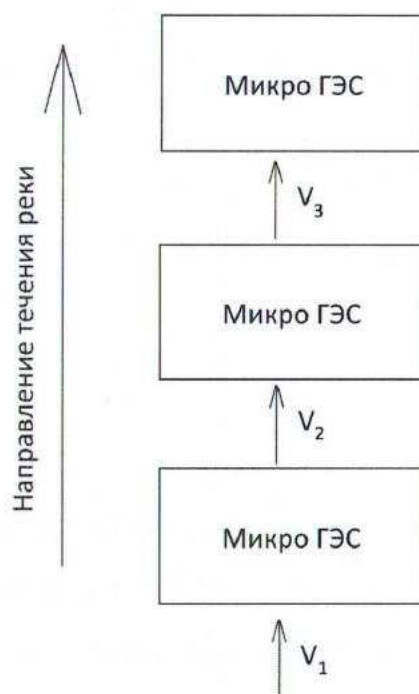


Рисунок 2.16 – Размещение мини-ГЭС последовательно течению реки

Для предотвращения снижения КПД можно использовать следующие варианты:

1. Увеличить расстояние между агрегатами при последовательном их размещении. Это приведет к тому, что поток будет успевать восстанавливать свою прежнюю скорость.
2. Размещать агрегаты перпендикулярно оси направления течения реки, как показано на рисунке 2.17. Данное расположение каскада не влечет за собой снижение КПД отдельных элементов каскада, но его использование возможно только при достаточной ширине реки.



Рисунок 2.17 – Размещение мини-ГЭС перпендикулярно оси направления течения рек

3. Комбинированное размещение. Совокупность двух первых вариантов позволит уменьшить ширину каскада, при этом не уменьшая КПД каждого агрегата. Данный вариант расположения показан на рисунке 2.18.

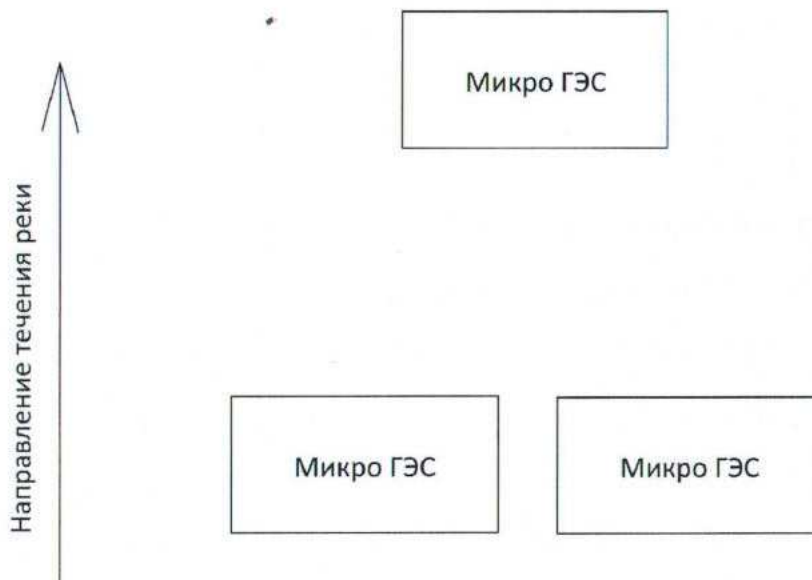


Рисунок 2.18 – Комбинированное размещение мини-ГЭС.

2.7 Выбор аккумуляторов

Выработанную электрическую энергию необходимо мгновенно

потреблять, это необходимо для нормального функционирования системы электроснабжения. Следовательно, если мощность, вырабатываемая каскадом больше, чем ее потребление, ее необходимо запасать в накопителе энергии, а в ситуациях, когда генерируемой мощности недостаточно, отдавать запасённую ранее энергию. Одним из видов накопителей энергии является электрический аккумулятор [6].

Основные типы аккумуляторов, применяемых в альтернативной энергетике:

- Свинцово-кислотные аккумуляторы
- Литий-ионные (литиевые) аккумуляторы
- Никель- кадмиевые аккумуляторы

Свинцово-кислотные аккумуляторы. Этот тип является самым востребованным по причине универсальных особенностей и невысокой стоимости. Благодаря наличию большого количества разновидностей, свинцово-кислотные аккумуляторы применяются в областях систем резервного питания, системах автономного электроснабжения, солнечных электростанциях, ИПБ, различных видах транспорта и т.д.

Литий-ионные аккумуляторы. Современные литий-ионные аккумуляторы имеют множество подтипов, основная разница которых заключается в составе катода (отрицательно заряженного электрода). Также может изменяться состав анода для полной замены графита или использования графита с добавлением других материалов.

Проанализировав рынок аккумуляторов на данный год, можно выделить Свинцово-кислотные аккумуляторы и литий-ионные аккумуляторы, как самые распространённые источники запаса электроэнергии.

Главный плюс свинцово-кислотных аккумуляторов заключается в их дешевизне, что позволяет собрать буфер большой емкости за относительно небольшую цену. Из минусов – необходимость проведения полных циклов заряда/разряда и небольшая допустимая величина разряда АКБ (до 50%).

При использовании только свинцово-кислотных аккумуляторов возникают ситуации, при которых автономность и экономичность всей системы электроснабжения падает.

Данная ситуация отражена на графиках, изображенных на рисунке 13.

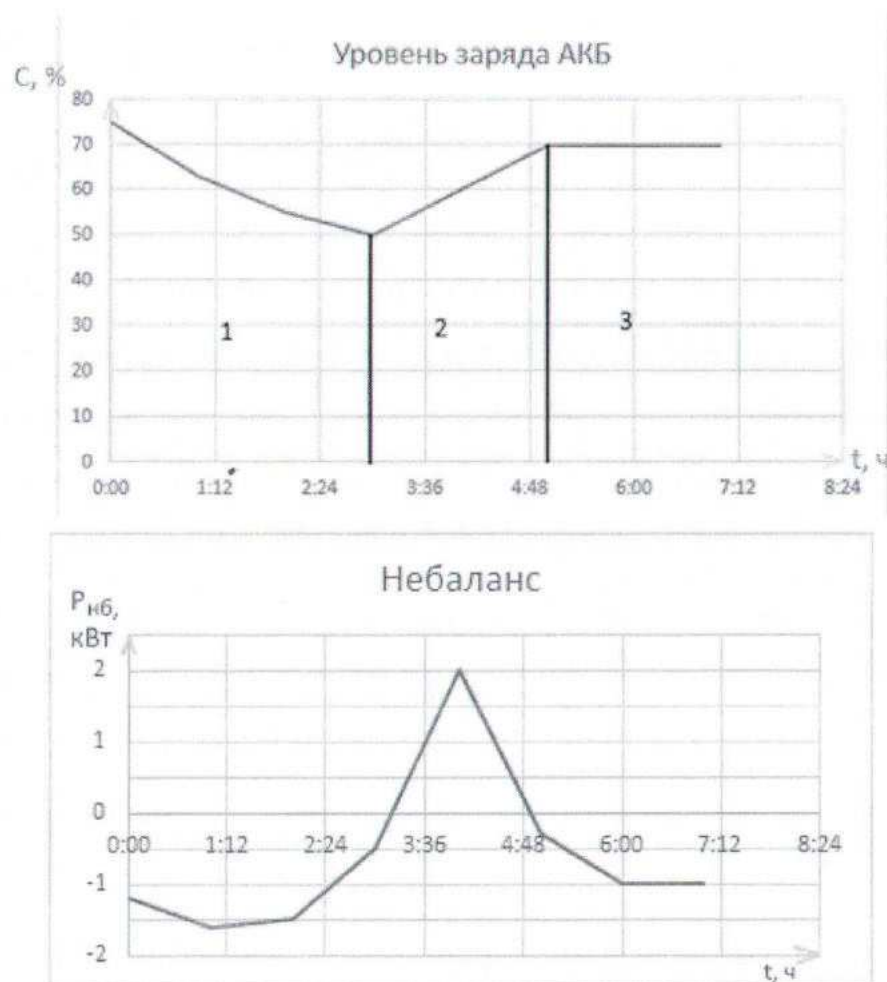


Рисунок 2.19 – Графики зависимости уровня заряда АКБ и уровня небаланса от времени

В промежуток времени 1 в системе имеется небаланс, АКБ на стадии разряда и отдают запасенную энергию для покрытия небаланса. В конце промежутка аккумуляторы разряжаются и переходят в стадию заряда.

Во 2 промежуток времени мощности, вырабатываемой каскадом мини-ГЭС достаточно для нагрузки и заряда аккумуляторов, что и происходит до конца 2 промежутка.

В 3 промежутке небаланс становится отрицательным и та энергия, что запасена в АКБ не может быть отдана в систему и мощность необходимая для покрытия небаланса берется из внешнего источника энергии. Все это приводит к снижению экономичности системы и ее ненадежности в случае отсутствия внешнего источника.

Для устранения вышеописанного недостатка, при проектировании системы, принято:

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы разделены на 2 независимые группы.

2. Добавить третью группу аккумуляторов литий-ионного типа. Данная группа не будет нуждаться в полных циклах заряда/разряда, а также имеет большую глубину разряда, в сравнении со свинцово-кислотными аккумуляторами. Из минусов стоит отметить высокую стоимость данного типа АКБ.

Примем условие, что аккумуляторная батарея должна обеспечивать запас электроэнергии равный половине суточного потребления [6], кВт*ч:

$$P_{\text{АКБ}} = \frac{108,1}{2} = 54,1, \quad (2.5)$$

Так же примем, что емкость литий-ионной группы АКБ будет составлять 30% от общей емкости:

$$P_{\text{АКБ Li-ion}} = 0.3 * 54,1 = 16,23, \quad (2.6)$$

$$P_{\text{АКБ ск}} = 0.7 * 54,1 = 37,9, \quad (2.7)$$

Емкость каждой группы АКБ, при напряжении $U_{\text{АКБ}} = 48 \text{ В, А} \cdot \text{ч}$:

$$C_{\text{АКБ Li-ion}} = \frac{P_{\text{АКБ Li-ion}}}{U_{\text{АКБ}}} = \frac{16230}{48} = 338,1, \quad (2.8)$$

$$C_{\text{АКБ ск}} = \frac{P_{\text{АКБ ск}}}{U_{\text{АКБ}}} = \frac{37900}{48} = 789,6, \quad (2.9)$$

Однако это общая емкость блока аккумуляторов, которая должна быть отдана потребителю. Тем не менее, Свинцово-кислотные аккумуляторы не рекомендуется разряжать более чем на 50% (Используется только 50 % заявленной емкости), а литий-ионные на 20% (используется только 20% заявленной мощности). Поэтому, величину $C_{\text{АКБ}}$ необходимо увеличить таким образом, чтобы 50 % реальной емкости $C_{\text{АКБ реал}}$, были равны $C_{\text{АКБ}}$

$$C_{\text{АКБ Li-ion реал}} = 1,2 * C_{\text{АКБ Li-ion}} = 1,2 * 338,1 = 405,7, \quad (2.10)$$

$$C_{\text{АКБ ск реал}} = 1,5 * C_{\text{АКБ ск}} = 1,5 * 789,6 = 1184,4, \quad (2.11)$$

Определим емкость единичной аккумуляторной батареи C_i исходя из того, что общая может быть представлена как сумма емкостей параллельно включенных каскадов последовательно соединенных аккумуляторных батарей. C_i подбирается исходя из емкостного ряда имеющихся на рынке аккумуляторов. Как правило, это ряд представлен емкостями 50, 55, 60, 65, 70, 75, 90, 120, 190, 200, 400 и т.д. А-ч. Число параллельно соединенных каскадов определяется из того расчета, что чем меньше емкость аккумулятора, тем ниже его стоимость. Также необходимо учитывать, что выходное напряжение аккумуляторной батареи 12 В, а номинальное напряжение на входе регулятора должно быть 48 В. Следовательно, аккумуляторы следует соединять группами последовательно по

$48/12=4$ элемента. При минимальном количестве аккумуляторов $n_{\text{пар}} = 7$

соединённых параллельно для литий-ионной группы, и $n_{\text{пар}} = 6$ для свинцово-кислотной, емкость одного элемента равна, А*ч:

$$C_{1 \text{ Li-ion}} = \frac{C_{\text{АКБ Li-ion реал}}}{n_{\text{пар}}} = \frac{405,7}{7} = 58, \quad (2.12)$$

$$C_{1 \text{ ск}} = \frac{C_{\text{АКБ ск реал}}}{n_{\text{пар}}} = \frac{1184,4}{6} = 197,4, \quad (2.13)$$

Округлим в сторону ближайшего большего номинального значения:

$$C_{1 \text{ Li-ion}} = 60, \quad (2.14)$$

$$C_{1 \text{ ск}} = 200, \quad (2.15)$$

Общее количество АКБ, при напряжении каждой $U_{\text{АКБ}} = 12 \text{ В}$, шт.:

$$N_{\text{Li-ion}} = 4 * n_{\text{пар}} = 4 * 7 = 28, \quad (2.16)$$

$$N_{\text{ск}} = 4 * n_{\text{пар}} = 4 * 6 = 24. \quad (2.17)$$

2.8 Выбор инвертора

Инверторы, это электронные устройства, преобразующие постоянное низкое напряжение от аккумуляторов в переменное напряжение 220 В.

Инвертор — это сердце автономной или резервной системы электроснабжения. Именно поэтому при подборе системы автономной или резервной системы электроснабжения так важно уделить выбору инвертора особое внимание.

Цена и возможности инверторов могут сильно отличаться, хотя выходная мощность будет одинаковой.

Существуют несколько основных вариантов применения инверторов.

1). Инверторы применяют для обеспечения бесперебойного электропитания, при пропадании в сети 220 В. Обычно такая система из инвертора и аккумуляторов ставится в загородном доме, или на ответственных промышленных объектах.

2). Тоже самое, но ещё и с возможностью приоритетного использования энергии солнца (и/или ветра) вместо энергии от сети. Это может заметно сократить счёта за электричество, но и первоначальные вложения в систему относительно большие.

3). При проживании в полной автономии от промышленных электросетей.

В таблице 4 приведены основные критерии необходимые для выбора инвертора в данной системе электроснабжения:

Таблица 4 - Критерии выбора инвертора.

Номинальная мощность, кВт:	4,5
Номинальное фазное выходное напряжение, В:	220
Форма выходного напряжения:	Синусоидальная
Максимальное постоянное напряжение от каскада мини ГЭС, В:	400
Максимальная мощность подключенного каскада, кВт	6

Проанализировав популярные решения для альтернативной энергетики, выберем инвертор МАП SIN DOMINATOR 6кВт (48В). Основные характеристики данного инвертора приведены в таблице 5 [14].

Таблица 5 - Характеристики инвертора МАП SIN DOMINATOR 6кВт
(48В)

Номинальная мощность, кВт:	6
Номинальное фазное выходное напряжение, В:	220
Форма выходного напряжения:	Синусоидальная
Максимальное постоянное напряжение от каскада мини ГЭС, В:	1000
Максимальная мощность подключенного каскада, кВт	19,5
Минимальное напряжение на выходе для старта преобразования, В:	100
Максимальная эффективность:	96

При дальнейшем проектировании необходимо учесть особенности данного инвертора:

1. Данный инвертор снабжен встроенным контроллером заряда аккумуляторов как свинцово-кислотных, так и литий-ионных. Но в связи с тем, что принципы заряда у них различаются, то нет возможности одновременного заряда нескольких групп АКБ. В связи с этим, группы аккумуляторов будут подключаться к общей шине постоянного тока через управляемые выключатели, за работу которых будет отвечать контроллер.

2. Преобразованное напряжение будет синхронизировано с внешней энергосистемой, что позволит работать каскаду мини-ГЭС и внешней энергосистемы на общую нагрузку.

3. Имеется дополнительное реле для подключения внешнего дизель-генератора, что позволяет не реализовывать логику работы дизель-генератора в отдельном контроллере.

2.9 Выпрямитель и стабилизатор.

Принцип действия непрерывных (линейных) стабилизаторов напряжения с последовательным регулирующим элементом состоит в том, что при изменении входного напряжения и/или тока нагрузки выходное

напряжение стабилизатора (напряжение на нагрузке) поддерживается постоянным за счет изменения падения напряжения на регулирующем элементе. Разность между входным и выходным напряжениями падает на мощном регулирующем транзисторе и в зависимости от схемы его включения и диапазона изменения входного напряжения может достигать нескольких десятков вольт.

Как следствие при протекании тока нагрузки на этом транзисторе рассеивается довольно большая мощность. Это предопределяет относительно невысокий коэффициент полезного действия (КПД) линейного стабилизатора, который в случае низких напряжениях стабилизации может падать даже ниже 50%.

Все существующие топологии преобразователей постоянного напряжения могут быть разделены на две основные части, в зависимости от наличия или отсутствия гальванической развязки между первичным источником и выходной цепью.

Компания TRACO POWER предлагает DC/DC модули большой мощности от 200 Вт до 22 кВт, выполненных в стандарте "Евромеханика" 3U и 6U. Разнообразие вариантов входного и выходного напряжений, выходной мощности, большое количество встроенных опций обусловили востребованность данной серии преобразователей при создании систем промышленной автоматизации, требующих для своей работы не стандартных источников питания большой мощности.

Диапазон входного напряжения от 10 до 800 В Диапазон выходного напряжения от 5 до 400 В Исполнения: для монтажа в стойку (rack mount), на стену (wall mount), на DIN-рейку и на шасси.

Опции: ограничение пускового тока, мониторинг входного и выходного напряжений, баланс выходных токов параллельной работы двух и более модулей и т.п., выдача сигналов аварии сети сухой парой и т.п.

Характеристики преобразователей серии TSC 3899 приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Характеристики преобразователей TSC 3899.

Тип входного напряжения	Переменное
Диапазон входного напряжения, В	93...138
Выходное напряжение, В	48
Максимальный выходной ток, А	90
Максимальная выходная мощность, Вт	4000

2.10 Контроллер

В качестве контроллера может выступить ПЛК (программируемый логический контроллер) с набором датчиков для контроля мгновенной мощности и внешним интерфейсом для информационного обмена с инвертором.

ПЛК100 контроллер для малых систем автоматизации с DI/DO компании “ОВЕН” имеет все необходимое для использования его в качестве контроллера в системе управления каскадом мини-ГЭС [15].



Рисунок 2.20 – ПЛК100 “ОВЕН”

ГЛАВА 3. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАСКАДА МИНИ-ГЭС И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕГО РАБОТЫ

3.1 Составление элементов математической модели

Для оценки работы составляемого алгоритма необходимо проверить его работу на математической модели. Модель составим при помощи программного пакета Matlab Simulink.

Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход* при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени [16].

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду MATLAB, что позволят использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

Для упрощения моделирования работы системы, математическая модель будет оперировать только мощностями, без симуляции всех физических процессов, происходящих в каждом элементе системы. Этого будет достаточно для проведения симуляции и анализа полученных данных.

3.1.1. Моделирование потребителя.

С помощью блока “Signal Builder”, который позволяет задать входной сигнал в виде графика, будем задавать зависимость потребляемой мощности от времени. В связи с тем, что проводить симуляцию в реальном времени неудобно, примем за 1 час реального времени 1 секунду времени симуляции. По оси Y отражается потребляемая мощность в кВт.

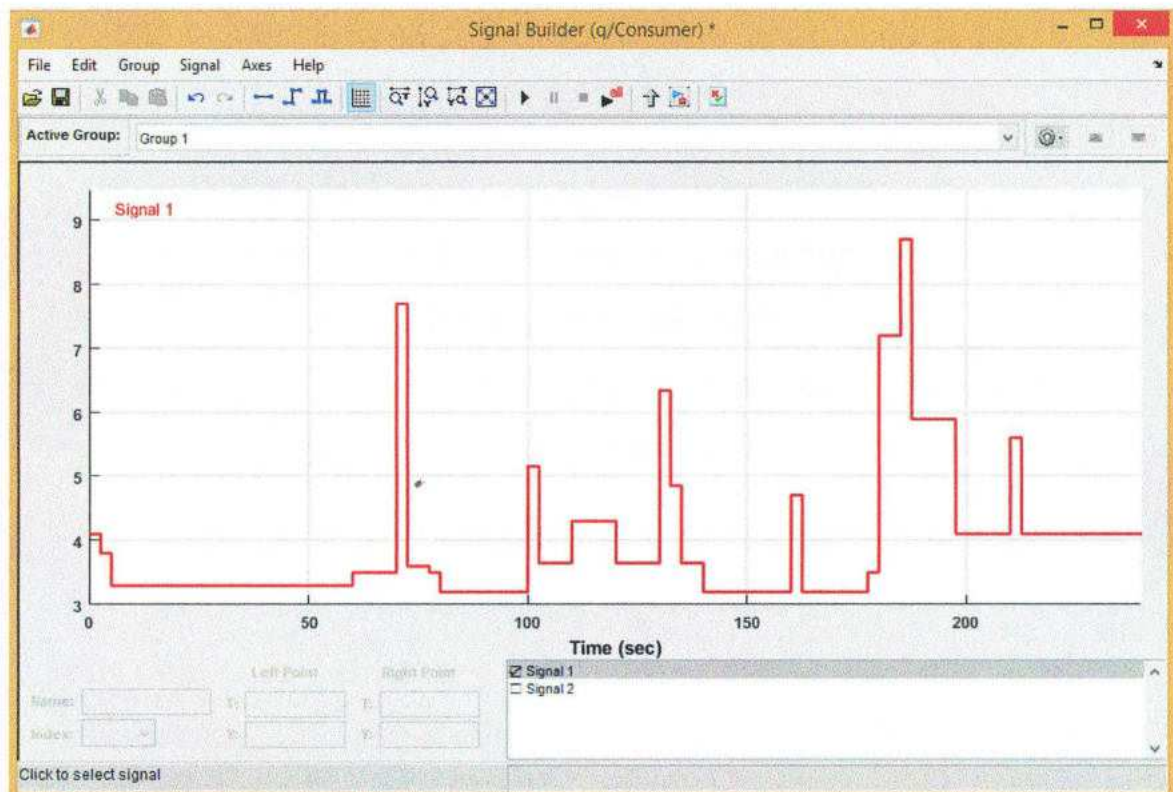


Рисунок 3.1 – Моделирование потребителя с помощью блока “Signal builder”

3.1.2 Моделирование скорости течения водного потока и генерируемой мощности мини ГЭС.

В связи с тем, что скорость течения реки в течении дня остается постоянной, мощность, генерируемая каждой мини-ГЭС, будет величиной постоянной. Но, если рассматривать разные времена года, скорость течения

реки будет изменяться и в соответствии со скоростной характеристикой выбранного генератора, будет изменяться вырабатываемая мощность.

Скорость течения реки задается блоком Constant.



Рисунок 3.2 – Экспериментальная модель модель мини ГЭС, где V – скорость течения реки, м/с; P_n – номинальная генерируемая мощность мини-ГЭС, кВт; K_1, K_2 – коэффициенты линейной зависимости генерируемой мощности от скорости течения реки, зависящие от скоростной характеристики генератора мини-ГЭС

3.1.3 Моделирование аккумуляторной батареи.

Произведем моделирование батареи аккумуляторов. Для упрощения моделирования будем считать сборку аккумуляторов единым устройством. Так как при построении математической модели основной величиной приняли мощность, то будем переводить емкость аккумуляторов из стандартной размерности $A \cdot ч$ в $Вт \cdot ч$: $W = U_{бат} \cdot C_{бат} \cdot n$

Входными параметрами для блока являются: мощность, отдаваемая от батареи в сеть (мощность, потребляемая батареей при зарядке), а также емкость, номинальное напряжение и количество блоков.

Выходным параметром является процент заряда батареи.

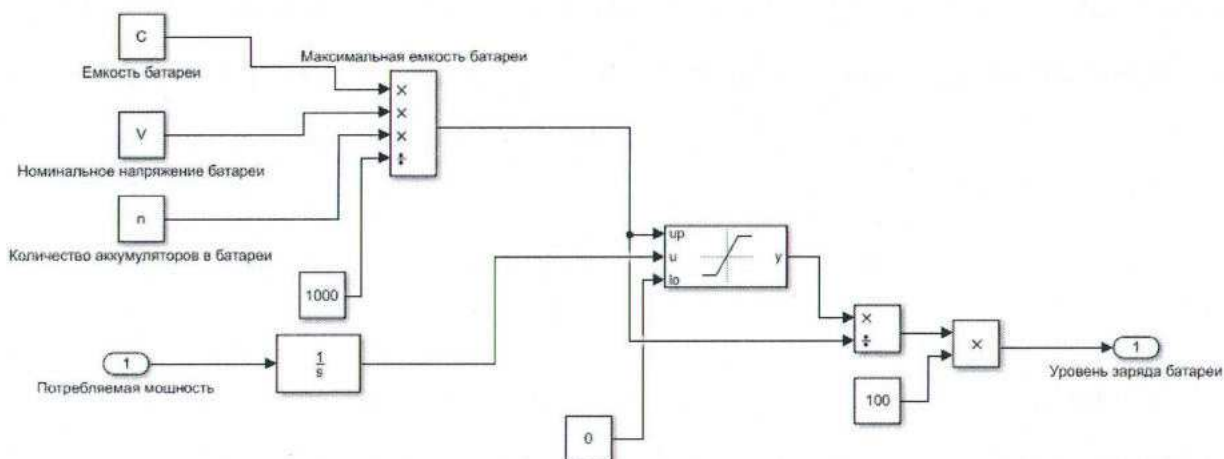


Рисунок 3.3 – Математическая модель аккумуляторной батареи

Блок “Saturation Dynamic” устанавливает максимальную емкость батареи, которая вычисляется по формуле, кВт*ч:

$$C = \frac{C_1 * U_{\text{ном блока}} * n_б}{1000}, \quad (4.1)$$

где C_1 - емкость одного блока АКБ с $U_{\text{ном}} = 12 \text{ В}$, А*ч;
 $U_{\text{ном блока}}$ – номинальное напряжение блока АКБ, В;
 $n_б$ – количество параллельно подключенных блоков, шт.

3.1.4 Моделирование резервного источника питания.

В качестве резервного источника питания будет использоваться внешняя энергосистема.

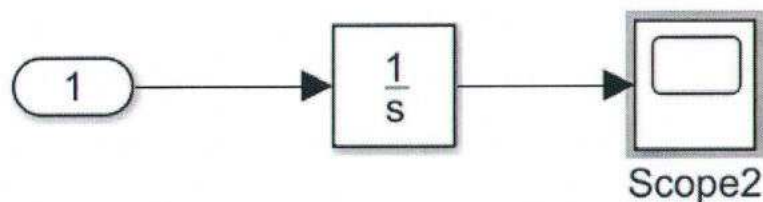


Рисунок 3.4 – Математическая модель внешней энергосистемы

Математическая модель энергосистемы представляет из себя интегратор, который суммирует взятую мощность из внешней энергосистемы и блок Score, для визуализации этой информации.

3.1.5 Контроллер управления каскадом мини-ГЭС.

Большую часть логики работы контроллера будем моделировать с помощью “State Flow”, входящей в состав Matlab. Входными данными контроллера являются: уровни заряда АКБ, мощность, генерируемая каскадом мини-ГЭС, а также мощность, потребляемая нагрузкой.

Структурно, контроллер можно разделить на 4 части.

1 часть отвечает за уровень заряда батарей и запоминает на какой стадии на данный момент находится батарея, разряда или заряда.

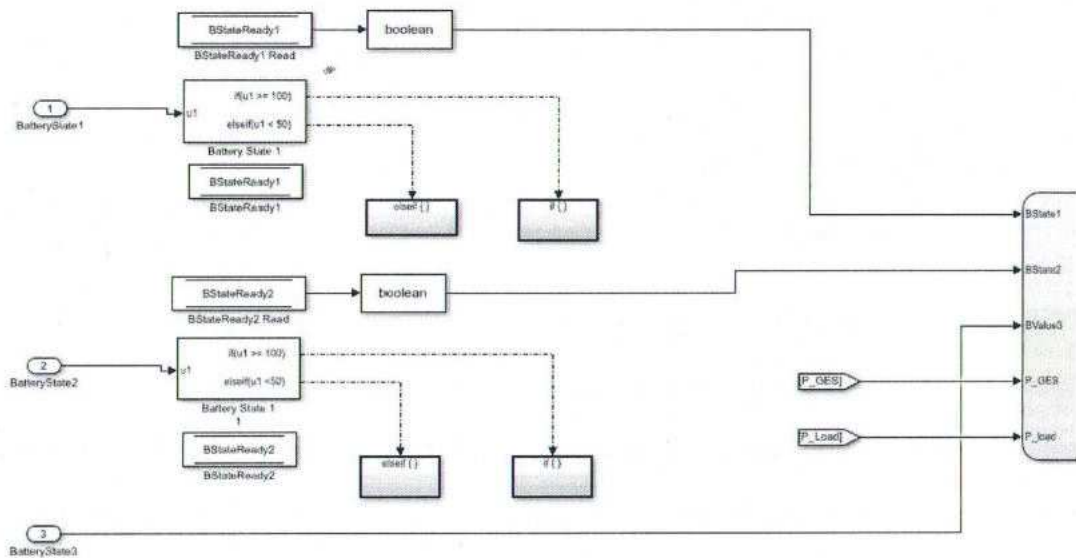


Рисунок 3.5 – Блок схема входных параметров

Процент заряда батареи поступает на блок “If block”, который определяет, разрядилась ли батарея или она полностью заряжена и готова для отдачи запасенной энергии. При выполнении какого-либо условия, выполняется один из блоков “If action subsystem”, который сохраняет в

переменную текущее состояние батареи. После чего сохраненная переменная непосредственно поступает в блок “Chart”.

Уровень заряда литий-ионной группы АКБ не проходит никакой обработки и напрямую поступает в блок “Chart”.

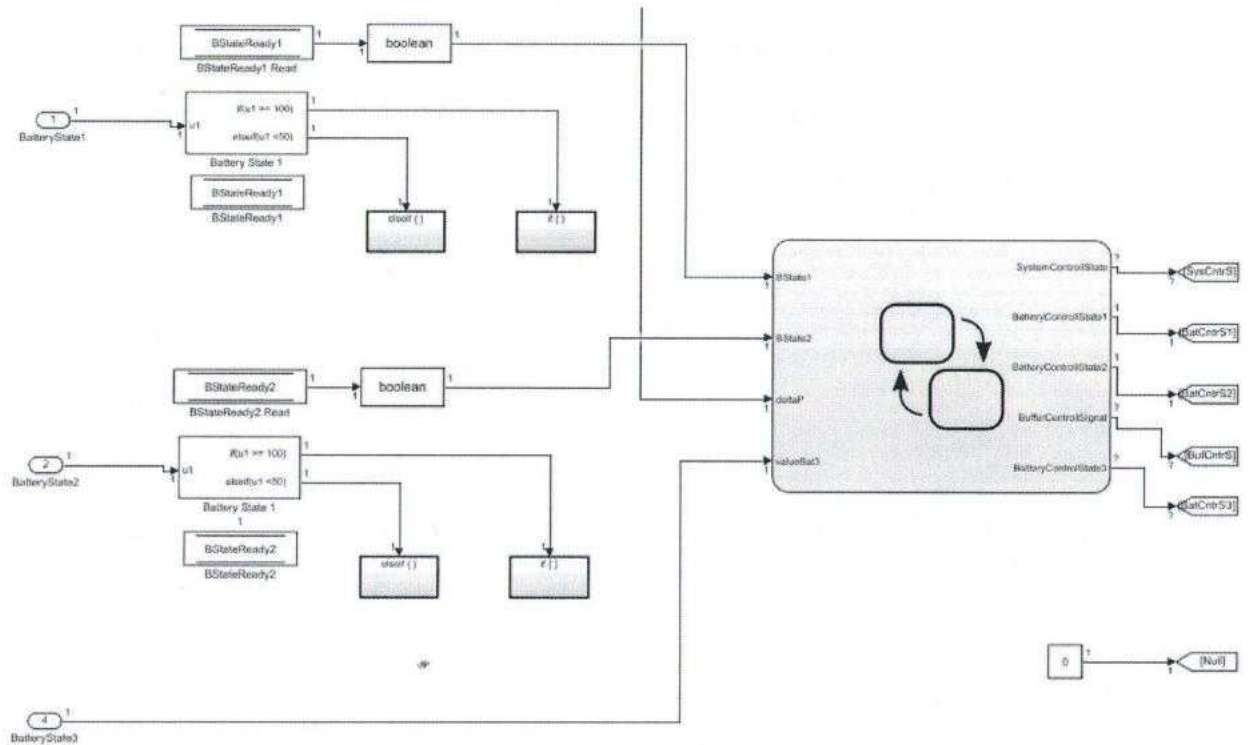


Рисунок 3.6 – Блок схема выходных параметров

2 часть отвечает за подключение батарей к инвертору и ограничение, как мощности при заряде, так мощности, отдаваемой батареями в сеть.

Сигналы управления ключами поступают с блока “Chart” на блоки “Switch”, тем самым имитируя подключения одной из трех групп АКБ к инвертору. Блоком “Saturation Dynamic” ограничивается мощность.

Предел отдаваемой мощности рассчитывается на основании данных, взятых из технических характеристик на каждый вид АКБ, для свинцово-кислотных оптимальный ток разряда составляет от 10% до 20% от общей емкости, для литий-ионных до 300%. Тогда максимальная отдаваемая мощность равна, Вт [17]:

$$P_{\text{макс ск}} = 0,2 * \frac{N_{\text{ск}}}{2} * C_{1 \text{ск}} * U_{\text{АКБ}} = 0,2 * 3 * 200 * 48 = 5760, \quad (4.2)$$

$$P_{\text{макс li-ion}} = 3 * N_{\text{li-ion}} * C_{1 \text{li-ion}} * U_{\text{АКБ}} = 3 * 7 * 60 * 48 = 60480. \quad (4.3)$$

Рекомендуемая мощность заряда, по данным производителя, составляет от 20% до 100% от общей емкости для литий-ионный АКБ, 10% для свинцово-кислотных, Вт:

$$P_{\text{заряда макс ск}} = 0,1 * \frac{N_{\text{ск}}}{2} * C_{1 \text{ск}} * U_{\text{АКБ}} = 0,1 * 3 * 200 * 48 = 2880, \quad (4.4)$$

$$P_{\text{заряда макс li-ion}} = 0,5 * N_{\text{li-ion}} * C_{1 \text{li-ion}} * U_{\text{АКБ}} = 0,5 * 7 * 60 * 48 = 10080. \quad (4.5)$$

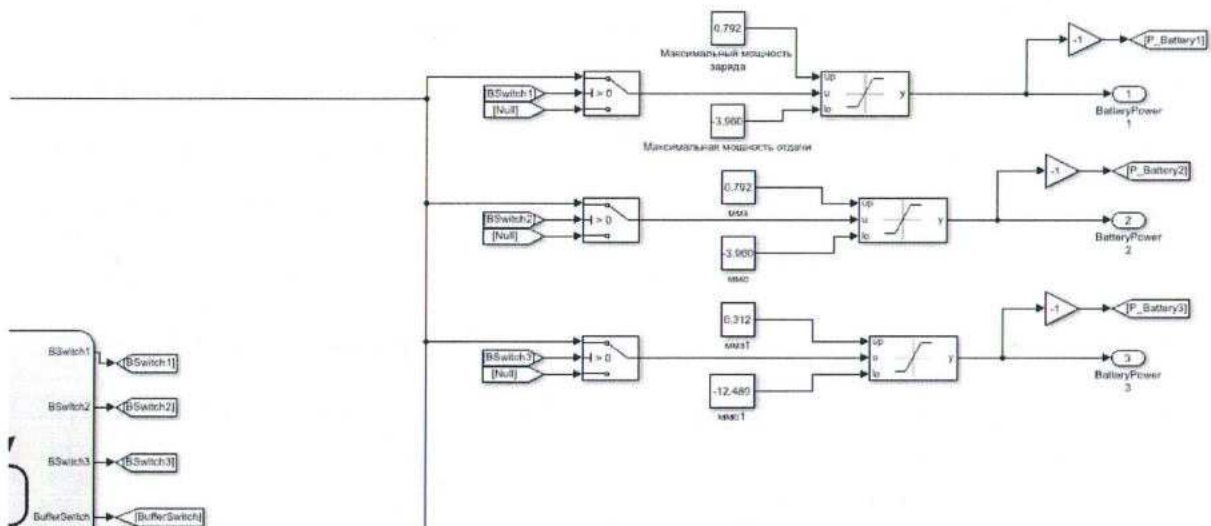


Рисунок 3.7 – Сигналы управления коммутационным оборудованием.

3 часть отвечает за отдачу избыточной мощности в балластную нагрузку и использование мощности из внешней энергосистемы, в случае дефицита мощности.

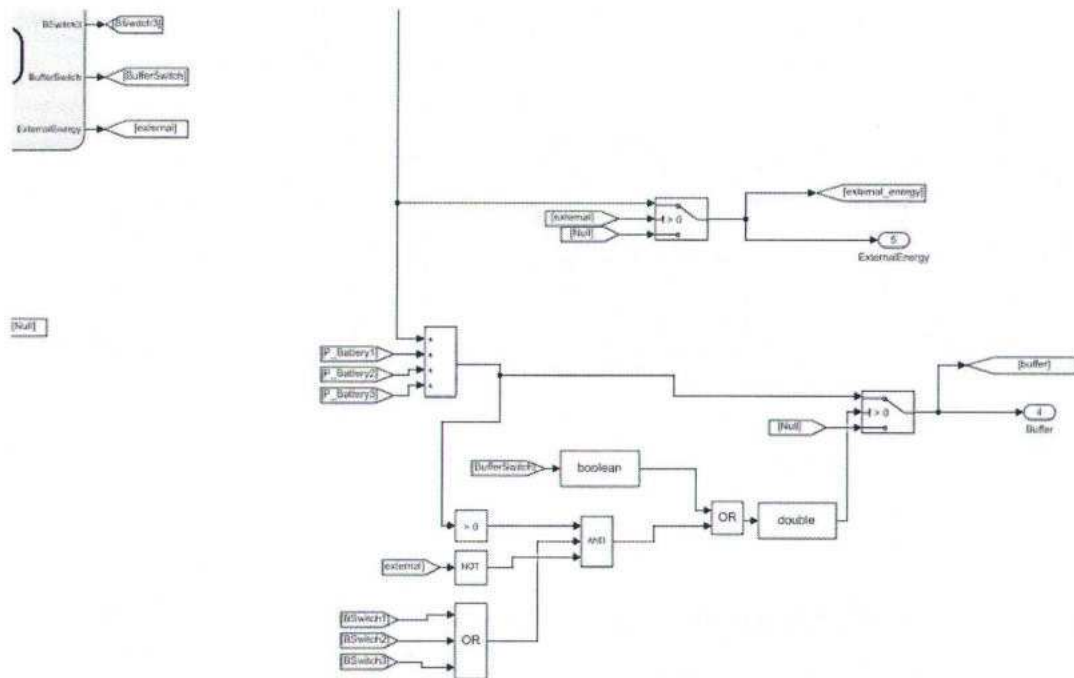


Рисунок 3.8 – Блок логики управления балластной нагрузкой

Часть логики управления балластной нагрузкой реализована отдельно от блока “Chart”.

4 часть реализована одним блоком “Chart”, который отвечает за состояния всей системы. На вход блока поступает информация на какой стадии находятся свинцово-кислотные АКБ, уровень заряда литий-ионной группы АКБ, генерируемая мощность каскадом мини-ГЭС и потребляемая нагрузка.

Выходные параметры блока отвечают за состояние коммутационного оборудования системы.

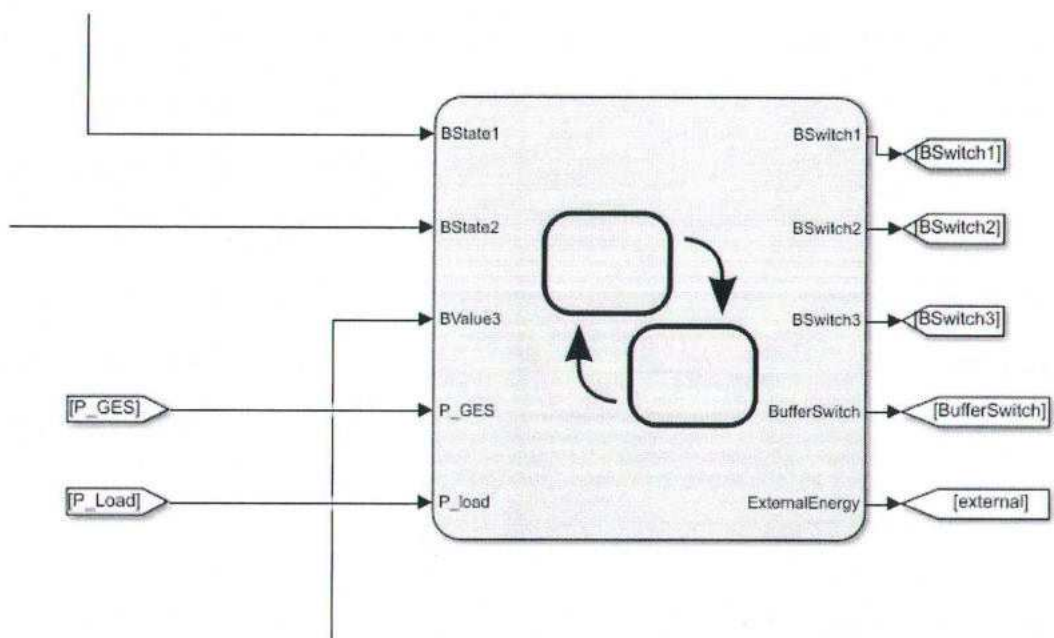


Рисунок 3.9 – Входные и выходные параметры блока State Flow

3.2 Алгоритм управления каскадом мини-ГЭС

При проектировании алгоритма основными его принципами будут:

- Надежность;
- Экономичность;
- Универсальность.

Надежность работы алгоритма заключается в том, что при любых воздействиях на систему и любых ее состояниях, потребитель должен получать необходимую для него мощность, а так же, в случае возникновения аварийных ситуаций оперативно реагировать на них и не допустить выхода из строя работоспособных элементов системы.

Экономичность заключается в максимально эффективном использовании вырабатываемой электроэнергии от каскада мини-ГЭС. Это значит, что вся энергия должна либо отдаваться потребителю, либо запасаться где то, чтобы позже ее можно было использовать.

Универсальность позволит уменьшить затраты на изменения в схеме электроснабжения или использования данного алгоритма в условиях в

отличных от тех, для которых он разрабатывался. Для обеспечения универсальности, для каждого модуля, по мимо графика нагрузки выбранного объекта, будут смоделированы дополнительные тесты, чтобы проверить правильность работы алгоритма.

Построение алгоритма будет основано на модулях. Каждый модуль будет отвечать за один из элементов схемы электроснабжения, как показано на рисунке 3.10.

На первом этапе проектирования алгоритма выделим следующие модули:

- Модуль управления зарядом АКБ. Данный модуль будет следить за уровнем заряда батарей и при наличии разряженных будет их заряжать.

- Модуль управления разрядом АКБ. Данный модуль будет следить за возможностью отдать запасенную энергию батареями, если не хватает мощности, вырабатываемой генераторами.

- Модуль управления резервным источником питания. Данный модуль отвечает за своевременное использование резервного источника питания, когда АКБ разряжены, а мощности, вырабатываемой генератором недостаточно.

- Модуль управления балластной нагрузкой. В связи с тем, что при работе данной системы, в определенное время будут появляться излишки электроэнергии. Чтобы их использовать мы добавим балластную нагрузку и соответственно модуль, который будет следить за ее работой.

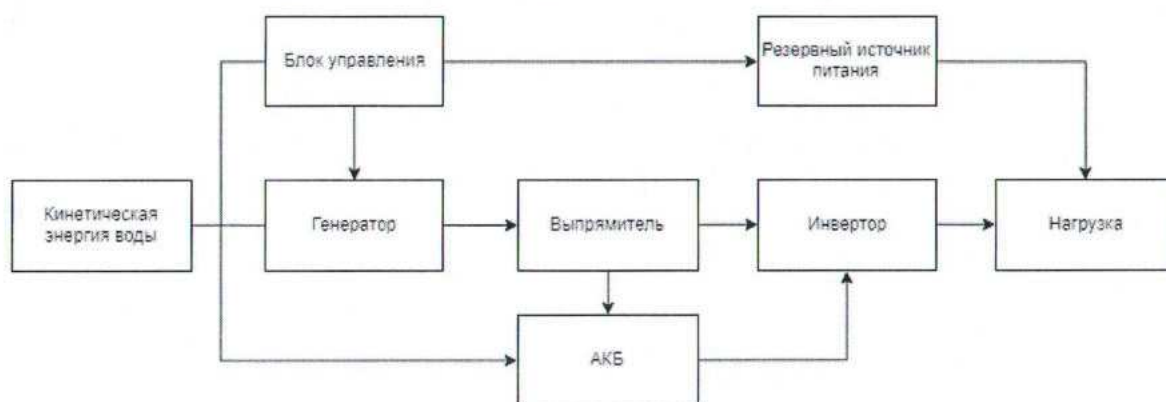


Рисунок 3.10 – Модель системы электроснабжения

3.2.1 Модуль управления зарядом АКБ

При проектировании данного модуля, примем во внимание то, что все аккумуляторы можно разделить на две группы: работающие в циклическом режиме и работающие в буферном режиме. Это очень важно делать, так как если эксплуатировать аккумулятор не в том режиме, для которого он рассчитан, то его срок службы резко уменьшается, что в свою очередь плохо влияет на экономичность системы.

- Работа в циклическом режиме подразумевает, что АКБ должна проходить полные циклы разряда/заряда. На практике, при использовании данного типа аккумуляторов в системе, может возникнуть ситуация, когда все группы разряжены и они не смогут отдавать энергию пока полностью не зарядятся. Поэтому до момента полного заряда одной из групп, электроэнергия, необходимая для устранения небаланса, будет браться из резервных источников. Для решения данной проблемы необходимо добавить группу АКБ, работающих в буферном режиме.

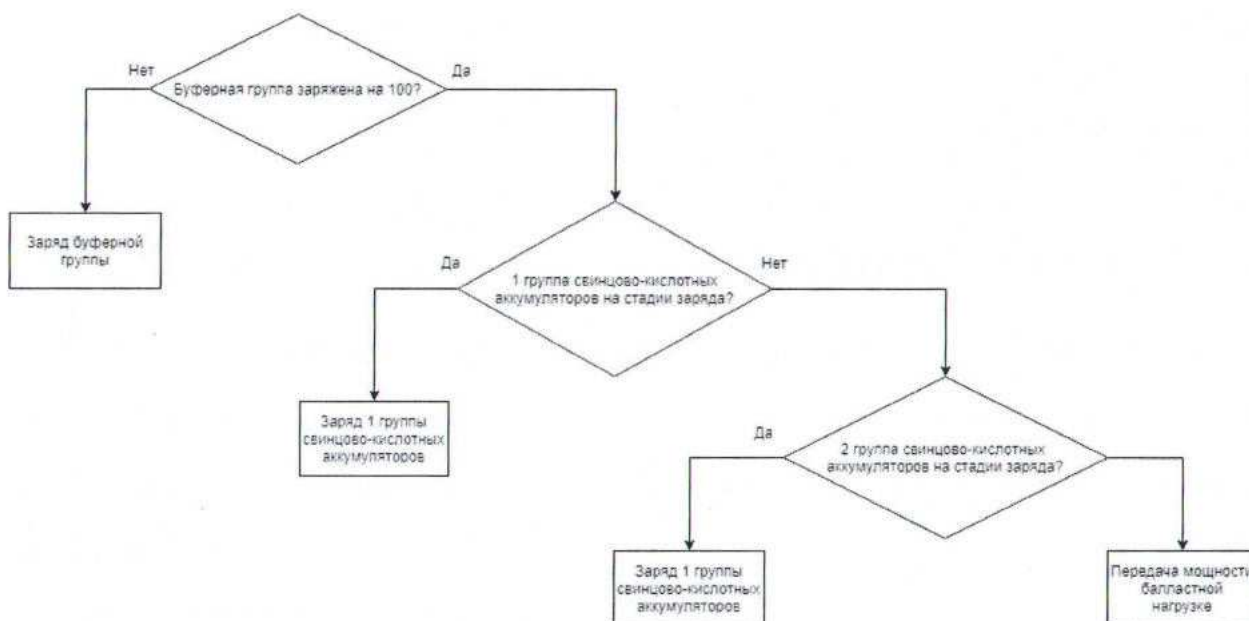


Рисунок 3.11 – Блок схема модуля контроля заряда АКБ

Работа алгоритма начинается с проверки небаланса. Если имеется дефицит мощности, то управление передается модулю управления контролем разряда АКБ, иначе идет проверка, заряжена ли группа, работающая в буферном режиме. Эта группа должна заряжаться в первую очередь, так как при разряда она разряжается тоже первой. Так же, в данной версии алгоритма проводится проверка у любой группы аккумуляторов, достаточно ли генерируемой мощности для поддержания минимального тока заряда. В случае, если оставшейся мощности не хватает для поддержания минимального тока заряда, либо остальные аккумуляторы уже заряжены, либо все аккумуляторы заряжены, то она уходит на балластную нагрузку.

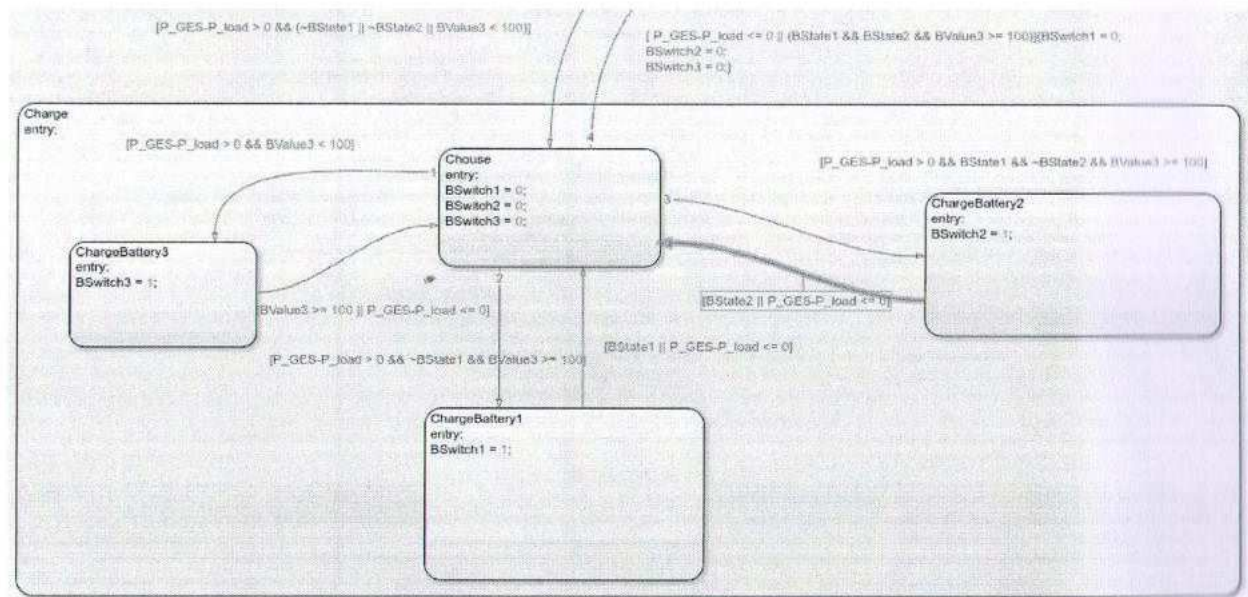


Рисунок 3.12 – Схема State Flow модуля управлением зарядом АКБ

Вход в состояние “Charge” происходит тогда, когда генерируемая мощность от каскада миниГЭС превышает мощность, потребляемую нагрузкой, и, если одна из групп аккумуляторов нуждается в заряде. Выход из данного состояния происходит, когда зарядятся все аккумуляторы, либо если в системе появится дефицит мощности.

3.2.2 Модуль управления разрядом АКБ

При использовании энергии, запасенной в аккумуляторах, в первую очередь нужно учитывать максимально возможный разряд каждой группы батарей. Так как при глубоком разряде уменьшается срок службы батарей, вплоть до полного выхода их из строя.

В первую очередь необходимо разряжать группу батарей, работающих в буферном режиме, так как, если дефицит мощности будет не долгим, то данные АКБ могут сразу начать заряжаться, не дожидаясь полного разряда. Только в случае, когда нехватка мощности будет долгой по времени и емкости буферных батарей недостаточно, можно разряжать циклическую группу.

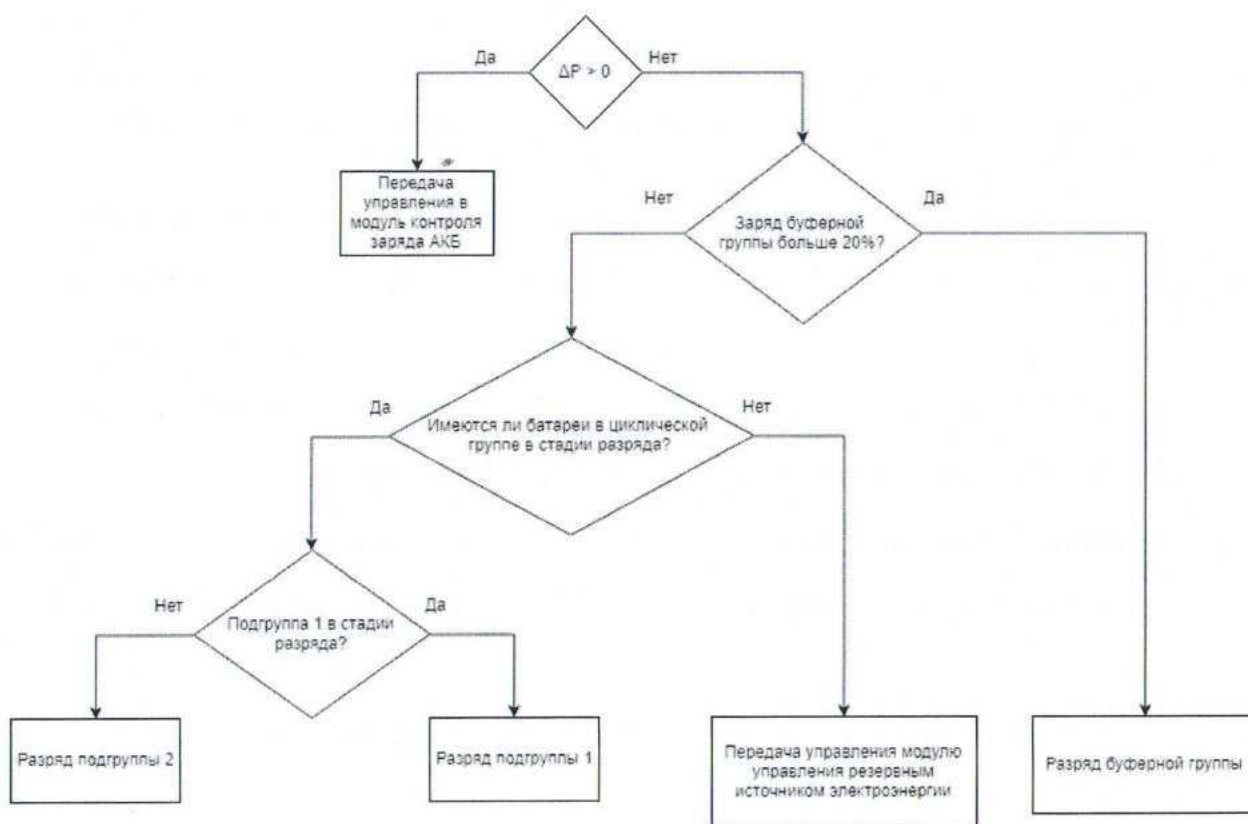


Рисунок 3.13 – Блок схема модуля управления разрядом АКБ

Работа алгоритма очень проста. В начале идет проверка, остался ли необходимый заряд у буферной группы АКБ, если да, то она отдает

запасенную энергию в систему. В случае, если группа разряжена, то начинается разряд циклических подгрупп, при этом, разряд идет последовательно, сначала разряжается одна подгруппа, а потом только вторая. Это повышает эффективность использования АКБ.

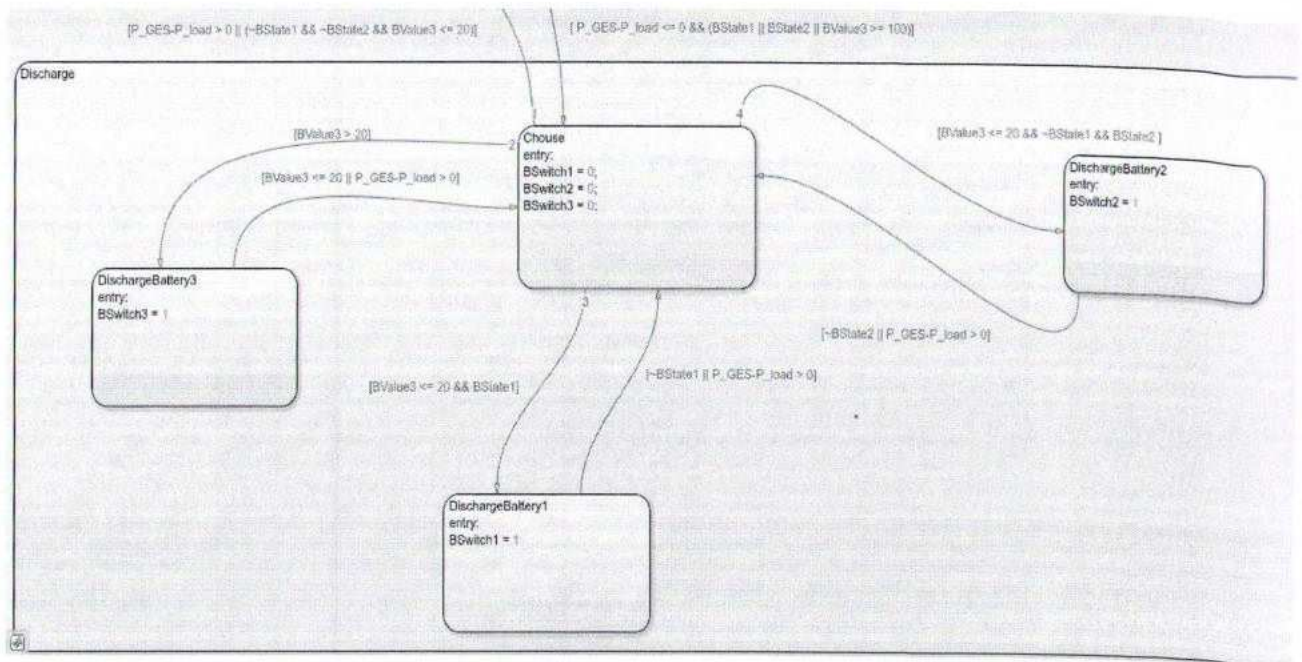


Рисунок 3.14 – Схема управление разрядом аккумуляторных батарей

Разряд аккумуляторов соответственно происходит, когда в системе имеется дефицит мощности и хотя бы одна группа аккумуляторов находится на стадии разряда.

Приоритет использования групп выставлен следующим образом:

1. Если процент заряда литий-ионных АКБ больше 20%, то они начинают разряжаться первыми. Как правило, использование данного типа аккумуляторов первыми позволяет покрыть дефицит мощности в небольшие промежутки времени.

2. Разряд любой заряженной группы свинцово – кислотных АКБ.

Выход из данного состояния происходит, когда мощность, вырабатываемая каскадом мини-ГЭС, будет больше потребляемой мощности, либо при разряде всех доступных групп аккумуляторов.

3.2. 3 Модуль управления резервным источником питания

Для обеспечения надежности системы, в те случаи, когда все группы АКБ разряжены и имеется дефицит генерируемой мощности, необходимо брать электроэнергию из резервного источника. Для это нужен данный модуль. Управление в него переходит из модуля управления разрядом АКБ, когда все батареи разряжены.

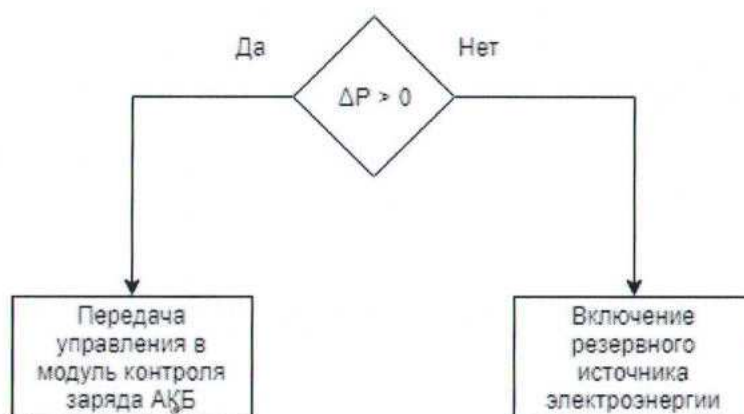


Рисунок 3.15 – Блок схема модуля управления резервным источником питания

Структура данного модуля проста – сигнал о включении внешней энергосистемы в параллельную работу подается только тогда, когда все АКБ разряжены и мощности, вырабатываемой мини-ГЭС недостаточно для покрытия дефицита мощности.

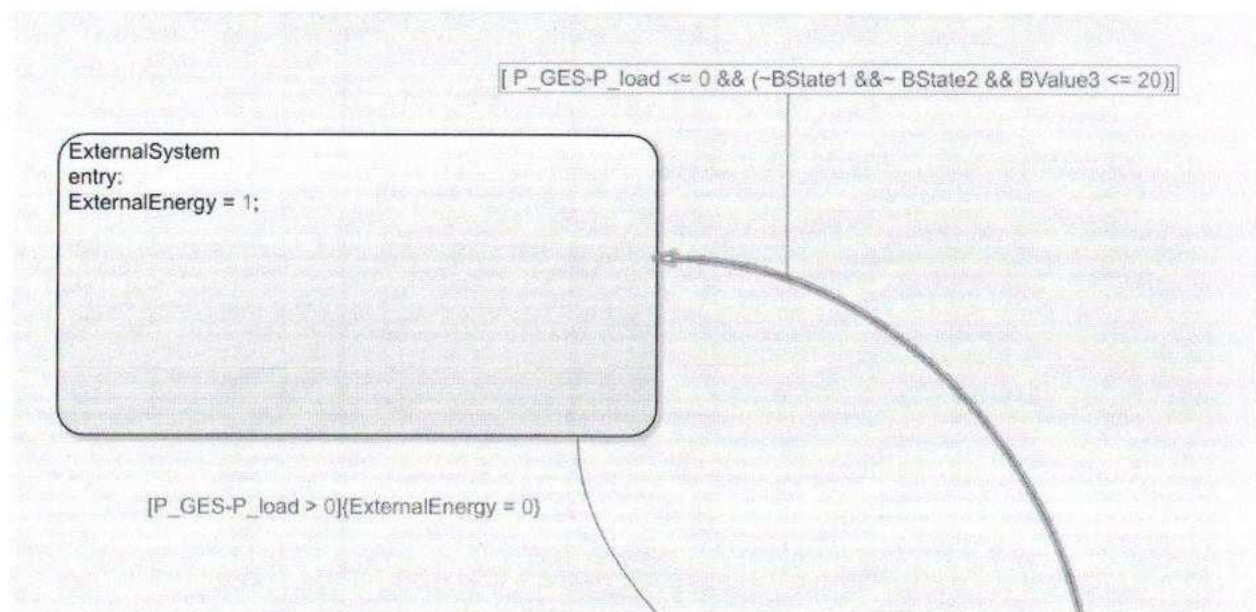


Рисунок 3.16 – Схема State Flow модуля управления резервным источником питания.

3.2.4 Модуль управления балластной нагрузкой

Данный модуль на первоначальном этапе не имеет своей логики, так как при работе других модулей, если будут появляться излишки мощности, то они сразу пойдут на балластную нагрузку.

3.3 Проверка правильности работы экспериментальной модели мини-ГЭС

Проверка правильности работы математической модели во время заряда аккумуляторных батарей проводилась при следующих условиях:

- Все группы аккумуляторных батарей были разряжены;
- Мощность, потребляемая нагрузкой, равна нулю;
- Любое моделирование будет проводится 24 секунды, что будет равно 24 часам реального времени.

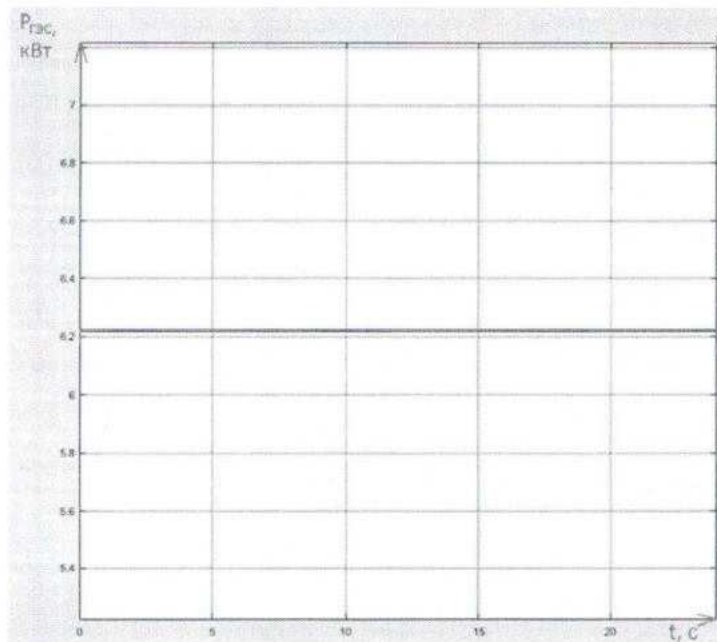


Рисунок 3.17 – Суммарная мощность, генерируемая каскадом мини-ГЭС

На рисунке 3.17 представлен график генерации электроэнергии каскадом.

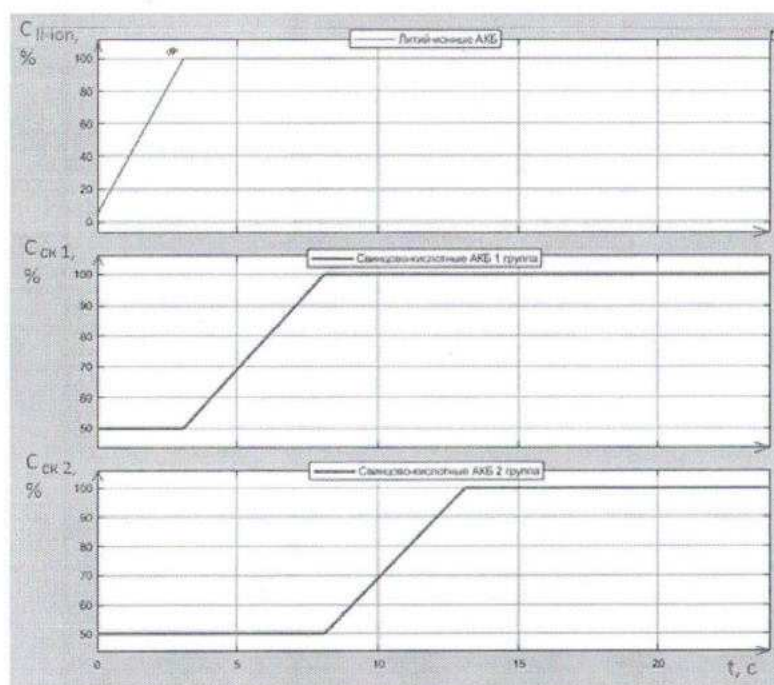


Рисунок 3.18 – Графики зависимости уровней заряда аккумуляторных батарей от времени

Первое, на что стоит обратить внимание это приоритетность заряда АКБ. В первую очередь заряжается Li-ion группа, а во вторую очередь уже свинцово-кислотные, как и было заложено в алгоритме.

Второе – не происходит перезаряда и при полном заряде одной группы, сразу начинает заряжаться другая.

Третье – вся мощность, которая не идет на заряд АКБ уходит в балластную нагрузку. По графикам, изображенным на рисунке 3.20, видно, что при заряде Li-ion группы используется вся генерируемая мощность, в балластную нагрузку ничего не уходит. Для заряда свинцово-кислотных аккумуляторов необходимо меньше мощности, поэтому появляется избыток мощности, который потребляется балластной нагрузкой.

Соответственно, когда все батареи заряжены, вся мощность уходит в балластную нагрузку.

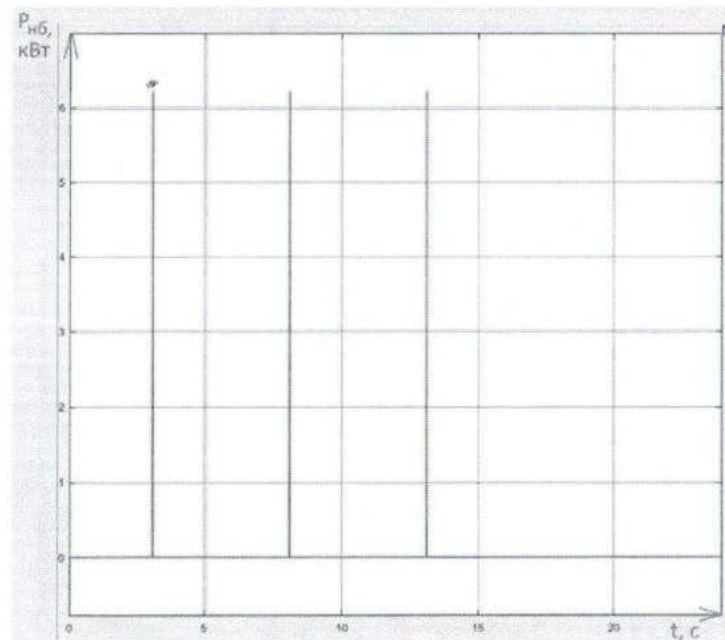


Рисунок 3.19 – Баланс в системе

Баланс в системе отображает график, изображенный на рисунке 3.19. Генерируемая мощность на протяжении всего времени моделирования потребляется полностью.

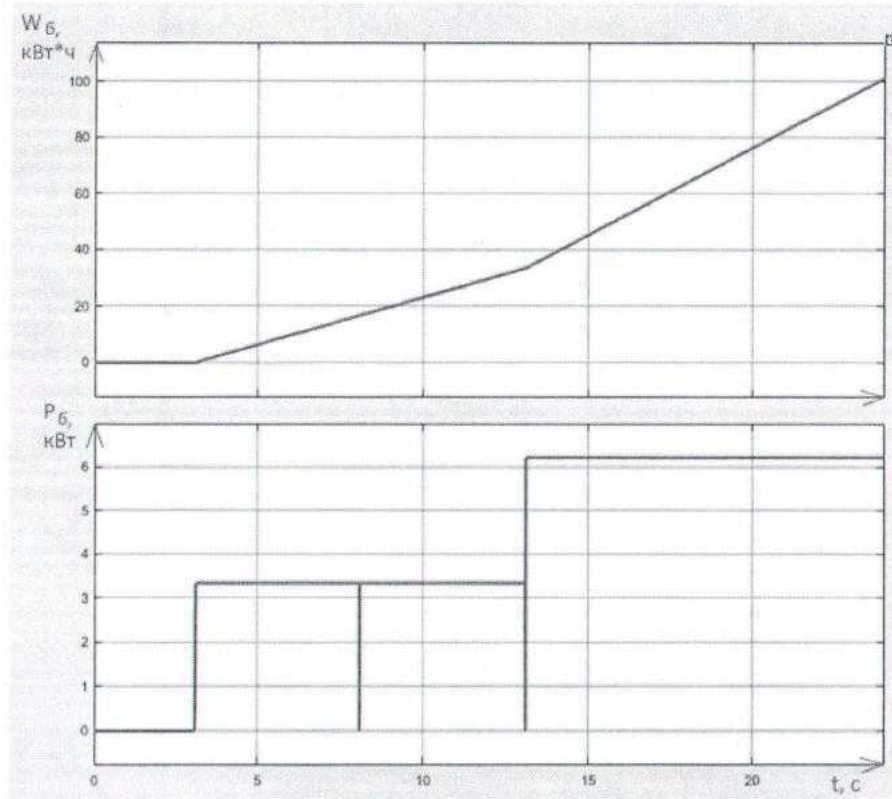


Рисунок 3.20 – Графики суммарного потребления мощности и мгновенной мощности балластной нагрузкой

Мощность, потребленная из внешнего источника электроэнергии за все время моделирования равно 0.

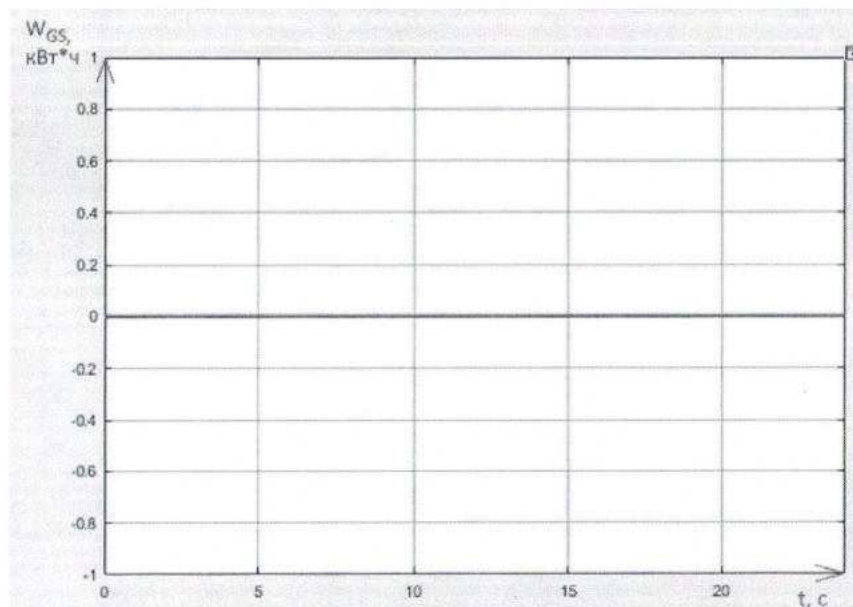


Рисунок 3.21 – Суммарная мощность, поступившая в систему от внешнего источника электроэнергии

При проверке правильности работы математической модели во время разряда аккумуляторных батарей были приняты следующие условия:

- Все группы АКБ были разряжены;
- Избыток генерируемой мощности длился до момента полного заряда двух групп АКБ, после чего был дефицит по мощности;

Из графиков, представленных на рисунке 3.22 видно, что до 13 секунды происходил заряд аккумуляторных батарей. За это время успела зарядиться буферная группа и одна циклическая. Вторая циклическая группа начала заряжаться, но не успела зарядиться.

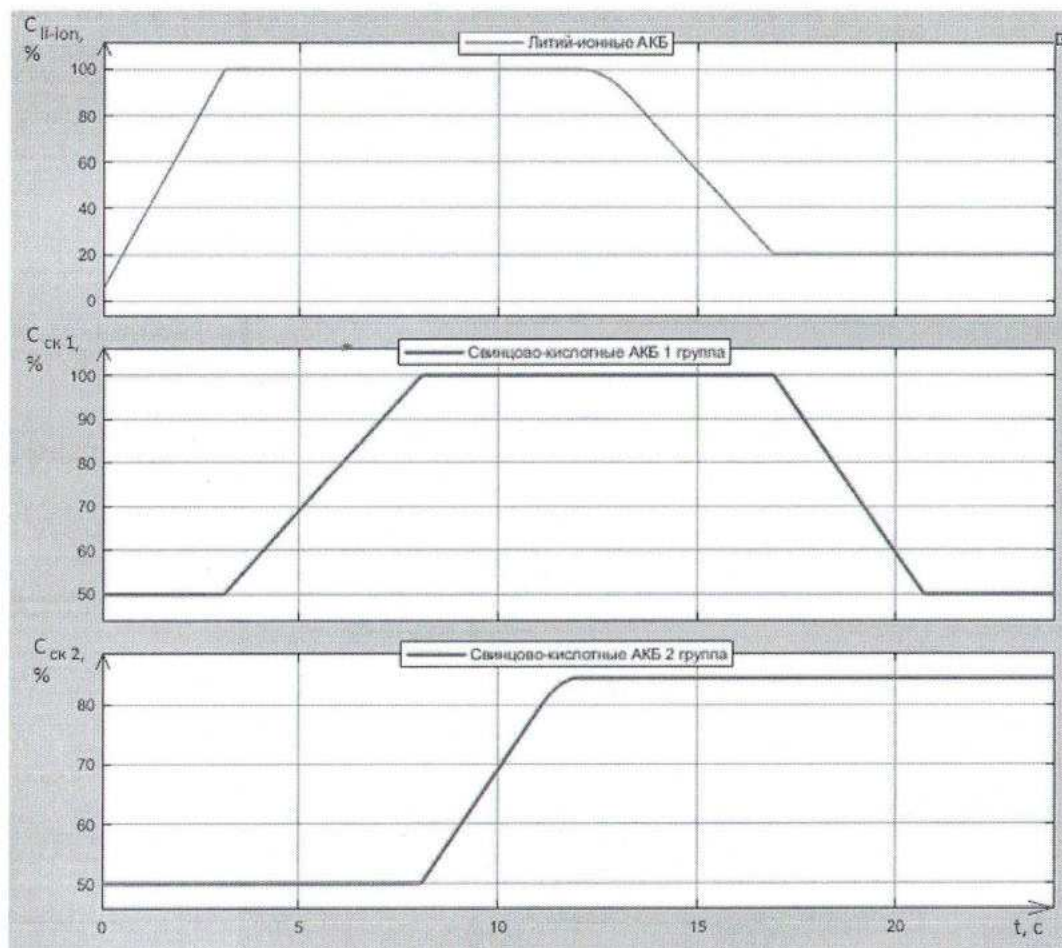


Рисунок 3.22 – Графики зависимости уровней заряда аккумуляторных батарей от времени во время проверки на разряд

При появлении дефицита мощности, можно увидеть, как буферная группа АКБ начинает отдавать запасенную энергии потребителю, чтобы

поддерживать баланс в системе. После того, как первая группа разряжается, начинается разряд второй, циклической группы. После разрядки второй группы, должна начать разряжаться третья, но этого не происходит в связи с тем, что в алгоритме заложено использование циклических групп батарей только после их полной зарядки. Соответственно, вместе разряда третьей группы, необходимая энергия для покрытия небаланса берется из внешнего источника электроэнергии, что можно увидеть на графиках, показанных на рисунке 3.24.

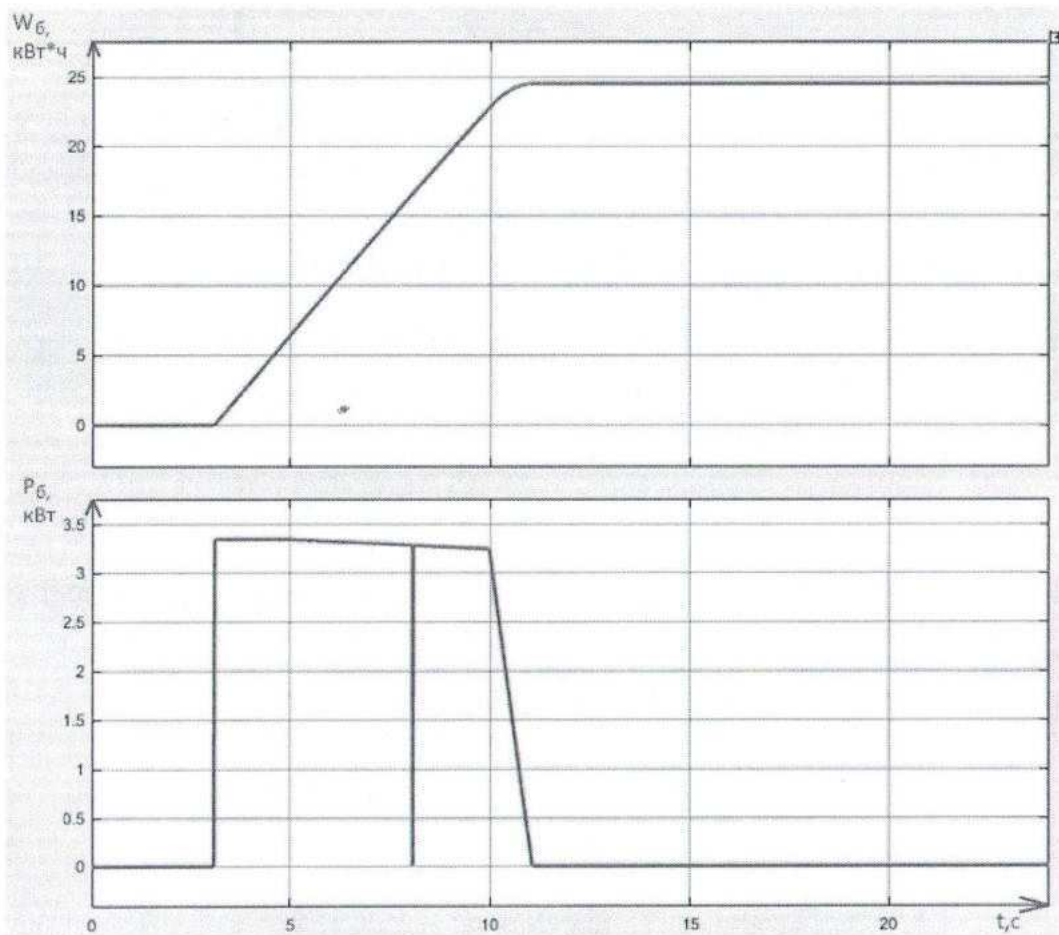


Рисунок 3.23 – Графики суммарного потребления мощности и мгновенной мощности балластной нагрузкой

Балластная нагрузка потребляет мощность, только во время заряда АКБ, когда имеется избыток вырабатываемой мощности. Когда мощности, генерируемой каскадом недостаточно, для покрытия нужд потребителя, мощность, отдаваемая в балластную нагрузку равно нулю.

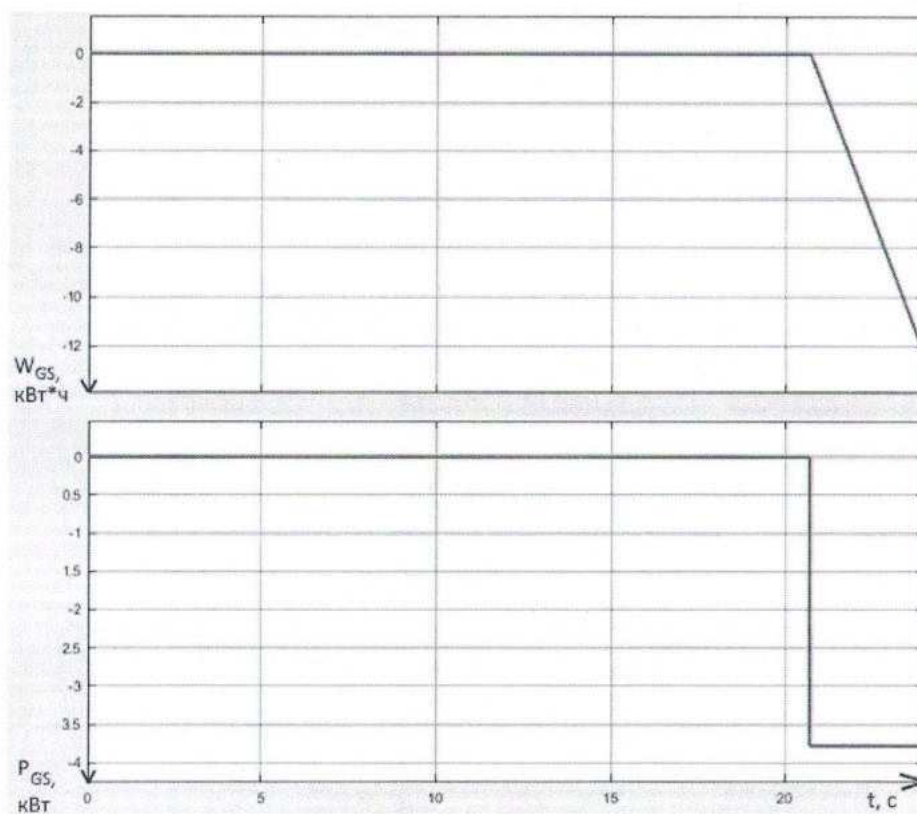


Рисунок 3.24 – Графики суммарного потребления мощности и мгновенной мощности от внешнего источника электроэнергии

3.4 Моделирование работы каскада мини-ГЭС

На основании данных, полученных путем опроса респондентов, был составлен суточный график нагрузки работы электроустановок потребителей в период с мая по октябрь и проведено моделирование работы каскада мини-ГЭС на данную нагрузку.

На протяжении всего времени моделирования, энергии, запасенной в аккумуляторных батареях, было достаточно, для покрытия нужд потребителей. На рисунке 3.25 представлен график уровней заряда аккумуляторных групп.

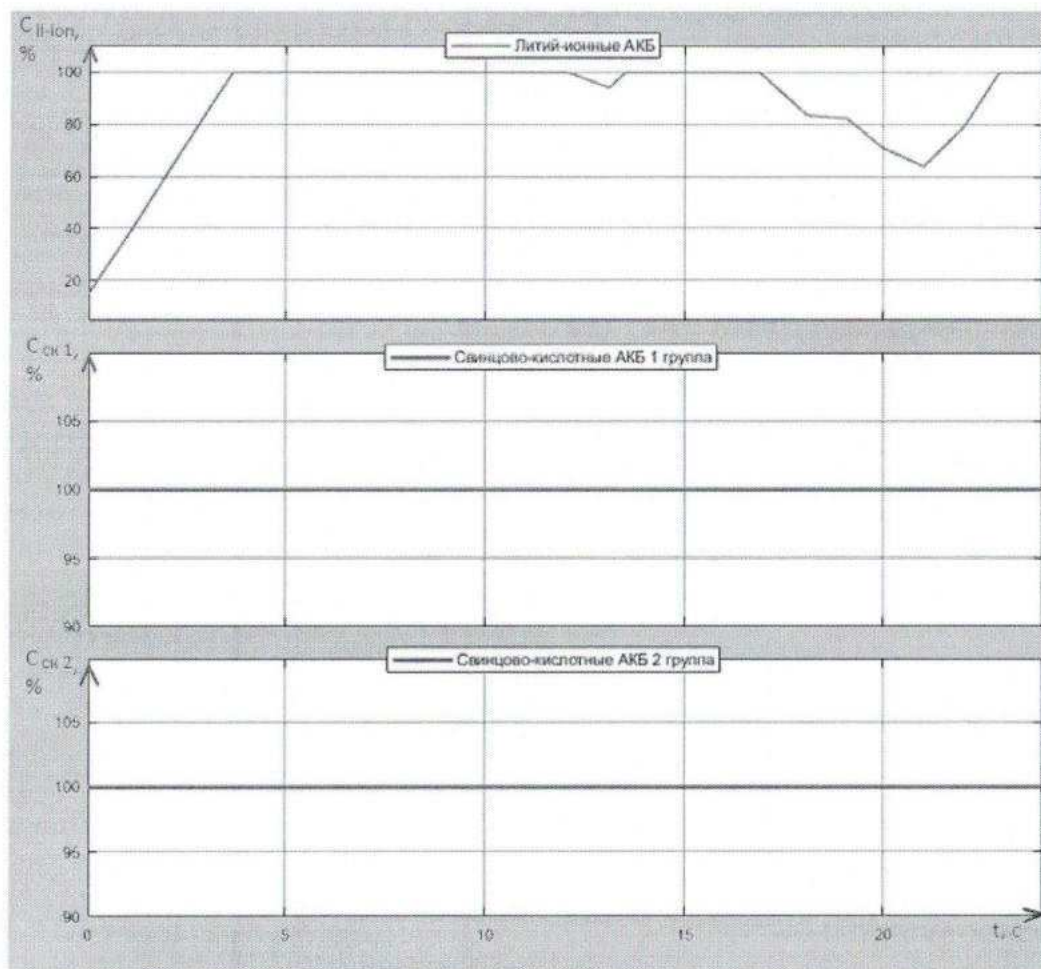


Рисунок 3.25 – Уровни заряда аккумуляторных групп за весь промежуток моделирования

Исходя из полученных данных, можно сделать выводы, что мощности, генерируемой каскадом мини-ГЭС, достаточно для покрытия потребления электроэнергии. Только ближе к 20:00 понадобилась электроэнергия, запасенная аккумуляторами.

Также, анализируя графики, изображенные на рисунке 3.26, видно, что большую часть времени работы каскада, вырабатываемая им мощность уходит в балластную нагрузку.

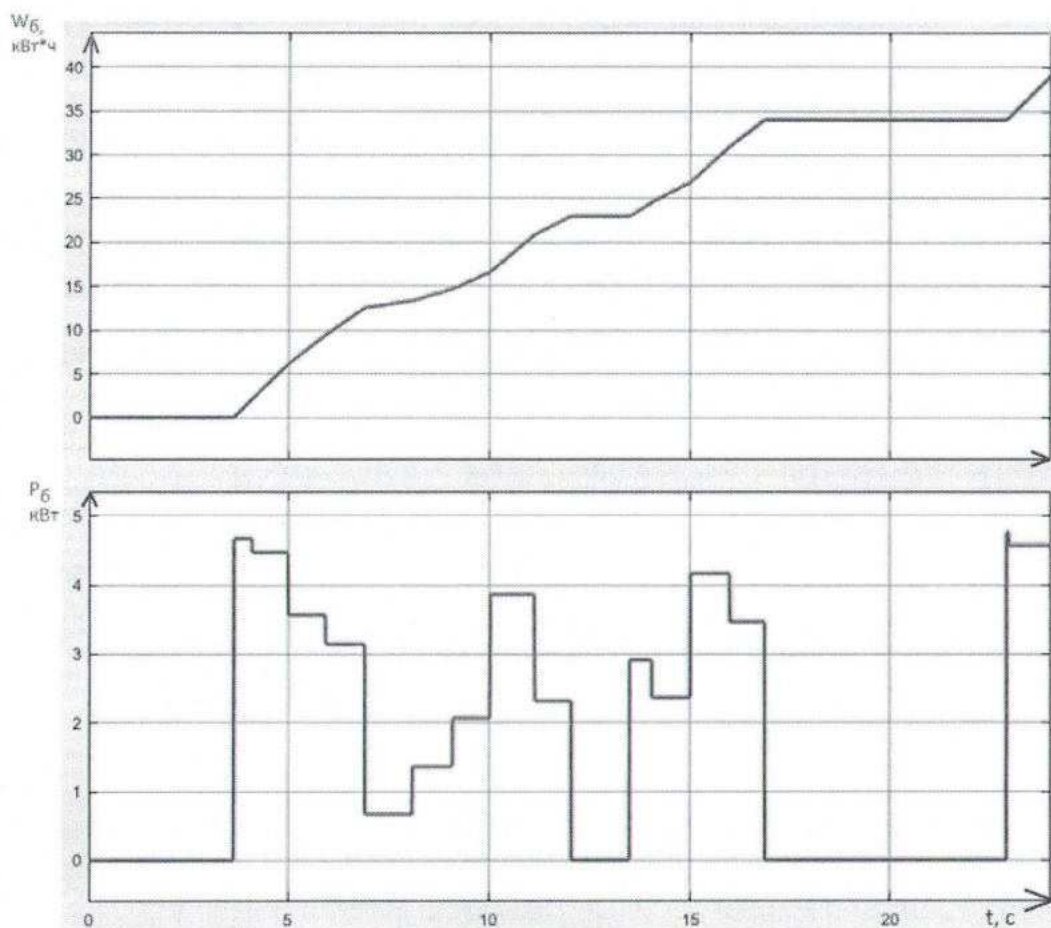


Рисунок 3.26 – Графики суммарного потребления мощности и мгновенной мощности балластной нагрузкой

3.5 Экономический расчет

На основании методических указаний [18] экономический расчет выбранного каскада мини-ГЭС приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Экономический расчет установки каскада мини-ГЭС

Характеристики	Каскад мини-ГЭС
Мощность, Вт	6000
Суммарная стоимость оборудования, тыс. руб	~ 370
Требуемая площадь для работы оборудования, м ²	3
Срок эксплуатации, лет	15

Количество обслуживающего персонала, человек	1
Зарботная плата обслуживающего персонала, тыс. руб./Срок эксплуатации	3600
Обязательные страховые взносы 26%, тыс. руб.	936
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	370
Затраты на содержание помещений, тыс. руб.	0
Водный налог, тыс. руб./Срок эксплуатации	51,84
Общие затраты, тыс. руб	5333,84
Срок окупаемости, лет	14

Большая часть затрат уходит на заработную плату обслуживающего персонала из-за чего срок окупаемости резко возрастает. Так же, на срок окупаемости влияет то, что большая часть выработанной мощности поступает в балластную нагрузку.

ВЫВОДЫ

1. Структурная схема управления каскадом мини-ГЭС, представленная в работе, обеспечивает необходимый уровень надежности и правильный режим работы каскада;

2. Мощность каскада, рассчитанная в данной работе, избыточна. Большая часть генерируемой мощности отдается в балластную нагрузку, что снижает экономические характеристики каскада мини-ГЭС. Для решения данной проблемы, необходимо уменьшить мощность каскада, либо увеличить количество потребителей, подключённых к системе электроснабжения от каскада мини-ГЭС;

3. Использование установки только в летний период эксплуатации негативно сказывается на сроке окупаемости. Необходимо внедрить мини-ГЭС, работающие как в летний, так и в зимний периоды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономаренко А.С. Классификация и перспективы минигидроэлектростанций [Текст] / Пономаренко А.С. // Научный журнал КубГАУ, №89(05), 2013 – 10 с.;
2. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Папдарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанции / Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Папдарова Е.Б. // Томск, 2001. – 104 с.;
3. Затеев В.Б. Введение в специальность гидроэлектроэнергетика: Учеб. пособие. / Затеев В.Б. // Саяногорск: СШФ СФУ, 2007 – 156 с.;
4. Кашина Е.В., Бочарова Е.В. Оценка рыночного потенциала свободнопоточных микроГЭС на территории Красноярского края [Текст] / Кашина Е.В., Бочарова Е.В. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск – 184 – 186 с.;
5. Родионова И.А., Шувалова О.В. Некоторые структурные особенности развития мировой энергетики, основанной на альтернативных возобновляемых источниках энергии / Родионова И.А., Шувалова О.В. // Вестник финансового университета 5 – 2011 – 74-82 с.;
6. Патрашкин Е.А. Разработка алгоритма управления комбинированной ветро-дизельной энергетической установки / ЮУрГУ 2016 – 91 с.;
7. Обухов С.Г. Повышение эффективности комбинированных автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии: автореферат дис. доктора технических наук / Обухов С.Г. // 05.14.02; [Место защиты: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т]. - Томск, 2013. - 41 с.
8. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Регулятор балластной нагрузки автономной микроГЭС [Текст] / Лукутин Б.В., Обухов С.Г. // Журнал “Известия Томского политехнического университета”, Томск, 2004 – 121-126 с.

9. Пивоваров В.А. Проектирование и расчет систем регулирования гидротурбин -Л / Пивоваров В.А. // Машиностроение, 1973 – 273 с.

10. Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций – М / Карелин В.Я., Волшаник В.В. // Энергоатомиздат, 1986. – 199 с.;

11. Лакутин Б.В., Обухов С.Г. Выбор способа регулирования микрогидроэлектростанций с автобалластной нагрузкой / Лакутин Б.В., Обухов С.Г. // Гидротехническое строительство. – 1990. - №7. – С.33-35.;

12. В.В. Иванов Научно-популярная энциклопедия “Вода России” [Сайт], режим доступа - https://water-rf.ru/Водные_объекты/1061/Большой_Пит;

13. Электрогенераторы ВИНДЭК для ветряков и микро ГЭС [Сайт], режим доступа - http://rosinmn.ru/ELEKTRO_alternator_windec.htm;

14. Официальный сайт МАП ЭНЕРГИЯ [Сайт], режим доступа - http://www.invertor.ru/zzz/item/map_dominator_24_6;

15. ПЛК100 контроллер для малых систем автоматизации с DI/DO [Сайт], режим доступа - <https://www.owen.ru/product/plk100>;

16. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. –М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

17. Садовников А. В., Макарчук В. В. Литий-ионные аккумуляторы // Молодой ученый. — 2016. — №23. — С. 84-89;

18. Сысоева М.С., Пахомов М.А. Методические указания по технико-экономическому обоснованию использования возобновляемых источников энергии [Текст] / Социально-экономические явления и процессы, №3-4(025-026), 2011 - 270 – 274 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Квартира	Потребление электроэнергии за месяц, кВт*ч											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	199	194	145	135	134	106	105	117	130	134	141	196
2	250	247	207	188	186	164	162	169	176	182	196	238
3	207	200	152	142	140	103	101	109	120	127	134	185
4	206	202	164	154	153	129	127	138	147	152	167	221
5	246	240	199	191	190	163	162	176	188	192	200	231
6	212	206	167	161	159	129	128	140	148	153	162	205
7	225	222	191	178	174	137	136	150	165	171	180	214
8	204	197	150	132	130	105	104	123	131	135	139	179
9	263	257	205	185	184	154	153	163	171	177	194	230
10	223	220	187	167	163	130	129	136	150	154	173	203
11	201	195	146	135	132	111	110	120	126	129	142	171
12	253	250	217	208	204	164	162	169	180	184	190	232
13	238	234	182	166	165	129	128	136	142	145	163	209
14	208	201	163	144	143	110	109	119	130	133	142	171
15	242	235	190	182	178	157	155	164	173	176	194	218
16	250	244	195	185	184	144	142	150	156	163	181	206
17	228	223	177	165	164	129	127	137	151	155	161	221
18	234	230	181	174	171	131	130	136	146	151	169	188
19	219	212	181	167	163	132	130	138	153	156	174	197

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Электротехнические комплексы и системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой



В.И. Пантелеев
«08» июля 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка структурной схемы управления режимами работы каскадных
миниГЭС

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.05 – Электроприводы и системы управления электроприводов

Научный руководитель

 05.07.19
подпись, дата

канд. техн. наук,
должность, ученая степень

К.С. Федий
инициалы, фамилия

Выпускник

 05.07.19
подпись, дата

А.К. Цулая
инициалы, фамилия

Нормоконтроль

 05.07.19
подпись, дата

канд. техн. наук,
должность, ученая степень

К.С. Федий
инициалы, фамилия

Красноярск 2019