

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова  
(подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Система управления гибридного ветро-солнечного энергокомплекса

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Коробатов Д.В.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

Автор  
Студент группы П-478

\_\_\_\_\_ Ястребов А.А.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Аверина Н.Ю.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019



4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Обзор состояния и перспективы развития гибридных энергокомплексов

1.1 Малая энергетика

1.2 Гибридный энергокомплекс (ГЭК)

1.3 Структура ГЭК и методика обоснования его параметров

2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Понятие системы управления

2.2 Требования к системе управления

2.3 Промышленные интерфейсы

2.5 Выбор интерфейса

2.6 RS-485 – самый популярный промышленный интерфейс

2.6.1 Проблемы, связанные с использованием последовательного интерфейса в промышленной среде

2.7 Защита систем передачи данных от неблагоприятных внешних воздействий

2.7.1 Усиленная защита от ЭСР

2.7.2 Защита от перенапряжений

2.7.3 Устойчивость приемников к неопределенным состояниям линии

2.7.4 Возможность «горячей» замены

2.8 Контроллер

2.9 Импульсное регулирование мощности

2.9.1 Регулирование рабочей точки СБ

2.9.2 Регулирование рабочей точки ВЭУ

2.10 Поиск точки максимальной мощности СБ

2.10.1 Метод постоянного напряжения (CV)

2.10.2 Метод холостого хода (OV)

2.10.3 Метод короткого замыкания (SC)

2.10.4 Алгоритм возмущения и наблюдения (perturbation and observation – P&O)

2.10.5 Алгоритм возрастающей проводимости (IC)

2.11 Поиск точки максимальной мощности ВЭУ

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ

4 ОХРАНА ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭК

4.1 Факторы риска при эксплуатации системы

4.2 Опасность поражения электрическим током

4.3 Опасность работы на высоте

4.4 Правила техники безопасности при эксплуатации ветроэнергетической станции

4.5 Меры предосторожности при эксплуатации аккумуляторных батарей

4.6 Молниезащита



## АННОТАЦИЯ

Ястребов А.А. Система управления гибридного ветро-солнечного энергокомплекса. г. Челябинска. – Челябинск, ЮУрГУ, ПЗ 2019, 81 с, 30 ил., 1 табл., библиогр. список – 24 наим., 5 прил.

В работе рассмотрены параметры для совершения управления.

Произведен выбор элементов, таких как контроллер, интерфейс. Рассмотрены их характеристики.

Были рассмотрены методы слежения за точкой максимальной мощности для солнечных батарей и ветроэнергетической установки.

Рассмотрены вопросы безопасности и охраны труда.

					<b>130302.2019.276</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Ястребов А.А.			<b>Система управления гибридного ветро-солнечного энергокомплекса</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Коробатов Д.В.					2	81
<i>Реценз.</i>						<b>ЮУрГУ</b>		
<i>Н. Контр.</i>		Аверина Н.Ю.				<b>Кафедра ЭССиСЭ</b>		
<i>Утверд.</i>		Кирпичникова И.М.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	4
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ .....	11
1.1 Малая энергетика .....	12
1.2 Гибридный энергокомплекс (ГЭК) .....	14
1.3 Структура ГЭК и методика обоснования его параметров. ....	19
2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ .....	25
2.1 Понятие системы управления .....	25
2.2 Требования к системе управления .....	29
2.3 Промышленные интерфейсы .....	31
2.5 Выбор интерфейса.....	33
2.6 RS-485 – самый популярный промышленный интерфейс .....	36
2.6.1 Проблемы, связанные с использованием последовательного интерфейса в промышленной среде .....	38
2.7 Защита систем передачи данных от неблагоприятных внешних воздействий	39
2.7.1 Усиленная защита от ЭСР .....	39
2.7.2 Защита от перенапряжений .....	40
2.7.3 Устойчивость приемников к неопределенным состояниям линии...	42
2.7.4 Возможность «горячей» замены .....	42
2.8 Контроллер.....	44
2.9 Импульсное регулирование мощности .....	48
2.9.1 Регулирование рабочей точки СБ.....	50
2.9.2 Регулирование рабочей точки ВЭУ .....	50
2.10 Поиск точки максимальной мощности СБ .....	51
2.10.1 Метод постоянного напряжения (CV).....	52
2.10.2 Метод холостого хода (OV). ....	54
2.10.3 Метод короткого замыкания (SC). ....	55
2.10.4 Алгоритм возмущения и наблюдения (perturbation and observation – P&O). ....	57
2.10.5 Алгоритм возрастающей проводимости (IC). ....	59

2.11 Поиск точки максимальной мощности ВЭУ .....	61
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	62
4 ОХРАНА ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭК.....	67
4.1 Факторы риска при эксплуатации системы.....	67
4.2 Опасность поражения электрическим током .....	68
4.3 Опасность работы на высоте.....	70
4.4 Правила техники безопасности при эксплуатации ветроэнергетической станции .....	71
4.5 Меры предосторожности при эксплуатации аккумуляторных батарей.....	73
4.6 Молниезащита .....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	81



## ВВЕДЕНИЕ

Человечество проживает во взаимосвязанном мире, где наиболее важные энергетические проблемы приобрели всемирный масштаб.

Развитие энергетики взаимосвязано с научно-техническим прогрессом человечества, который ведет не только к подъему уровню жизни людей, но и к воздействию на окружающую среду. К важнейшим глобальным проблемам относят:

- Обеспечение человечества продовольствием
- Обеспечение потребностей человека в энергии
- Охрана окружающей среды, включая здоровье человека от антропогенного воздействия технического прогресса

Человечество превысило предел возможностей энергетики, позволяющей не засорять окружающую среду и начало разрушать биосферу. Демографическая возможность Земли — содержать 0,5-1,5 млрд. человек. На 2019 год население превысило 7 млрд. человек.

Потребление энергии — один из важнейших факторов развития уровня жизни. За последние 140 лет потребление энергии выросло в 20 раз. Это способствовало росту экологических проблем, таких как парниковый эффект, необратимое изменение климата.

Давайте разберем, что такое энергия. Согласно современным знаниям, энергия — это количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи, которая не может возникнуть из ничего, и не может исчезнуть, а только перейти из одной формы в другую благодаря закону сохранения энергии.

Энергия может проявляться в разных формах: кинетическая, потенциальная, химическая, электрическая и др.

Помимо разных форм, энергию можно отнести к возобновляемым и невозобновляемым источникам энергии.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		7

Невозобновляемые ресурсы — такой вид ресурсов, запасы которых не могут восстанавливаться, или восстанавливаются за длительный промежуток времени (тысячи лет).

Возобновляемые ресурсы — вид ресурсов, запасы которых либо восстанавливаются быстрее, чем используются, либо не зависят от того, используются или нет.

К невозобновляемым ресурсам относятся каменный уголь, нефть, природный газ. Человечество использует их больше сотни лет, и большинство известных залежей уже опустошены.

Невозобновляемых ресурсов становится все меньше и человечеству необходимо задуматься о получении энергии другим путем. Конечность ископаемых видов топлива вместе с повышением потребностей человека в обеспечении энергией привели к надобности развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Именно поэтому многие страны начали переходить к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ).

Что же относится к возобновляемым источникам энергии? Основной принцип возобновляемой энергии состоит в её извлечении из непрерывно происходящих процессов в окружающей среде и предоставлении для технического применения. Получать энергию можно из природных ресурсов, например из солнечного света, водных потоков, приливов и отливов, ветра и др. Огромным плюсом возобновляемых источников является отсутствие вреда для окружающей среды.

#### Биоэнергетика.

Данная отрасль производит энергию из биотоплива. Производит как электрическую энергию, так и тепловую.

Биотопливо — топливо состоящее из биологического сырья, получаемого при переработки биологических отходов. К простейшим видам биотоплива относят: твердое биотопливо, такое как торф, древесные отходы (кора, щепа и др.);

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		8

жидкое биотопливо, применяемое в основном в двигателях внутреннего сгорания (биоэтанол, биометанол, биодизель и др.); газообразное (биогаз, метан).

#### Энергия ветра.

Энергия ветра является результатом действия солнца. Человек еще в древности использовал ветер для подъема воды и размола зерна.

Сейчас же существуют ветряные электростанции, которые используются для производства электрической энергии из ветра по всему миру. Ветрогенераторы различаются конструкцией. В основном различают горизонтальные и вертикальные конструкции. Ветряки с горизонтальной осью вращения более эффективны, но нуждаются в постоянном наведении на ветер. Ветряки с вертикальной осью вращения просты, не требовательны к направлению ветра или высоте подъема над землей, однако обладают более низкой эффективностью.

#### Энергия Солнца.

Солнечная энергия нам известна в форме радиации и света. Данная энергия управляет климатом и погодой. Контроль солнечной энергии для человеческих целей называют солнечной энергетикой или гелиоэнергетикой.

Получение энергии из солнца происходит несколькими способами:

- Фотовольтаика, то есть получение электроэнергии через фотоэлементы, которые поглощают излучение солнца и преобразуют их
- Гелиотермальная энергетика или нагревание поверхности за счет солнечного излучения для получения тепла

Создание все большего количества разных приборов, машин, предприятий приводит к надобности их обслуживания. Когда несколько элементов объединяются вместе, чтобы сформировать систему для получения желаемого результата, тогда система называется системой управления. Поскольку эта система управляет выводом, это так и называется, система управления. Каждый элемент, подключенный к системе, по-своему влияет на выход.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		9

## Определение системы управления

Система управления — это система устройств или набор устройств, которая управляет, командует, направляет или регулирует поведение других устройств или систем для достижения желаемых результатов. Другими словами, можно сказать, что это система, которая управляет другими, более мелкими системами. По мере того, как человеческая цивилизация день ото дня модернизируется, спрос на автоматизацию соответственно увеличивается. Автоматизация требует управления устройствами.

В последние годы системы управления играли особо важную роль в развитии современных технологий и цивилизации. Практически каждый аспект нашей повседневной жизни, в какой либо степени может зависеть от системы управления. Холодильник, кондиционер, уют, автомобиль — все это системы управления. Эти системы также используются в промышленных процессах для большей производительности. Мы находим системы управления в контроле качества продукции, системы вооружения, транспортных систем, энергосистем, космических технологий, робототехники и многое другое. Принципы теории управления применимы как в инженерной, так и в неинженерной области.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		10

# 1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

Среди основных факторов отставания России в развитии энергетики возобновляемых источников энергии непосредственно стоит отметить высокую необходимость централизации управления производством, транспортом и использованием электрической и тепловой энергии, связанную с этой моделью распределения электроэнергии и мощности в Единой энергетической системе (ЕЭС) России. Эти моменты положены в основу энергетической стратегии России, закона об энергетике и стандартов использования ЕЭС. В централизованной энергетической структуре все источники энергии должны непосредственно обеспечить всем потребителям энергии, в зависимости от категории, гарантированное энергоснабжение. Электростанции без аккумуляторов энергии или не имеющие энергетического ресурса, не могут обеспечить такое энергоснабжение. Но главной особенностью, по которой энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до настоящего времени находятся неконкурентоспособными в ЕЭС России, является наиболее высокая удельная стоимость мощности и вырабатываемой энергии при экономической оценке элементов возобновляемой энергетики методом сравнительной эффективности. Последнее, как не трудно заметить, также зависит от модели использования станций на основе ВИЭ в централизованной энергосистеме. Нетрудно осознать, что с ростом цен на углеводородное и другое ископаемое топливо экономическая эффективность комплексов на основе ВИЭ будет возрастать.

Важным является соблюдение качества электроэнергии и устойчивости режима электроэнергетической системы, снабженной резервом мощности. Для разных систем эта граница, в которую могут «вписываться» энергоустановки ВИЭ, составляет 10–15 %, хотя по оценкам российских специалистов он может быть и большим.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		11

Обозначенные выше проблемы могут быть в значительной степени разрешены в случае, если электроустановки непосредственно на основе ВИЭ будут работать вне границ ЕЭС, не подчиняясь, таким образом, порядкам ее функционирования. Такая возможность в России, бесспорно, имеется, учитывая тот фактор, что более половины площади страны не обладает централизованным энергоснабжением, а в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока экологическая среда ухудшается отходами самостоятельной энергетики на базе дизель-генераторных установок.

Особенно благоприятными объектами для подъема возобновляемой энергетики предоставляются непосредственно малые и распределенные электроэнергетические системы, разработка которых с ноября 2010 г. приобрела статус Технологической платформы.

Впрочем, реальный рост возобновляемой энергетики станет осуществимым тогда, когда все требуемое оборудование для энергоустановок на основе ВИЭ будет изготавливаться на отечественных предприятиях. Исследование возможностей импортозамещения в этой сфере показал, что в ближайшее время непосредственно российскими предприятиями могут быть изучены все элементы энергоустановок, кроме механических мультипликаторов. По этой причине поиск альтернативных решений, позволяющих организовать изготовление оборудования для установок на основе возобновляемой энергетики в России, является важной задачей роста отечественной энергетики и энергомашиностроения [1].

### 1.1 Малая энергетика

Концепция распределенной энергетики базируется на трех основных положениях: учет особенностей спроса на качество и количество электроэнергии местными (локальными) потребителями электроэнергии всех видов; единство энергетического комплекса распределенной энергосистемы – от генерации энергии до её потребления; максимальное снабжение потребностей в первичных ис-

точниках электроэнергии за счет собственных ресурсов территории, как невозобновляемых, так и возобновляемых.

Возрастание малой распределенной энергетики взаимозаменяется дополнением основной теории развития централизованной энергетики, излагаемой как надежное и бесперебойное энергоснабжение неструктурированного эквивалентного потребителя энергии, питающегося от энергетической (тепловой, электрической и др.) сети, соединяющей его с источниками генерации различных видов энергии.

Малая распределенная электроэнергетика используется довольно нечасто. Чтобы применить её необходимо иметь четкое представление о системных свойствах.

Если говорить о системах энергоснабжения, рассматривая их параметры, стоит рассматривать само устройство системы, с её технологическим устройством. Тем самым затрагивая основные элементы.

Энергосистемы включают в свой состав потребителей, непосредственно формирующих потребность в тепловой, механической, электрической и др. видах потребляемой энергии, производителях (генераторах) требуемых видов энергии, средствах доставки энергии потребителю, гибкой системе резервирования поставщиков энергии и эффективном управлении всеми элементами системы.

Важными особенностями малых энергетических систем являются:

- сравнительно небольшое расстояние от места производства энергии до места её потребления, что значительно уменьшает значение потерь по длине линий снабжения (электрических, механических, тепловых, гидравлических, и др.);
- относительно небольшое число потребляющих энергию установок, единичная мощность которых совпадает с установленной мощностью энергосистемы в целом;
- относительно небольшое число генерирующих энергию установок, единичная мощность которых совпадает с установленной мощностью энергоси-

стемы в целом; тесная взаимозависимость режимов работы всех элементов энергосистемы, которые влияют на устойчивость и надежность ее работы.

Параметры генерирующей части системы выбираются исходя из потребностей потребителей, параметры и структура которых не зависят от их энергообеспеченности[1,2].

## 1.2 Гибридный энергокомплекс (ГЭК)

Вследствие отсутствия нормативных определений распределенных и малых энергосистем и их составляющих, будем непосредственно использовать для них понятие гибридный энергетический комплекс, который включает в себя производителей, потребителей и распределителей различных видов энергии, обеспечивающих автономность его функционирования.

Под ГЭК часто подразумевают:

- группировка энергоустановок разного типа, включая установки на основе ВИЭ;
- объединение производителей (генераторов), потребителей и объектов транспортно-коммутационной сети объекта местного значения (“изолированные энергосистемы” или “локальные энергосистемы”).

Отметим следующие системные свойства гибридного комплекса:

- зависимость эффективности эксплуатации генераторов (преобразователей энергии разных типов первичной энергии в электроэнергию и тепловую энергию) от видов потребителей разных видов энергии;
- потребность гибкой взаимосвязи генераторов, эксплуатируемых на разных видах первичной энергии, и потребителей различного вида и назначения при помощи развитой (умной) сети типа micro-grid;
- зависимость параметров генераторов каждого типа от соотношения параметров потребителей и графика поступления энергетических ресурсов, необходимых для балансирования генерации и потребления мощности и энергии элементов ГЭК.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		14



### *Системные свойства элементов ГЭК*

Договоримся, что ГЭК является некой технической системой, непосредственно включающей в себя генераторы энергии разных видов (электрической, тепловой и др.), аккумуляторы энергии, которые хранят в себе запасы энергии, средства отключения, управления (коммутации) и передачи энергии, средства преобразования энергии в вид, который будет пригоден для использования потребителями[3].

#### *Потребители*

Для более подробного и понятного обозначения данной категории разобьем потребителей на несколько типов: потребители энергии (ПЭ), потребители-регуляторы (ПР), потребители гарантированного энергоснабжения (ПГЭ), резервные потребители (РП).

Потребители энергии (ПЭ) помимо простого потребления энергии имеют накопитель энергии (батареи, аккумуляторы).

Потребители-регуляторы (ПР) имеют разные графики энергопотребления для заполнения провалов суточных нагрузок и выравнивания графика потребления электроэнергии.

Потребители гарантийного энергоснабжения (ПГЭ) требующие определенного графика энергопотребления и бесперебойного снабжения необходимого качества энергоснабжения.

Резервные потребители (РП) являются особым видом потребителя, включающегося для вторичного производства энергоресурсов.

#### *Аккумуляторы*

Аккумуляторы служат для хранения произведенной энергии с целью дальнейшего использования этой энергии в моменты, когда непосредственно производимой энергии не хватает для обеспечения работы ГЭК или энергия вообще не производится.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		15

### *Коммуникаторы*

К данному типу приборов относят элементы, которые непосредственно обеспечивают передачу энергии между генераторами, аккумуляторами и потребителями, а также между элементами каждого отдельного блока. Коммуникаторы призваны для объединения цепей передачи всех видов энергии, мониторинга состояния, контроля. С помощью данного устройства можно полностью следить за ГЭК и управлять всеми его элементами.

### *Генераторы*

Генератор энергии представляет собой устройство, которое непосредственно преобразует неэлектрические виды энергии в электрическую энергию. Генераторы создают электрический ток.

В качестве генераторов используются солнечные электростанции, ветроэнергетические установки.

Генераторы имеют определенную структуру и могут рассматриваться как комплекс следующих элементов:

- источники энергии
- накопители энергии
- преобразователи энергии в требуемый потребителю вид

Модель генераторов ГЭК имеет в себе:

- модель поступления энергетических ресурсов
- модель, определяющая и рассчитывающая технический потенциал энергии, то есть количество энергии, получаемое после применения операция технического характера. Сюда можно отнести такие значения, как скорость ветра на высоте установки ветряка, интенсивность солнечного излучения на солнечной батарее
- модель накапливания энергии. К ней относятся аккумуляторы

### *Ресурсные модели*

Модели прихода энергетических ресурсов рассчитываются на основе комплекса наблюдений характерных параметров (скорость ветра на ветроэнергетиче-

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		16

ской станции, интенсивность излучения на солнечной батарее), иначе можно провести расчет на заданном интервале времени.

Модели расчета технического потенциала первичной энергии должны иметь вид алгоритмов пересчета величин, полученных за счет модулей поступления энергетических ресурсов, и вычисляют величины генерирующих установок, соответствующие надлежащим техническим решениям.

Модели должны быть ориентированы на получении доступных параметров об условиях применения расчетных технических средств на территории расположения ГЭК, ограниченные транспортной доступностью территории для спецтехники, которые необходимо использовать при определенных ценностях величин конструкции ГЭК (значительная высота башни ветроустановки требует использования специальной техники).

Модель накопителей первичной энергии имеет зависимость объема накапливаемой энергии от габаритов самого накопителя. Габаритные размеры должны иметь возможность определять внутренние величины накопителя, объединенные с технологией использования накопителя и с его безопасной работой.

#### *Модель аккумуляторов.*

Важным элементом ГЭК и интеллектуальных сетей выступает накопитель энергии (аккумулятор). Чтобы накопить большое количество энергии часто применяются такие аккумуляторы как электрохимические аккумуляторы, инерционные аккумуляторы или маховики, тепловые, пневматические, гидравлические и т.д.

Модели аккумуляторов должны иметь основные характеристики устройств и зависимости, определяющие эти характеристики.

Для инерционных аккумуляторов характерными являются масса, габаритные размеры самого аккумулятора, для маховиков – скорость вращения, для гравитационных накопителей – высота подъема, время сохранения кинетической энергии и удельная энергия.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		17

Модели тепловых аккумуляторов будут иметь характерные параметры, такие как теплоемкость, теплопроводность, габариты аккумулятора, масса, время сохранения теплоты и скорость отдачи теплоты.

Модели гидроаккумуляторов будут иметь характерные параметры, такие как масса аккумулятора, его объем, габариты, напор, пропускная способность и механические свойства водоводов.

Модели пневмоаккумуляторов будут иметь характерные параметры, такие как объем, давление, твердость стенок резервуара, скорость передачи энергии.

Для моделей аккумуляторов за основные параметры можно принять накопленную энергию, потери энергии при хранении, скорость передачи накопленной энергии, а также масса и габариты.

Электрическая сеть – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линии электропередачи, предназначенная для передачи и распределения электрической энергии (ГОСТ 24291-90).

Тепловая сеть – комплекс устройств, передающих тепловую энергию теплоносителя потребителям.

Основой моделей сети являются модели потокораспределения, учитывающие минимизацию энергетических потерь в системе передачи, схемы соединения, на которых видны элементы распределительных устройств, пунктов теплопередачи, пунктов, обеспечивающих коммутацию (переключение и отключение в цепи).

Транспортно-коммуникационный комплекс должен обладать способностью, своевременно определять факт и положение возникновения нестандартных ситуаций, определение причин возникновения и возможных задействие коммутационных устройств, служащих для предотвращения чрезвычайных ситуаций. Данные функции должны присутствовать в системах автоматизированного контроля. Алгоритмы контроля – неотъемлемая часть системы управления, которая обеспечивает эффективную эксплуатацию транспортно-коммуникационным комплексом.

Модель потребителей энергии является средним значением мощности потребления, то есть значением мощности за определенный временной интервал. График потребляемой мощности для потребителей может быть задан так, чтобы удовлетворять интегральному ограничению по максимальной (установленной) мощности и минимальной мощности (технический минимум). При необходимости можно построить модели потребителей в отдельности, а потом проведено их эквивалентные значения.

Мощность для потребителей выбирается за счет определенных параметров потребителей и учитывая параметры оборудования ГЭК.

### 1.3 Структура ГЭК и методика обоснования его параметров.

Параметры ГЭК могут быть определены за счет оптимизации параметров каждого отдельного элемента ГЭК. Здесь учитываются параметры поступления возобновляемых энергетических ресурсов (суточные, недельные и др. колебания); особенности потребления разнообразных видов энергоресурсов (суточные, недельные и др. колебания); режимными свойствами элементов ГЭК (коммутационные процессы, переходные процессы и т.д.).

Выбор параметров включает в себя не только параметры генерирующего оборудования, а еще параметры передающей системы и параметры потребителей[4].

Процесс проектирования имеет несколько стадий. Все начинается с идеи и проходит цепочку циклов до осуществления этого проекта. В первых этапах происходит оценка реализуемости и разработка идеи, далее происходит планирование и получение технико-экономической оценки данного проекта. Общая схема разработки технико-экономического обоснования проекта ГЭК показана на рисунке 1.

Можно выделить следующие этапы разработки проекта:

- Гипотезы и правила проекта. Данный этап подразумевает цели, факторы и правила окружения проекта, условия реализации проекта;

- Виртуальная модель. Данный этап подразумевает создание структурно-функциональной модели (СФМ), которая будет включать элементы конструкции, выделенные из состава элементов ГЭК, постановка задач, решение которых необходимо для удовлетворения основной цели проекта;
- Ресурсная модель. Данный этап подразумевает динамическую модель притока энергоресурсов;
- Техническая модель. Данный этап подразумевает технические решения, реализующие функцию, заданную в виртуальной модели, наличие возможности для изготовления;
- Организационная модель. Данный этап подразумевает выполнение работ сооружения ГЭК и создание условий его правильного функционирования, рассматривая свойства окружения проекта для расчета возможных дополнительных затрат, вероятные риски и пути их снижения;
- Экономическая модель. Данный этап подразумевает рассмотрение технических и организационных заключений за счет экономических показателей, которые позволяют оценить финансовую реализуемость проекта, то есть соответствие возможностей заказчика условиям проекта;
- Техничко-экономическое обоснование (ТЭО). Данный этап подразумевает создание документа с информацией для принятия заключения о дальнейшем продолжении проекта либо же его остановки.



Рисунок 1 - Общая схема разработки технико-экономического обоснования проекта ГЭК

Реализация условий окончания каждого отдельного этапа приводит к переходу на следующий этап. Если же все условия не могут быть выполнены, то выполняется переход к предыдущему этапу схемы.

Следовательно, процесс технико-экономического обоснования ГЭК является проектной процедурой, основанной на последовательном сужении массы вариантов для получения в конце альтернативных вариантов структуры ГЭК.

Формирование единой методики конструирования проектов ГЭК способствует ускорить мероприятия по согласованию проекта с экспертами и заказчиками.

Использовать энергетические установки на основе ВИЭ в малых энергетических системах осложнено из-за отсутствия у них потенциала гарантированного обеспечения электроснабжением, что противоречит основе модели управления традиционными энергосистемами. Производителя энергии должен вырабатывать энергию в соответствии с графиком потребления. Это заставляет не учитывать электростанции возобновляемой энергетики в балансе энергетической системы.

Для решения данной проблемы обычно используют аккумуляторы.

В литературе достаточно давно отмечается идея эффективности использования изолированных возобновляемых источников энергии. Она гласит, что эффективность повышается за счет развития регулируемых нагрузок, использующих энергию когда угодно. Получаемый продукт можно хранить без устройства недешевых сооружений, таких как водоподъемов, помола зерна.

Были проведены эксперименты, где моделировали энергоснабжение населенного пункта. Результаты показали эффективность представленных подходов оптимизации ГЭК как его генерирующей части, так и потребителя. Применение баков-аккумуляторов, служащих аккумуляторами, дает возможность увеличить количество ВИЭ в энергобалансе.

Было выяснено, что результативность использования ВИЭ увеличится за счет развития потребителей-регуляторов (потребители энергии и свободной мощности), использующих энергию в необходимое время, при приходе ресурса ВИЭ.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		21

Результативность использования ГЭК увеличивается при уменьшении требований к бесперебойному электроснабжению, т.е. чем меньше требований от потребителя, тем более широко можно использовать ВИЭ, что приведет к снижению затрат на топливо и понижению установленной мощности дизельной установки[5].

Сочетание источников генерации и компонентов, выбранных для ГЭК, окажет реальное влияние на срок службы системы и ее доступность для пользователей. Несмотря на экономическое положение, сельские районы стремятся к технологическому выбору, сделанному на краткосрочной основе с наименьшими затратами, качество оказывает существенное влияние на срок службы системы и не следует идти на компромиссы в отношении качества компонентов ГЭК для достижения минимальных затрат на генерацию[6].

Для повышения эффективности и экономии затрат приоритет следует отдавать определению размера системы и повышению энергоэффективности. Фактически, энергоэффективность очень важна, так как она существенно влияет на энергетическую нагрузку и, следовательно, на величину требуемой выработки электроэнергии. Улучшение энергоэффективности повлияет на инвестиционные затраты и финансовую жизнеспособность проекта.

Решение использования разных источников энергии, конечно же, является центральным. Дизель является дорогим источником энергии, помимо этого, он не является автономным, так как не может быть обеспечено наличие топлива.

ГЭК же будет использовать местные возобновляемые ресурсы, что снижает вероятность отсутствия электричества. Гибридный комплекс позволяет использовать несколько видов ВИЭ.

Малая гидростанция является самой дешевой технологией, однако зависит от пространства, так как требует наличие потока воды. Малая гидроэнергетика – это зрелая технология, которая за последние тридцать лет была внедрена во всем мире.



Солнечная энергетика подходит практически для любого места по всему миру, а также относительно проста в установке и обслуживании. Однако, первоначальные инвестиционные затраты выше, чем у других, да и сильно зависит от солнечных ресурсов региона.

Технология малой ветроэнергетики очень специфична для конкретной области, поскольку условия ветра резко меняются от места к месту, поэтому ветровые ресурсы должны быть тщательно изучены перед установкой системы.

Аккумуляторы и дизельные генераторы также являются важными компонентами ГЭК. Аккумулятор является центральным элементом стоимости электроэнергии в течение всего срока службы системы. Надлежащее управление энергопотреблением должно максимально увеличить срок службы батарей, поскольку затраты на замену представляют собой важную часть общих затрат по проекту. Генератор играет большую роль в обеспечении зарядки аккумулятора. Использование дизель-генератора должно быть сведено к минимуму, поскольку топливо является дорогостоящим. Однако, дизельная установка важна для обеспечения необходимого качества обслуживания, когда другие технологии не справляются. В систему должны быть встроены элементы для защиты компонентов от повреждения, такого как полное истощение заряда батареи.

Шины и локальная распределительная сеть последними ключевыми элементами гибридной сети. Выбор переменного или постоянного тока, в частности, влияет на систему, ее мощность и цену, а также на устройства, которые могут быть запитаны. Однако, выбор переменного или постоянного тока в основном будут зависеть от технологий, которые будут связаны в системе, а также от того, будут ли использоваться батареи в системе.

Финансовые и операционные вопросы имеют решающее значение для долгосрочной устойчивости ГЭК. Такие вопросы, как эксплуатация и техническое обслуживание, роль частного сектора, тарифы и субсидии, а также наращивание потенциала и подготовка кадров, необходимо учитывать при разработке программ электрификации.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		23

Устойчивые финансовые и технические решения для операций, обслуживания и управления являются ключом к общему успеху системы. Хорошо обслуживаемая и управляемая система может работать более 25 лет, и это должно быть целью каждой новой системы, внедряемой во всем мире. Поэтому финансовые вопросы должны быть тщательно интегрированы в бизнес-планирование проекта с самого начала, чтобы предвидеть денежный поток, достаточный для покрытия этих затрат. Также необходимо уточнить права собственности и роль каждого партнера, чтобы определить, кто за что будет нести ответственность и за какие инвестиции.

### **Выводы.**

Прогресс малой энергетики должен основываться на парадигме комплексного проектирования элементов энергокомплекса, включающего генерирующие устройства, устройства транспортировки и потребителей, которые находятся в едином контуре управления.

ГЭК, включающие в свой состав установки на основе возобновляемых источников энергии, проектируются по единой методике оптимизации параметров элементов гибридных энергетических комплексов, также рассматривая производство вспомогательных продуктов и утилизацию отходов.

Способ технико-экономического обоснования ГЭК обязан рассматривать оптимизацию моделей элементов ГЭК в целостном комплексе структурно-функциональных и режимных моделей.

Использование данного способа обоснования ГЭК поможет снизить финансовые затраты на проектирование и технико-экономический анализ проектов.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		24

## 2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

### 2.1 Понятие системы управления

Система управления подразумевает совокупность элементов, связанных между собой и зависящих друг от друга, образующих упорядоченную целостность, единство.

Система управления — некий набор средств, направленных на сбор данных о подконтрольных объектах или элементах, методах воздействия на их поведение, предназначенных для достижения определенных целей. Объектом системы управления могут быть как технические объекты, так и люди. Объект системы управления может состоять из других объектов, которые могут иметь постоянную структуру взаимосвязей. Анализ и целостность систем управления реализуется путем использования специального раздела математики — теории управления.

Структурно, управление можно разделить на два больших класса:

- Автоматизированная система управления (АСУ) — с участием человека в контуре управления
- Система автоматического управления (САУ) — без участия человека в контуре управления.

Система автоматического управления (САУ) в математическом обосновании — комплекс устройств, обеспечивающих автоматическое изменение ряда координат (или одной координаты) объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта. Система управления представлена на рисунке 2, где  $X_3$  — задающее воздействие,  $F$  — возмущающее воздействие (помехи),  $U$  — управляющее воздействие,  $X$  — выходной сигнал.

На рисунке 2 (а) представлено управляющее устройство и объект, над которым производится контроль.

На рисунке 2 (б) управляющее устройство представлено в виде составных частей: чувствительное устройство (ЧУ), вычислительное устройство (ВУ) и исполнительное устройство (ИУ).

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		25

Чувствительные устройства служат для измерения сигналов ( $X_3$ ,  $F$ ), подаваемых на управляющее устройство.

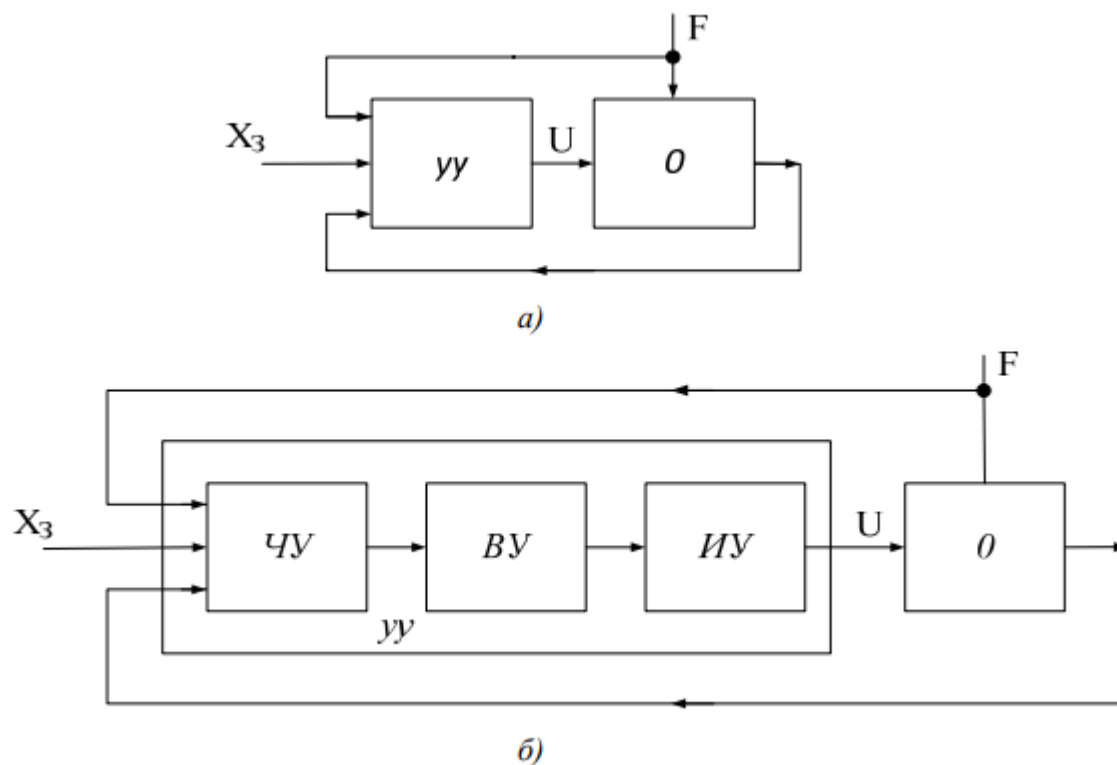


Рисунок 2 - Блок-схема (а) и функциональная схема (б) системы автоматического управления

Вычислительное устройство осуществляет выполнение работы управляющего устройства. В простейшем случае оно выполняет простые математические операции, как сравнение задающего воздействия  $X_3$  и выходного сигнала  $X$ , интегрирование, дифференцирование и др. В сложных случаях оно может представлять собой цифровую вычислительную машину (ЦВМ) или совокупность таких машин.

Исполнительное устройство выполняет функцию непосредственного управления объектом, т. е. изменение его состояния в соответствии с сигналом, выдаваемым вычислительным устройством.

## Классификация систем управления

По виду системы управления различают:

- Разомкнутые – в данной системе нет контроля за выходным сигналом  $X$ , т. е. состояние объекта не контролируется. Разомкнутыми данные системы называются из-за отсутствия в них обратной связи между выходом и входом управляющего устройства, отсутствует замкнутый контур.
- Замкнутые – в данной системе на вход управляющего устройства поступают задающее воздействие  $X_3$  и выходной сигнал  $X$ , вследствие чего и образуется замкнутый контур. В таком контуре имеется представления о выходном сигнале  $X$ , за счет чего его можно контролировать воздействием на объект задающим сигналом  $X_3$ . Поэтому замкнутые САУ также называют системами с обратной связью или системами управления по отклонению. Замкнутая система представлена на рисунке 2.

В разомкнутых системах управление может происходить по задающему воздействию  $X_3$ , по задающему и возмущающему воздействиям ( $X_3, F$ ).

В первом случае поступающий сигнал  $X_3$  приводят к изменению выходной величины  $X$  путем изменения управляющего воздействия  $U$ . Точность в данном варианте не контролируется и определяется постоянством параметров системы и возмущений.

Второй случай является наиболее полным видом разомкнутой САУ. В этом варианте управление объектом происходит в функции двух величин ( $X_3, F$ ).

Системы автоматического управления также разделяются системы стабилизации, программного управления и следящие системы.

Частным, но широко известным видом являются системы автоматического регулирования (САР). Система автоматического регулирования поддерживает равенство задающего воздействия  $X_3$  и выходного сигнала  $X$  ( $X_3=X$ ).

Системы автоматического регулирования различаются по характеру задающего сигнала, бывают: системы стабилизации, программного управления и следящие системы.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		27

В системах стабилизации задающее воздействие постоянно, в системах программного управления оно изменяется по заданному закону, в следящих системах оно изменяется, но закон изменения заранее не известен. В последнем варианте система следит за изменяющейся входной величиной и обеспечивает равенство  $X=X_3$ .

САУ и САР делятся на одномерные и многомерные. К одномерным относят системы, регулирующие лишь одну величину, например напряжение для синхронного генератора. Если же синхронный генератор регулировал бы и частоту вращения, то данная система была бы многомерной.

Многомерные САУ и САР делятся на системы связанного и несвязанного управления (регулирования).

В системах несвязанного управления имеется несколько устройств, каждое из которых управляет своей координатой объекта. Все устройства не имеют взаимных связей.

В системах связанного управления отдельные управляющие устройства имеют связи с другими.

Бывают системы линейные и нелинейные.

Линейная система описывается линейным уравнением. В любом другом случае система является нелинейной.

Существуют стационарные и нестационарные системы.

У стационарных систем параметры не изменяются во времени. В нестационарной системе – наоборот. Она имеет переменные параметры.

Различают системы дискретного и непрерывного действия.

Система непрерывного действия, или непрерывная система состоит из звеньев, выходная величина которых изменяется плавно, при плавном изменении входного сигнала.

Система дискретного действия, или дискретная система имеет хотя бы одно звено, значение которого изменяется дискретно, т.е. рывками, даже при плавном изменении входной величины.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		28

Бывают адаптивные и неадаптивные системы.

Адаптивные и самоприспосабливающиеся системы подстраиваются под изменение внешних условий и улучшают свою работу по мере накопления опыта.

Неадаптивные системы такой способностью не обладают. Они имеют постоянную настройку. Чтобы изменить настройку системы, это должен сделать человек[7].

## 2.2 Требования к системе управления

Так как ГЭЖ будет использовать солнечную и ветровую энергию, в состав СУ обязательно должны войти регулятор мощности ветроэнергостановки (РМ ВЭУ) и регулятор мощности солнечной батареи (РМ СБ). Так же должен быть учтен вопрос отсутствия РМ ВЭУ и РМ СБ, их отсутствие не должно приводить к нарушению работы изделия.

Аппаратура СУ должна предусматривать программные обеспечения и аппаратные средства для самодиагностики во время выполнения своей задачи. Данные о неисправностях, повреждениях и отказах в системе обязаны выводиться на дисплей или пульт управления, а также должны сопровождаться сигнальным знаком.

Изделие СУ предназначено для управления режимами работы ГЭЖ. Аппаратура должна быть разработана для условия круглосуточного автоматического пользования с требуемыми остановками с целью исполнения требуемых профилактических работ.

Требуется, чтобы СУ обеспечивала возможность автоматического или ручного перехода к стояночному, рабочему и аварийному режимам работы.

При стояночном режиме работы от СУ требуется обеспечение измерения и вывода на дисплей или пульт управления и сигнализации необходимой информации:

- о скорости ветра;
- о состоянии аккумуляторных батарей;

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		29

- о состоянии стояночного тормоза;
- об исправности или возможной неисправности системы управления  
В рабочем режиме требуется, чтобы СУ обеспечивала:
- диагностику работы составных элементов ГЭК и предоставление собранной информации необходимого объема на пульт управления или дисплей и, при надобности, сопутствие сигнализацией;
- сбор, переработка и передача на пульт управления наблюдаемых значений и параметров;
- определение аварийных и предаварийных ситуаций и передачу информации на пульт управления и сигнализации;
- среднюю производительность ГЭК в обстановке меняющихся погодных условий посредством регулирования поступающей от ВЭУ и/или СБ мощности;
- поддержание максимально возможного тока заряда аккумуляторных батарей в пределах допустимых значений;
- исключение разряда аккумуляторных батарей больше чем на 50% от их емкости;
- автоматический переход в аварийный режим при распознавании аварийной ситуации.

В аварийном режиме требуется, чтобы СУ обеспечивала:

- выдачу необходимой информации на пульт управления;
- изменение нагрузки генератора.

РМ ВЭУ необходим для преобразования трехфазного выходного напряжения в ток заряда аккумуляторных батарей и должен выполнять ряд функций:

- регулирование тока заряда аккумуляторных батарей;
- управление частотой вращения и крутящим моментом генератора ВЭУ;
- подачу напряжения для разблокировки аварийного тормоза;
- подачу сигнала запуска резервного генератора.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		30



РМ СБ необходим для преобразования выходного тока СБ в ток заряда аккумуляторных батарей и должен выполнять ряд функций:

- регулирование тока заряда аккумуляторных батарей;
- регулирование мощности, получаемой от СБ;
- выдачу сигнала запуска резервного генератора.

На рисунке 3 показана структурная схема гибридного энергетического комплекса ГЭК, в состав которого входит СУ ГЭК.

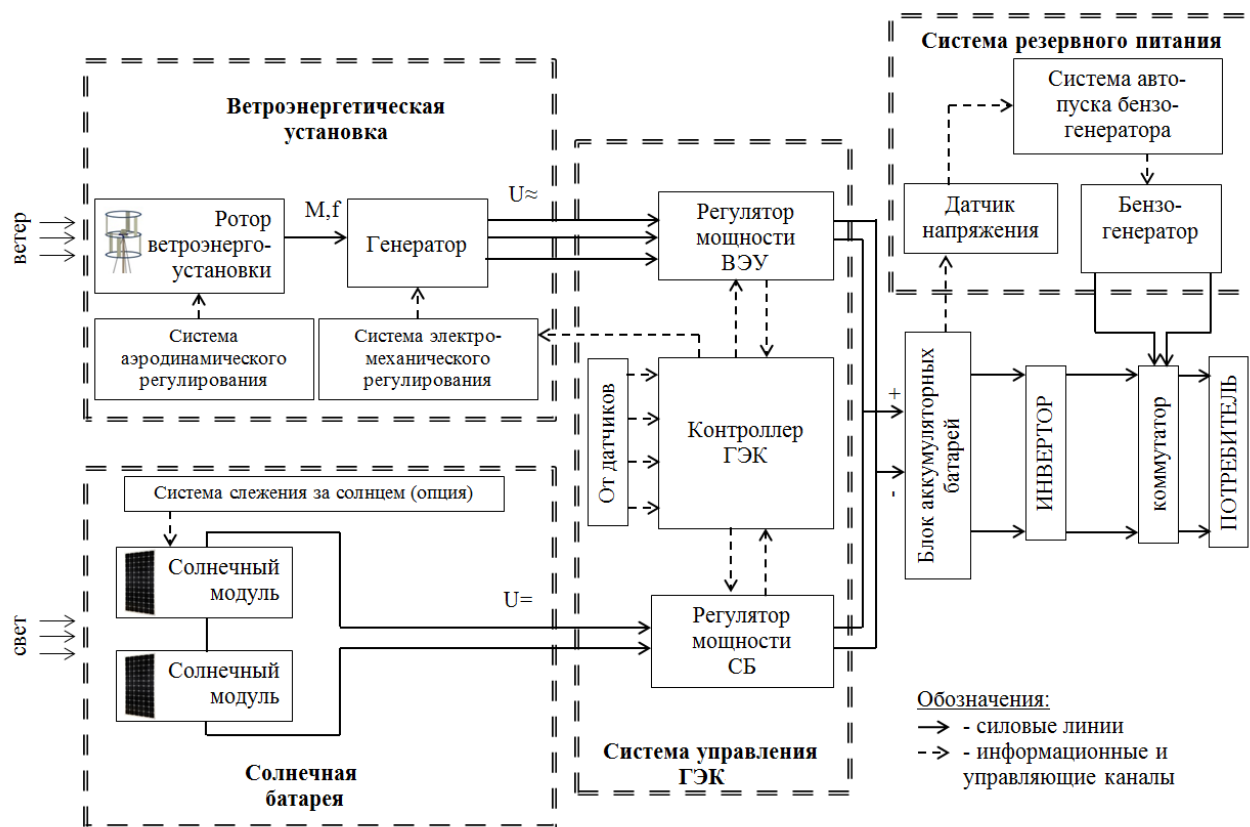


Рисунок 3 - Структурная схема ГЭК

### 2.3 Промышленные интерфейсы

Одной из главных задач в автоматизации промышленной деятельности является создание всеобщей структуры промышленных предприятий, для обеспечения единой работы программ и аппаратов систем автоматизированного управления предприятием. В современном предприятии данную роль выполняют промышленные сети, имеющие в своем составе промышленный интерфейс. Про-

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

мышленный интерфейс предназначен для осуществления передачи данных между датчиками и исполнительными процессами напрямую, не проходя через центральный контроллер. Использование различных интерфейсов способствует применению кабелей и разъемов необходимых стандартов, удовлетворяющих специфическим требованиям промышленности, таким как использование усиленного экранирования, стойкости к агрессивным средам и др. Наиболее распространенными являются последовательные интерфейсы и промышленный Ethernet.

Самой распространенной технологией является промышленный Ethernet. Главными преимуществами данной сети является простота и скорость передачи данных.

Самые известные устройства, применяющие для работы интерфейс промышленного Ethernet – коммутаторы. Коммутаторы – устройства, предназначенные для соединения нескольких узлов сети в пределах одного сегмента сети. Большинство коммутаторов работают в относительно небольших расстояниях, до 100 м. Это стандартные интерфейсы Ethernet типа 100BASE-TX. Чтобы передавать данные на большие расстояния необходимы интерфейсы типа 100BASE-FX или 1000BASE-LX, которые используют одномодовое волокно, которое позволяет передавать данные на расстояния до 40 км.

Вторые по популярности интерфейсы – это последовательные интерфейсы. В России в основном используют последовательные интерфейсы для подключения конечных устройств к общей сети, из-за нежелания российского рынка переходить на общую промышленную сеть. Для передачи данных с этих интерфейсов в промышленную сеть Ethernet, к которым в свою очередь прикрепляют вычислительные приборы, обрабатывающие данные, а также устройства управления и контроля, непосредственно служат преобразователи интерфейсов – конверторы[8].

#### 2.4 Последовательный интерфейс

В условиях промышленного применения беспроводные линии передачи данных никогда не смогут полностью заменить проводные. Среди последних са-

мым распространенным и надежным до сих пор остается последовательный интерфейс RS-485.

Несмотря на рост популярности беспроводных сетей, наиболее надежную и устойчивую связь, особенно в жестких условиях эксплуатации, обеспечивают проводные. Правильно спроектированные проводные сети позволяют реализовать эффективную связь в промышленных приложениях и в системах автоматизированного управления производственными процессами, обеспечивая устойчивость к помехам, электростатическим разрядам и перенапряжениям. Отличительные особенности интерфейса RS-485 обусловили его широкое применение в индустрии.

## 2.5 Выбор интерфейса

Приемопередатчик RS-485 является наиболее распространенным интерфейсом физического уровня для реализации сетей с последовательной передачей данных, предназначенных для жестких условий эксплуатации в промышленных приложениях и в системах автоматизированного управления зданиями. Данный стандарт последовательного интерфейса обеспечивает обмен данными с высокой скоростью на сравнительно большое расстояние по одной дифференциальной линии (витой паре). Основная проблема применения RS-485 в промышленности и в системах автоматизированного управления зданиями состоит в том, что электрические переходные процессы, возникающие при быстрой коммутации индуктивных нагрузок, электростатические разряды, а также импульсные перенапряжения, воздействуя на сети автоматизированных систем управления, способны исказить передаваемые данные или привести к выходу их из строя.

В настоящее время существует несколько типов интерфейсов передачи данных, каждый из которых разработан для конкретных применений с учетом требуемого набора параметров и структуры протокола. К числу интерфейсов последовательной передачи данных относятся CAN, RS-232, RS-485/RS-422, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, LIN, SPI и SMBus, однако RS-485 и RS-422 по-прежнему остаются наиболее надежными, особенно в жестких условиях эксплуатации.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		33

Интерфейсы RS-485 и RS-422 во многом схожи, однако имеют некоторые существенные отличия, которые необходимо учитывать при проектировании систем передачи данных. В соответствии со стандартом TIA/EIA-422, интерфейс RS-422 специфицирован для промышленных применений с одним ведущим устройством шины данных, к которой может быть подключено до 10 ведомых устройств (Рисунок 4). Он обеспечивает передачу на скорости до 10 Мбит/с, используя витую пару, что позволяет повысить помехоустойчивость и достичь максимально возможной дальности и скорости передачи данных. Типичные области применения RS-422 – автоматизация производственных процессов (производство химикатов, пищевое производство, бумажные фабрики), комплексная автоматизация производства (автомобильная и металлообрабатывающая промышленность), системы вентиляции и кондиционирования, системы безопасности, управление двигателями и контроль над перемещением объектов. Сравнение двух интерфейсов показано на рисунке 5. Их параметры занесены в таблицу 1.

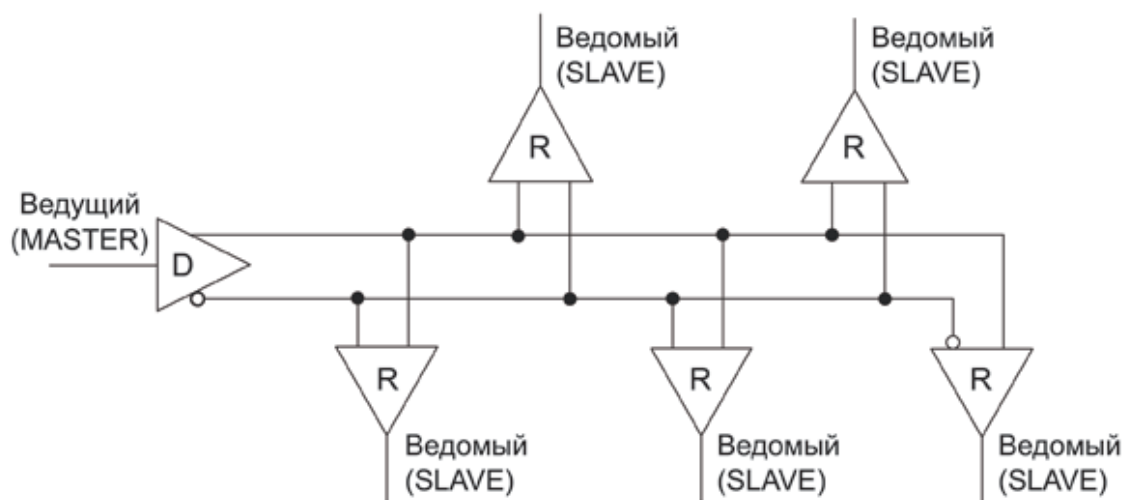


Рисунок 4 - Интерфейс RS-422 с подключением нескольких приемных устройств к общей двухпроводной линии связи

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

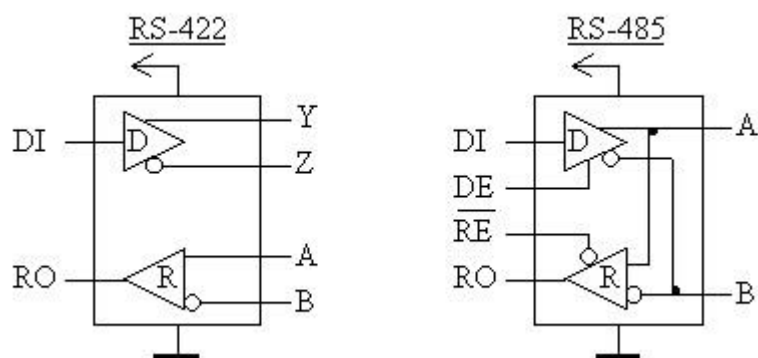


Рисунок 5 – Схемы интерфейсов

D (driver) – передатчик;

R (receiver) – приемник;

DI (driver input) – цифровой вход передатчика;

RO (receiver output) – цифровой выход приемника;

DE (driver enable) – разрешение работы передатчика;

RE (receiver enable) – разрешение работы приемника;

A – прямой дифференциальный вход/выход;

B – инверсный дифференциальный вход/выход;

Y – прямой дифференциальный выход (RS-422);

Z – инверсный дифференциальный выход (RS-422).

RS-485 обеспечивает более высокую гибкость благодаря возможности использования нескольких ведущих устройств на общей шине, а также увеличения максимального числа устройств на шине с 10 до 32. Согласно стандарту TIA/EIA-485, интерфейс RS-485 по сравнению с RS-422 имеет более широкий диапазон синфазного напряжения ( $-7...12$  В вместо  $\pm 7$ В) и несколько меньший диапазон дифференциального напряжения ( $\pm 1,5$  В вместо  $\pm 2$  В), что обеспечивает достаточный уровень сигнала приемника при максимальной нагрузке линии. Используя расширенные возможности многоточечной шины данных, можно создавать сети устройств, подключенных к одному последовательному порту RS-485. Благодаря высокой помехоустойчивости и возможности многоточечных подключений RS-485 является наилучшим среди последовательных интерфейсов для использования в промышленных распределенных системах, подключаемых к программируе-

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Лист

35

тому логическому контроллеру (PLC), графическому контроллеру (HMI) или другим контроллерам для сбора данных. Поскольку RS-485 является расширенным вариантом RS-422, все устройства RS-422 могут подключаться к шине, управляемой ведущим устройством RS-485. Типичные области применения для RS-485 аналогичны перечисленным выше областям применения RS-422, при этом более частое использование RS-485 объясняется его расширенными возможностями.

Таблица №1. Параметры интерфейсов RS-422 и RS-485

Стандартные параметры интерфейсов	RS-422	RS-485
Допустимое число передатчиков / приемников	1 / 10	32 / 32
Максимальная длина кабеля	1200 м	1200 м
Максимальная скорость связи	10 Мбит/с	10 Мбит/с
Диапазон напряжения «1» передатчика	+2...+10 В	+1,5...+6 В
Диапазон напряжения «0» передатчика	-2...-10 В	-1,5...-6 В
Диапазон синфазного напряжения передатчика	-3...+3 В	-1...+3 В
Допустимый диапазон напряжений приемника	-7...+7 В	-7...+12 В
Пороговый диапазон напряжений приемника	-7...+7 В	-7...-12 В
Максимальный ток короткого замыкания драйвера	150 мА	250 мА
Допустимое сопротивление нагрузки передатчика	100 Ом	54 Ом
Входное сопротивление приемника	4 кОм	12 кОм
Максимальное время нарастания сигнала передатчика	10% бита	30% бита

## 2.6 RS-485 – самый популярный промышленный интерфейс

Стандарт TIA/EIA-485 допускает использование RS-485 на расстоянии до 1200 м. На более коротких дистанциях скорости передачи данных – более 40 Мбит/с. Использование дифференциального сигнала обеспечивает интерфейсу RS-485 более высокую дальность, однако скорость передачи данных уменьшается по мере увеличения длины линии. На скорость передачи данных влияет также площадь сечения проводов линии и число устройств, подключенных к ней. При

необходимости получения одновременно большой дальности и высокой скорости передачи данных рекомендуется использовать приемопередатчики RS-485 со встроенной функцией высокочастотной коррекции, например, MAX3291. Интерфейс RS-485 может использоваться в полудуплексном режиме с применением одной витой пары проводов или в дуплексном режиме с одновременной передачей и приемом данных, что обеспечивается использованием двух витых пар (четыре провода). В многоточечной конфигурации в полудуплексном режиме RS-485 способен поддерживать до 32 передатчиков и до 32 приемников. Однако микросхемы приемопередатчиков нового поколения имеют более высокий входной импеданс, что позволяет снизить нагрузку приемника на линию от 1/4 до 1/8 стандартного значения. Например, при использовании приемопередатчика MAX13448E число приемников, подключаемых к шине RS-485, может быть увеличено до 256. Благодаря расширенному многоточечному интерфейсу RS-485 имеется возможность построения сетей различных устройств, подключенных к одному последовательному порту, как показано на рисунке 6.

Чувствительность приемника составляет  $\pm 200$  мВ. Следовательно, для распознавания одного бита данных уровни сигнала в точке подключения приемника должны быть больше +200 мВ для нуля и меньше -200 мВ для единицы (Рисунок 7). При этом приемник будет подавлять помехи, уровень которых находится в диапазоне  $\pm 200$  мВ. Дифференциальная линия обеспечивает также эффективное подавление синфазных помех. Минимальное входное сопротивление приемника составляет 12 кОм, выходное напряжение передатчика находится в диапазоне  $\pm 1,5 \dots \pm 5$  В.

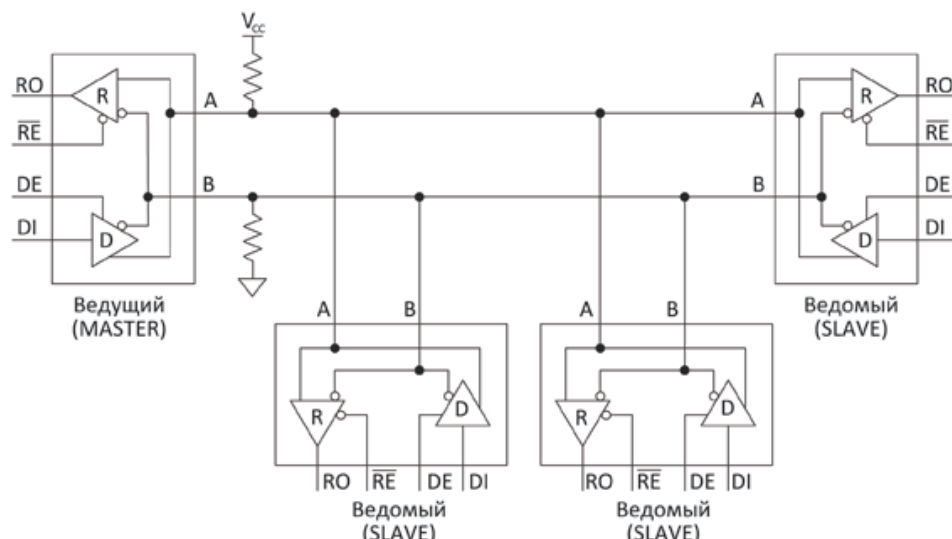


Рисунок 6 - Многоточечная полудуплексная приемопередающая система, используемая в промышленных приложениях



Рисунок 7 - Минимальные уровни сигналов в линии RS-485

### 2.6.1 Проблемы, связанные с использованием последовательного интерфейса в промышленной среде

Разработчики промышленных систем сталкиваются со сложными задачами по обеспечению их надежной эксплуатации в электромагнитной обстановке, способной вывести из строя оборудование или нарушить работу цифровых систем передачи данных. Одним из примеров подобных систем является автоматическое управление технологическим оборудованием на автоматизированном промышленном предприятии. Контроллер, управляющий процессом, измеряет его параметры, а также параметры окружающей среды, и передает команды исполнительным устройствам либо формирует аварийные оповещения. Промышленные контроллеры представляют собой, как правило, микропроцессорные устройства, архитектура которых оптимизирована для решения задач данного промышленного предприятия. Линии передачи данных топологии «точка-точка» в таких системах



подвержены сильным электромагнитным помехам от воздействия окружающей среды.

Преобразователи постоянного напряжения, используемые в промышленном производстве, работают с высокими входными напряжениями и обеспечивают изолированные от входа напряжения для питания нагрузки. Для питания устройств распределенной системы, не имеющих собственного сетевого источника питания, используются напряжения 24 или 48 В постоянного тока. Питание оконечной нагрузки осуществляется напряжением 12 или 5 В, полученным путем преобразования входного напряжения. Системам, обеспечивающим связь с удаленными датчиками или исполнительными устройствами, требуется защита от переходных процессов, электромагнитных помех и разности потенциалов земли.

Многие компании прилагают большие усилия, чтобы интегральные микросхемы для промышленных применений отличались высокой надежностью и устойчивостью к неблагоприятной электромагнитной обстановке. Приемопередатчики RS-485 содержат встроенные цепи защиты от высоковольтных электростатических разрядов и импульсных перенапряжений и обладают возможностью «горячей» замены без потери данных в линии.

## 2.7 Защита систем передачи данных от неблагоприятных внешних воздействий

### 2.7.1 Усиленная защита от ЭСР

Электростатический разряд (ЭСР) возникает при соприкосновении двух противоположно заряженных материалов, вследствие чего происходит перенос статических зарядов и формируется искровой разряд. ЭСР часто возникает при контакте людей с окружающими предметами. Искровые разряды, возникающие при небрежном обращении с полупроводниковыми приборами, могут существенно ухудшить их характеристики или привести к полному разрушению полупроводниковой структуры. ЭСР может возникнуть, например, при замене кабеля или

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		39

простом прикосновении к порту ввода-вывода и привести к отключению порта вследствие выхода из строя одной или нескольких микросхем интерфейса.

Подобные аварии могут приводить к значительным убыткам, так как повышают стоимость гарантийного ремонта и воспринимаются потребителями как следствие низкого качества продукта. В промышленном производстве ЭСР представляет собой серьезную проблему, способную причинить убытки в миллиарды долларов ежегодно. В реальных условиях эксплуатации ЭСР может привести к отказу отдельных компонентов, а иногда и системы в целом. Для защиты интерфейсов передачи данных могут использоваться внешние диоды, однако некоторые интерфейсные микросхемы содержат встроенные компоненты защиты от ЭСР и не требуют дополнительных внешних цепей защиты. На рисунке 8 показана упрощенная функциональная схема типовой встроенной цепи защиты от ЭСР. Импульсные помехи в сигнальной линии ограничиваются диодной схемой защиты на уровнях напряжения питания  $V_{cc}$  и земли и, таким образом, защищают внутреннюю часть схемы от повреждений. Производимые в настоящее время микросхемы интерфейсов и аналоговые коммутаторы со встроенной защитой от ЭСР в основном соответствуют стандарту МЭК (IEC) 61000-4-2.

### 2.7.2 Защита от перенапряжений

В промышленных применениях входы и выходы драйверов RS-485 подвержены сбоям, возникающим в результате импульсных перенапряжений. Параметры импульсных перенапряжений отличаются от ЭСР – в то время как длительность ЭСР обычно находится в диапазоне до 100 нс, длительность импульсных перенапряжений может составлять 200 мкс и более. Причинами возникновения перенапряжений могут быть ошибки проводного монтажа, плохие контакты, поврежденные или неисправные кабели, а также капли припоя, которые могут образовывать токопроводящее соединение между силовыми и сигнальными линиями на печатной плате или в разъеме. Поскольку в промышленных системах электропитания используются напряжения, превышающие 24 В, воздействие таких

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		40

напряжений на стандартные приемопередатчики RS-485, не имеющие защиты от перенапряжений, приведет к их выходу из строя в течение нескольких минут или даже секунд. Для защиты от импульсных перенапряжений обычные микросхемы интерфейса RS-485 требуют дорогостоящих внешних устройств, выполненных на дискретных компонентах. Приемопередатчики RS-485 со встроенной защитой от перенапряжений способны выдерживать синфазные помехи в линии передачи данных до  $\pm 40$ ,  $\pm 60$  и  $\pm 80$  В. Элементы защиты функционируют независимо от текущего состояния микросхемы, – включена ли она, выключена или находится в дежурном режиме, – что позволяет характеризовать данные приемопередатчики как наиболее надежные в отрасли, идеально подходящие для промышленных применений. Приемопередатчики сохраняют работоспособность при перенапряжениях, обусловленных замыканием силовых и сигнальных линий, ошибками проводного монтажа, неправильным подключением разъемов, дефектами кабелей и неправильной эксплуатацией.

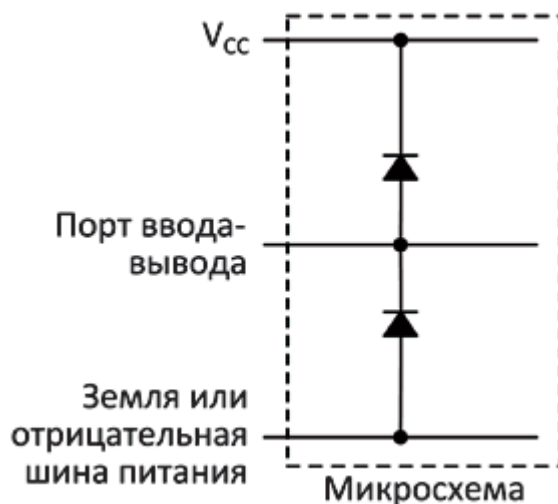


Рисунок 8 - Упрощенная схема встроенной цепи защиты порта ввода-вывода от ЭСР

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Лист

41

### 2.7.3 Устойчивость приемников к неопределенным состояниям линии

Важной характеристикой микросхем интерфейса RS-485 является невосприимчивость приемников к неопределенным состояниям линии, что гарантирует установку высокого логического уровня на выходе приемника при разомкнутых или замкнутых входах, а также при переходе всех передатчиков, подключенных к линии, в неактивный режим (высокоимпедансное состояние выходов). Проблема корректного восприятия приемником сигналов замкнутой линии данных решается путем смещения порогов входного сигнала до отрицательных напряжений  $-50$  и  $-200$  мВ. Если входное дифференциальное напряжение приемника  $V_A - V_B$  больше или равно  $-50$  мВ – на выходе R0 устанавливается высокий уровень. Если  $V_A - V_B$  меньше или равно  $-200$  мВ – на выходе R0 устанавливается низкий уровень. При переходе всех передатчиков в неактивное состояние и наличии в линии оконечной нагрузки дифференциальное входное напряжение приемника близко к нулю, вследствие чего на выходе приемника устанавливается высокий уровень. При этом запас помехоустойчивости по входу составляет  $50$  мВ. В отличие от приемопередатчиков предыдущего поколения, пороги  $-50$  и  $-200$  мВ соответствуют значениям  $\pm 200$  мВ, установленным стандартом EIA/TIA-485.

### 2.7.4 Возможность «горячей» замены

Схема с «горячей» заменой исключает появление ложных импульсов в линии передачи данных при инициализации интерфейсного устройства или подключения его к объединительной панели. Схемы ограничения тока короткого замыкания и отключения по перегреву защищают приемопередатчик от чрезмерно большой рассеиваемой мощности. Горячая замена плат приемопередатчиков может вызвать нежелательные переходные процессы на линиях DE, DE/RE, RE и входах приемников А и В, которые могут привести к ошибкам в передаче данных. Например, при первоначальной установке платы процессор выполняет операции запуска по включению питания. В этом интервале времени выходы передатчика находятся в высокоимпедансном состоянии, что не позволяет им установить де-

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		42

терминированные уровни сигналов на входе приемника. В то же время ток утечки высокоимпедансного выхода на уровне 10 мкА или паразитная емкостная связь с цепями питания или земли могут создать напряжение смещения на входе приемника, которое будет воспринято им как неверное логическое состояние. Микросхемы приемопередатчиков MAX3440E/MAX3443E содержат встроенную схему удержания постоянных уровней линий DE, DE/RE и RE при «горячей» замене. При нарастании напряжения питания  $V_{cc}$  внутренняя схема смещает уровень сигнала DE к земле (к напряжению питания для линии RE) и удерживает его не менее 10 мкс до тех пор, пока втекающий ток DE превышает 200 мкА. После этапа первоначального запуска по включению питания схема удержания уровней отключается и пропускает сигнал напрямую. Структурная схема защиты входов при горячей замене на примере входа DE показана на рисунке 9.

Во входной цепи разрешения работы приемопередатчика (DE) имеется два N-канальных МОП-транзистора – M1 и M2. При подаче питания  $V_{cc}$  внутренний таймер на 15 мкс открывает транзистор M2 и устанавливает RS-триггер, который открывает также M1. Транзисторы M2 и M1 с токовыми стоками 2 мА и 100 мкА соответственно, смещают потенциал DE к земле через резистор 5,6 кОм. Транзистор M2 способен удерживать вывод DE в отключенном состоянии при внешней паразитной емкости до 100 пФ. По истечении 15 мкс таймер закрывает M2, а M1 остается открытым, удерживая низкий уровень DE, что препятствует смещению потенциала DE к высокому уровню вследствие токов утечки высокоимпедансных выходов передатчиков. M1 остается включенным до тех пор, пока ток внешнего источника тока не превысит требуемый входной ток. В этот момент RS-триггер сбрасывается и закрывает M1, при этом DE становится стандартным высокоомным КМОП-входом. При уменьшении  $V_{cc}$  ниже 1 В вход отключается. Комплементарная схема входа RE использует два P-канальных МОП-транзистора для смещения уровня RE к потенциалу  $V_{cc}$  [9,10,11,12].

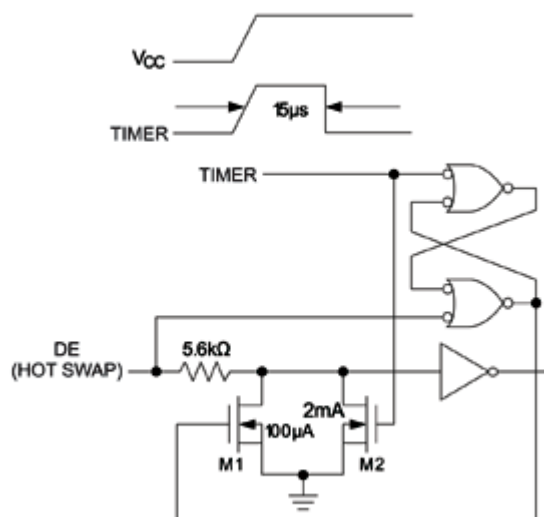


Рисунок 9 - Упрощенная структурная схема защиты входа DE при горячей замене

Выводы.

Промышленные системы, в частности автоматизированные производства, функционируют в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки, поэтому разработчику системного уровня необходимо учитывать наличие паразитных напряжений, возникающих при переходных процессах, и разрабатывать оборудование, устойчивое к внешним воздействиям. В большинстве сетей передачи данных используется наиболее надежный из последовательных интерфейсов – RS-485. Современные микросхемы приемопередатчиков RS-485 содержат встроенные элементы, реализующие усиленную защиту от электростатического разряда, защиту от перенапряжений и возможность горячей замены, что предохраняет микросхемы интерфейса RS-485 от неблагоприятных внешних воздействий, поддерживая тем самым высокую надежность системы передачи данных.

## 2.8 Контроллер

Для сбора и передачи информации от СБ, ВЭУ, ДГ, АБ к контроллеру необходимо определить какие сигналы необходимы для этого. Первым делом разберем имеющиеся типы сигналов.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		44

В зависимости от физической среды информации различают: электрические, оптические, акустические и электромагнитные сигналы.

По методу задания, различают регулярный и нерегулярный сигналы. Регулярный сигнал представляет собой детерминированную функцию времени. Нерегулярный сигнал представляет собой хаотическую функцию времени и анализируется вероятностным подходом.

Существует два типа сигналов – дискретный и непрерывный.

Дискретный сигнал представляет собой прерывистый сигнал (в отличие от аналогового), изменяющийся во времени, который может принять любое значение из списка значений заданных параметрами устройства.

Непрерывные сигналы можно разделить на аналоговый сигнал и цифровой сигнал.

Аналоговый сигнал – сигнал, который может быть описан непрерывным множеством значений от функции времени. Аналоговый сигнал является естественным. Он может быть зафиксирован различными датчиками (датчики среды, механические датчики).

Цифровой сигнал – искусственный сигнал, полученный путем преобразования аналогового сигнала. Процесс преобразования аналогового сигнала называется дискретизацией. Различают дискретизацию по времени, которую обычно называют операцией выборки и дискретизацию по амплитуде, называемую квантованием по уровню. Сигналы представлены на рисунке 10.

Помехи аналогового сигнала обычно устраняют путем усиления самого сигнала, причем, чем выше уровень помех, тем сильнее необходимо усиливать сигнал, для его принятия без искажения. При этом методе затрачивается много энергии на выделение тепла. К тому же, усиленный сигнал может повлиять на другие каналы связи, вызвав у них помехи.

Важным свойством цифрового сигнала служит способность к полной регенерации в ретрансляторе. В то время, как аналоговый сигнал усиливается вместе с

помехами, цифровой сигнал в ретрансляторе формируется, полностью убирая искажения.

Существует также и минус. Если цифровой сигнал приходит с большими помехами, его не удастся восстановить. Из аналогового же сигнала можно извлечь хотя бы часть информации[13].

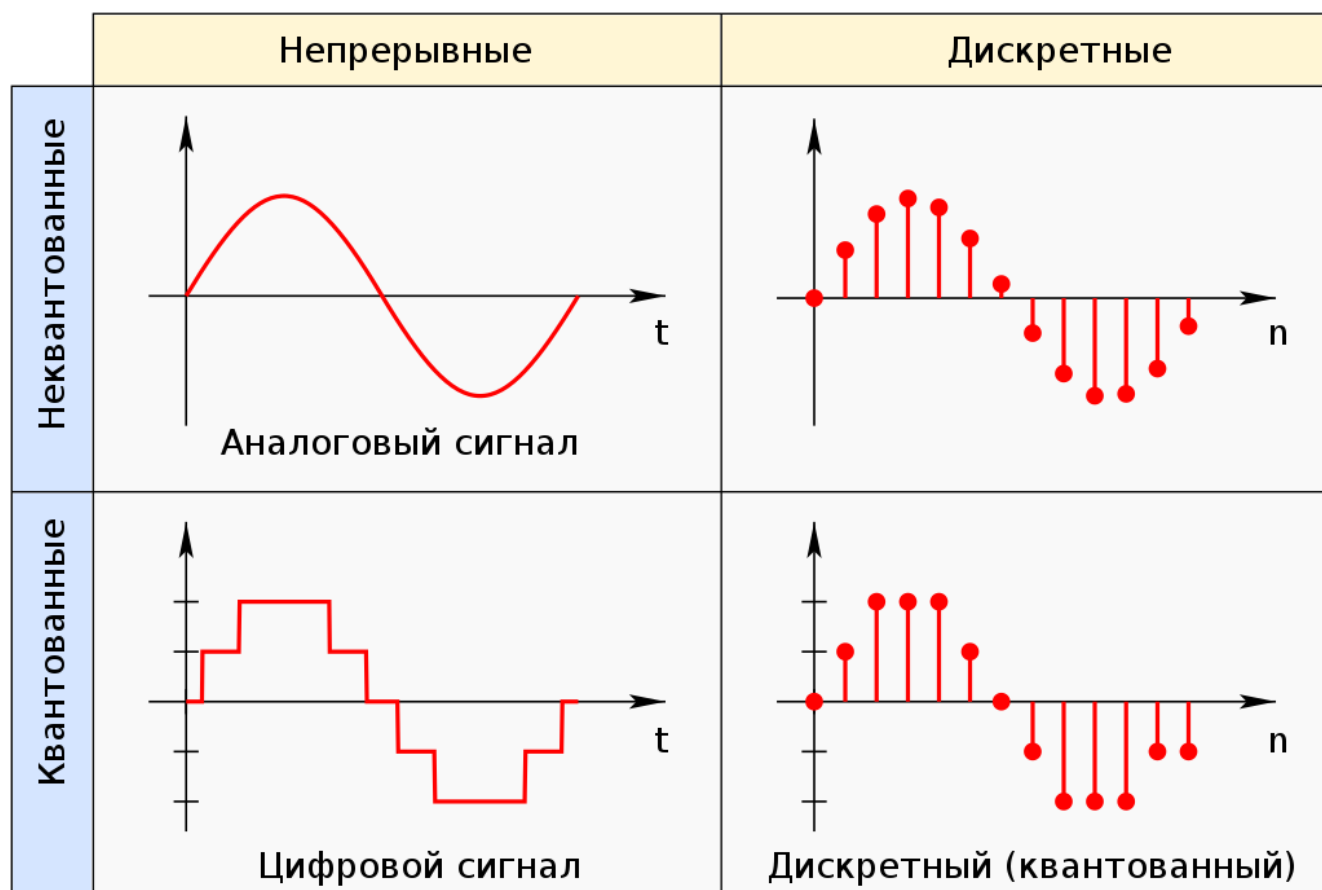


Рисунок 10 - Типы сигналов

Данные сигналы подаются на вход или выход контроллера для контроля других устройств.

Вход контроллера – клемма, через которую подключается устройство и передает информацию в контроллер. На вход подключаются источники сигнала.

Выключатель – источник сигнала. Сигнал представляет собой логический ноль, либо логическую единицу.

Выход контроллера – клемма, через которую контроллер подает сигнал чтобы управлять каким-либо устройством.



Дискретные входы и выходы могут только контролировать включение и выключение устройства (задают логический ноль, либо логическую единицу).

Аналоговые входы и выходы позволяют управлять значениями параметров устройства, например, напряжением.

Таким образом, делаем вывод, что для нашей системы необходимо использовать аналоговые входы и цифровые входы, и аналоговые выходы. Структурная схема будет выглядеть следующим образом (рисунок 11).

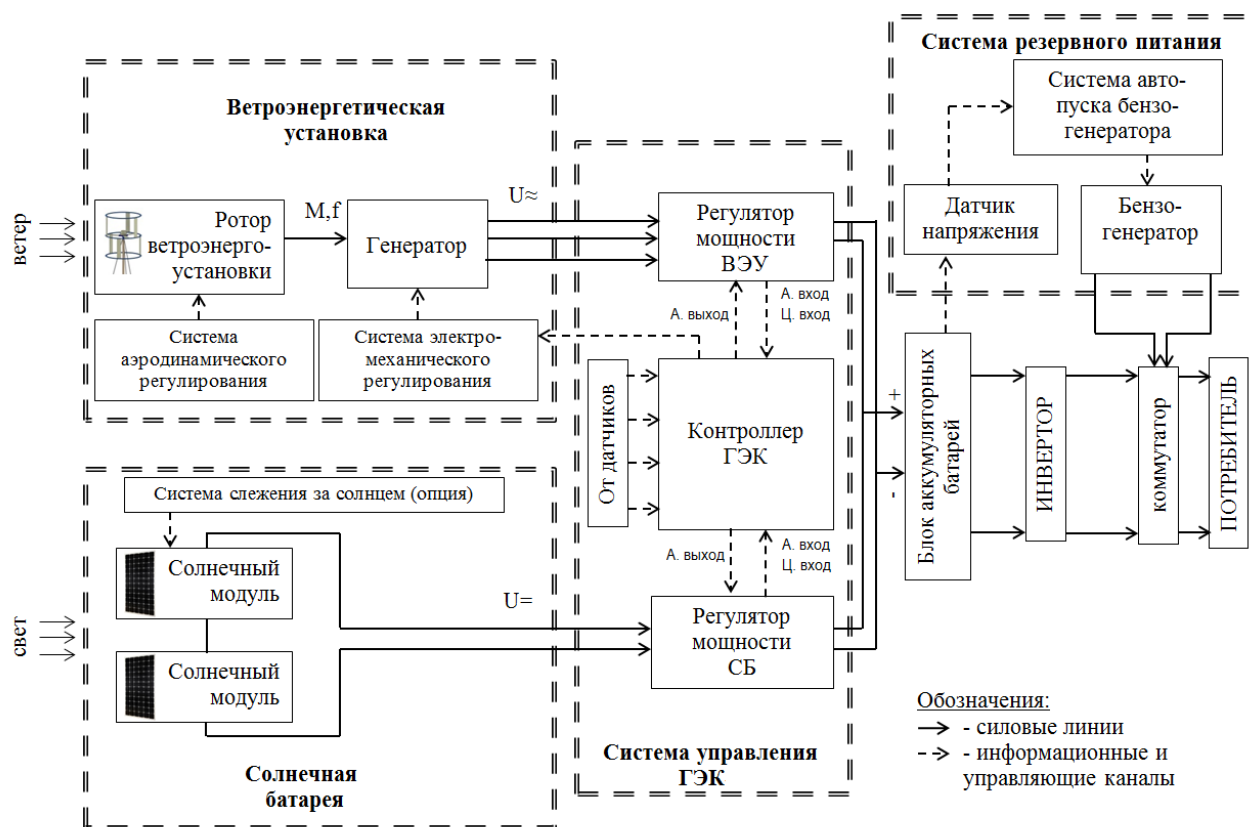


Рисунок 11 - Структурная схема ГЭК с подключенными входами выходами

Нам необходим контроллер, который будет иметь аналоговые и цифровые входы и аналоговые выходы. Необходим вход для интерфейса RS-485. С напряжением 5В.

Под данные критерии, например, подойдет контроллер фирмы velocio, Branch 1486v10.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Лист

47

Данный контроллер имеет 6 цифровых входов, 12 цифровых выходов, 4 аналоговых входа, 2 аналоговых выхода. Т.к. нам необходимо 4 аналоговых выхода, мы будем использовать 2 таких контроллера, подключенных друг к другу. Такая возможность у них имеется. Они могут подключаться друг к другу, для подключения большего количества устройств (рисунок 12).

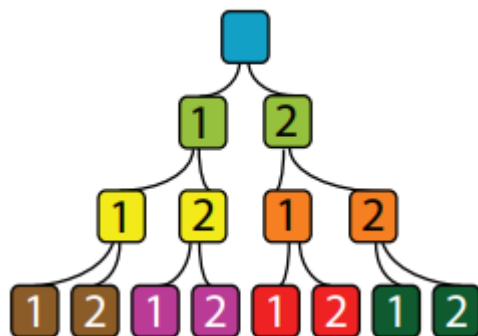


Рисунок 12 - Подключение контроллеров

Т.к. аналоговых и цифровых входов больше, чем нам необходимо, мы будем использовать их как резервные каналы. Аналоговых выходов ровно столько, сколько нужно, так что мы будем использовать цифровые выходы в качестве резервных каналов.

Принцип работы контроллера:

- Первым делом, контроллер получает сигналы на вход, которые передают информацию от подключенных устройств;
- Контроллер выполняет действия, предусмотренные программой;
- Контроллер устанавливает значения выходов;
- Контроллер выполняет дополнительные операции, необходимые для функционирования (диагностика, подготовка данных для отладчика, визуализация).

## 2.9 Импульсное регулирование мощности

Для начала, необходимо разобраться, что же такое шим. ШИМ (широкоимпульсная модуляция) - это способ управления подачей мощности к нагрузке.

Скважность – классификационный признак импульсных систем, выявляющий отношение периода повторений импульсов к длительности импульса (рисунок 13).

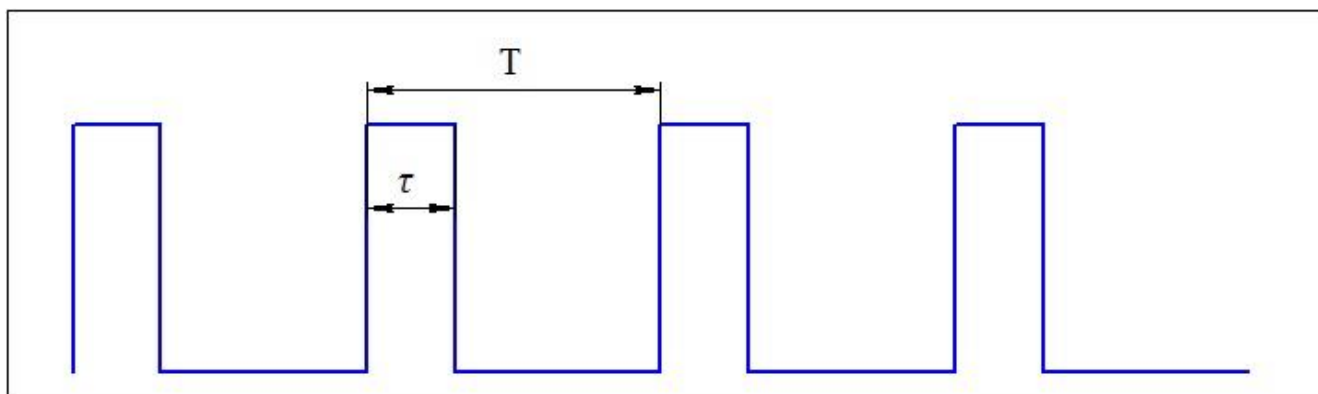


Рисунок 13 – Скважность

$$S = \frac{T}{\tau} \quad (1)$$

Где,

S – скважность,

T – период импульсов,

τ – длительность импульса.

Чтобы регулировать сигнал можно добавить в схему резистор, который посредством добавления сопротивления будет уменьшаться сигнал. Огромный минус данного способа заключается в огромных потерях энергии. На резисторе будет рассеиваться значимая часть энергии, что непозволительно при автономном питании от батарей и аккумуляторов.

Тогда нам на помощь приходит способ шим – регулирования. Данный способ подразумевает изменение длительности импульсов сигналов. Применение широтно-импульсной модуляции дает возможность повысить КПД.

В качестве коммутационных устройств, применяются транзисторы, работающие в ключевом режиме. Получается так, что долю периода транзистор полностью открыт, а другую долю – полностью закрыт.

И из-за того, что в переходных состояниях, которые длятся малейшие доли секунд, выделяемая на ключе мощность мала, в сравнение с коммутируемой

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Лист

49

мощностью, следовательно, мощность выделяемая на ключе в виде тепла (потерь) является незначительной. В замкнутом же состоянии сопротивление транзистора является незначительным, поэтому падение напряжения на нем близко к нулю.

В разомкнутом состоянии получается так, что проводимость транзистора близка к нулю, следовательно, ток через него практически не протекает. Именно данные явления и позволяет создавать преобразователи с маленькими потерями.

### 2.9.1 Регулирование рабочей точки СБ

Зарядка АБ при получении энергии от СБ является довольно сложным процессом. Раньше использовали обычные регуляторы заряда, просто включающие и выключающие СБ. Главной задачей данных контроллеров было предотвращение газообразности в АБ, в условиях производства СБ излишков энергии. Как бы то ни было, данный способ имел отрицательные стороны. При постоянном регулировании заряда (выключение-включение) происходил преждевременный выход из строя АБ, повышалась частота защитных отключений нагрузки.

Контроллеры с ШИМ применяют технологию, при которой когда напряжения на АБ повышается до определенного значения, снижается ток заряда для устранения перегрева или закипания АБ. Тем не менее, зарядка продолжается. Таким образом, сокращается и время зарядки АБ. В результате получается, что КПД является более высоким, наблюдается быстрый заряд, и исключаются вредные воздействия на АБ[14].

Данная технология увеличивает срок службы АБ, емкость АБ, позволяет лучше использовать энергию, получаемую от солнечных батарей.

### 2.9.2 Регулирование рабочей точки ВЭУ

Для выполнения функции контроля заряда существуют приборы, называемые контроллерами. Давайте разберем, что же они делают и почему они необходимы.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		50

Контроллер, в первую очередь, требуется для управления процессом заряда АБ. Данная функция является основной, однако можно выделить ряд подфункций данного устройства. К примеру, отслеживается ток заряда и ток саморазряда.

В режиме заряда АБ, возникают неприятные последствия, такие как деградация структуры аккумулятора. Происходит это из-за неконтролируемых химических процессов. Наблюдается неконтролируемый рост давления и температуры электролита. Также замечается утрата у АБ свойств подзарядки из-за длительного разряда[15].

## 2.10 Поиск точки максимальной мощности СБ

На вольт-амперной характеристике (ВАХ) СБ можно наблюдать уникальную точку, в которой достигается максимальная мощность на рисунке 14.

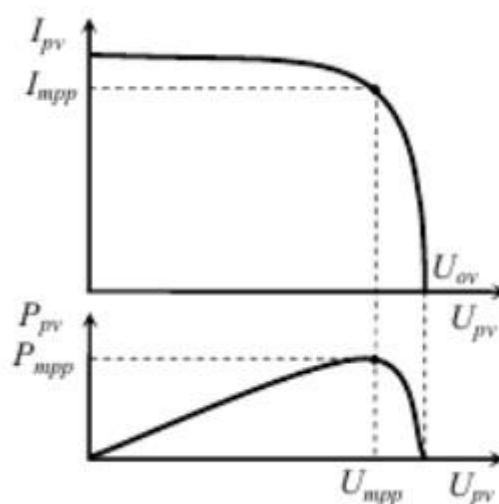


Рисунок 14 - Статические характеристики СБ

Чтобы получить максимально возможный КПД из солнечного модуля, необходимо использовать алгоритм поиска точки максимальной мощности (ТММ). Данная задача является непростой, в связи с нелинейностью характеристики СБ[16].

Все рассматриваемые далее традиционные методы слежения за ТММ могут быть классифицированы как методы возмущения и наблюдения. Типовая структура управления для традиционных методов слежения за ТММ показана на

рисунке 15. Основным звеном данной структуры можно считать преобразователь постоянного напряжения (ППН). Данное звено согласует выходное сопротивление СБ с сопротивлением нагрузки.

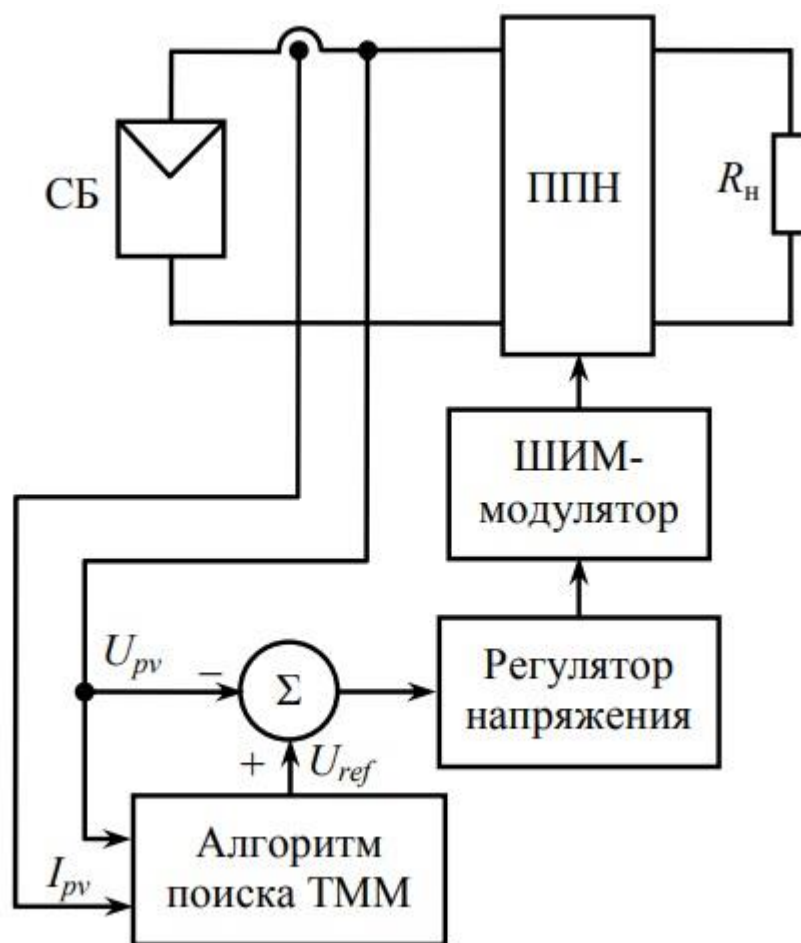


Рисунок 15 - Типовая структура управления для традиционных методов слежения за ТММ

### 2.10.1 Метод постоянного напряжения (CV).

Данный метод является одним из самых легких методов поиска ТММ. Он подразумевает регулирование выходного напряжения СБ, соответствующего значению источника напряжения  $U_{opt}$ . Данный метод представлен на рисунке 16. Алгоритм считает, что изменения температуры и солнечного излучения не являются существенными, а постоянного напряжения  $U_{opt}$  достаточно для достижения наилучших характеристик СБ вблизи ТММ. Из-за этого на практике данный алгоритм, алгоритм CV не работает идеально в ТММ при изменении параметров

окружающей среды. К тому же, необходимо максимально точно определить напряжение  $U_{opt}$ . В условиях слабой освещенности, как было замечено в работах [17,18], данный метод является более эффективным, по сравнению с методами, рассмотренными ниже, поэтому метод CV зачастую комбинируют с иными методами поиска ТММ.

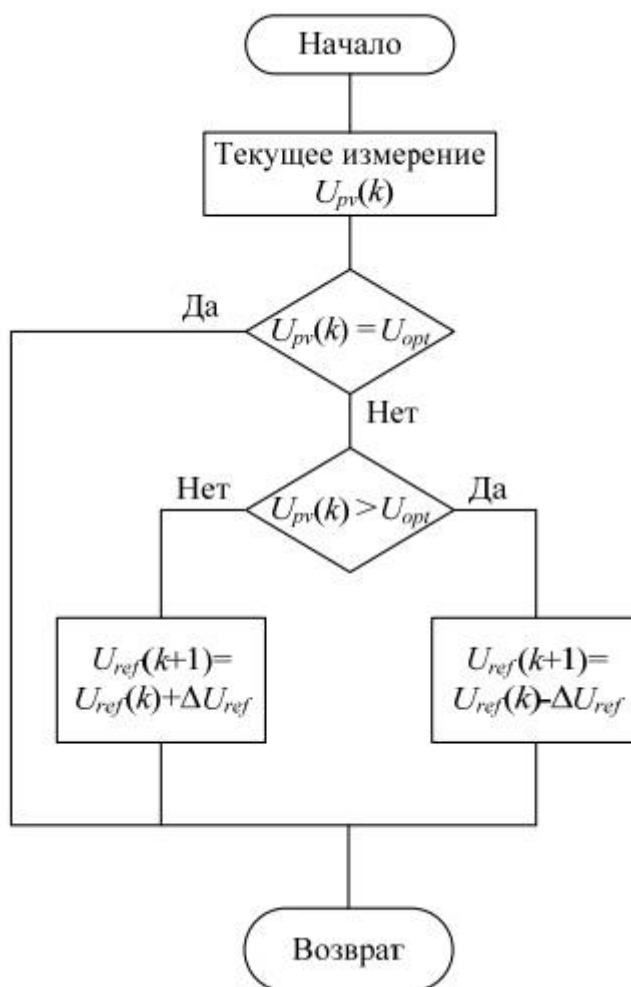


Рисунок 16 - Блок-схема метода постоянного напряжения (CV)

Где

$U_{pv}(k)$  – выходное напряжение солнечного модуля на  $k$  интервале поиска ТММ;

$U_{ref}(k)$  – опорное напряжение фотовольтаической системы, задающее напряжение на выходе солнечного модуля;

$\Delta U_{ref}$  – приращение опорного напряжения.

### 2.10.2 Метод холостого хода (OV).

Данный метод основан на известных данных, которые говорят, что напряжение ТММ всегда близко к напряжению х.х.[17]. Алгоритмом OV является установка оптимального напряжения равного 76% от напряжения х.х.  $U_{OV}$  и считается оптимальным, при котором можно получить максимальную выходную мощность. Контроллер ТММ на начальном этапе установки ФВ системы должен определить напряжение х.х. Данное действие требует кратковременного повторяющегося размыкания выходной цепи СБ, которое приводит к потере мощности. В работе [19] предлагалось использование цепочки из полупроводниковых диодов с р-п переходом, соединенных последовательно. Их напряжение должно быть выбрано пропорционально  $0,76U_{OV}$ . Данный подход предполагает, что температура цепочки диодов соответствует температуре СБ. От контроллера ТММ не требуется постоянное измерение напряжение х.х., и вычисление оптимального напряжения. Данный метод представлен на рисунке 17.

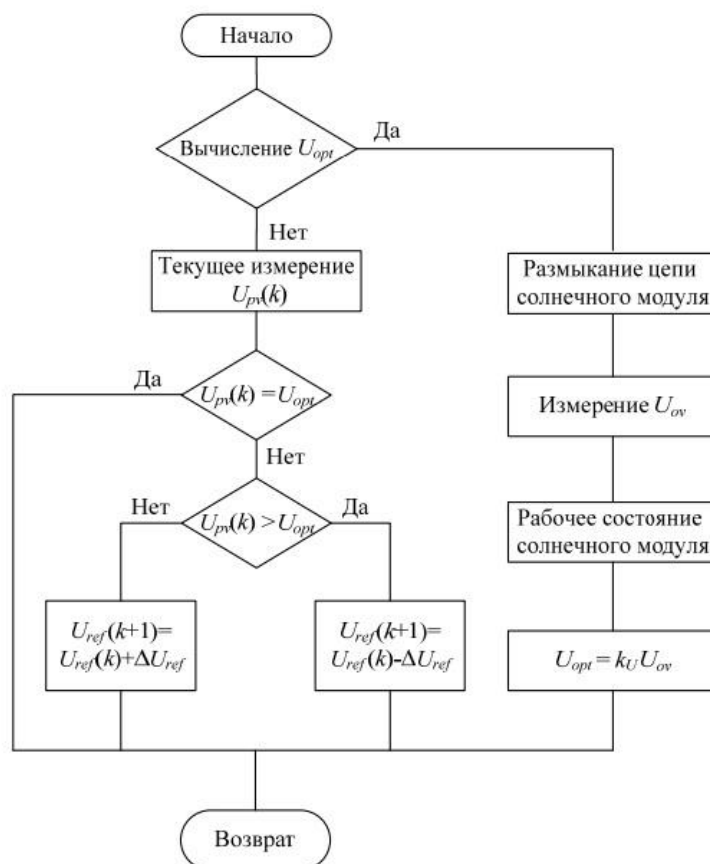


Рисунок 17 - Блок-схема метода х.х. (OV)



### 2.10.3 Метод короткого замыкания (SC).

В данном методе фиксируется ток СБ. Предполагается, что оптимальное значение выходного тока СБ прямо пропорционально току к.з.  $I_{SC}$  при различных уровнях освещения. Коэффициент пропорциональности  $k_I$  составляет 0,92 [17]. Получается, контроллер ТММ на этапе установки ФВ должен определить ток к.з. Это потребует кратковременного повторяющегося замыкания выходной цепи СБ, которое может привести к потере мощности. Как и в методе (OV) контроллер формирует опорное напряжение  $U_{ref}$ , которое соответствует оптимальному току  $I_{opt}$  на выходе СБ. На рисунке 18 показана схема метода короткого замыкания (SC). Данный метод широко используется на практике благодаря его реализации средствами аналоговой схемотехники [20].

Рассмотрим пример системы управления для метода к.з. Обобщенная схема СУ представлена на рисунке 19, а. На нем видно, что благодаря регулированию длительности открытого состояния ключа ток СБ  $I_{PV}$  следит за оптимальным значением тока  $I_{opt}$  (рисунок 19, б) в пределах заданного коридора тока (между точками  $A_1$  и  $A_2$  ).

Структура поиска ТММ методом к.з. (рисунок 20) имеет следующие блоки: Датчики тока (ДТ) для считывания тока СБ; определитель ошибки  $e$ , пропорциональной разности токов  $I_{opt} - I_{PV}$ ; регенеративный компаратор (DA3), который формирует логический сигнал для управления ключом регулятора напряжения; схемы оптической развязки (DA4); драйвера силового ключа (IRL2112).

Принцип работы СУ. В установившемся режиме рабочая точка СБ  $A$  перемещается между крайними значениями  $A_1$  и  $A_2$ . При выходе тока за нижнее значение на выходе компаратора формируется положительный уровень напряжения, который приводит к отпираанию силового ключа, тем самым увеличивая ток СБ. При выходе тока за верхнее значение, формируется отрицательный уровень напряжения, который приводит к запираанию силового ключа, тем самым уменьшая ток СБ.

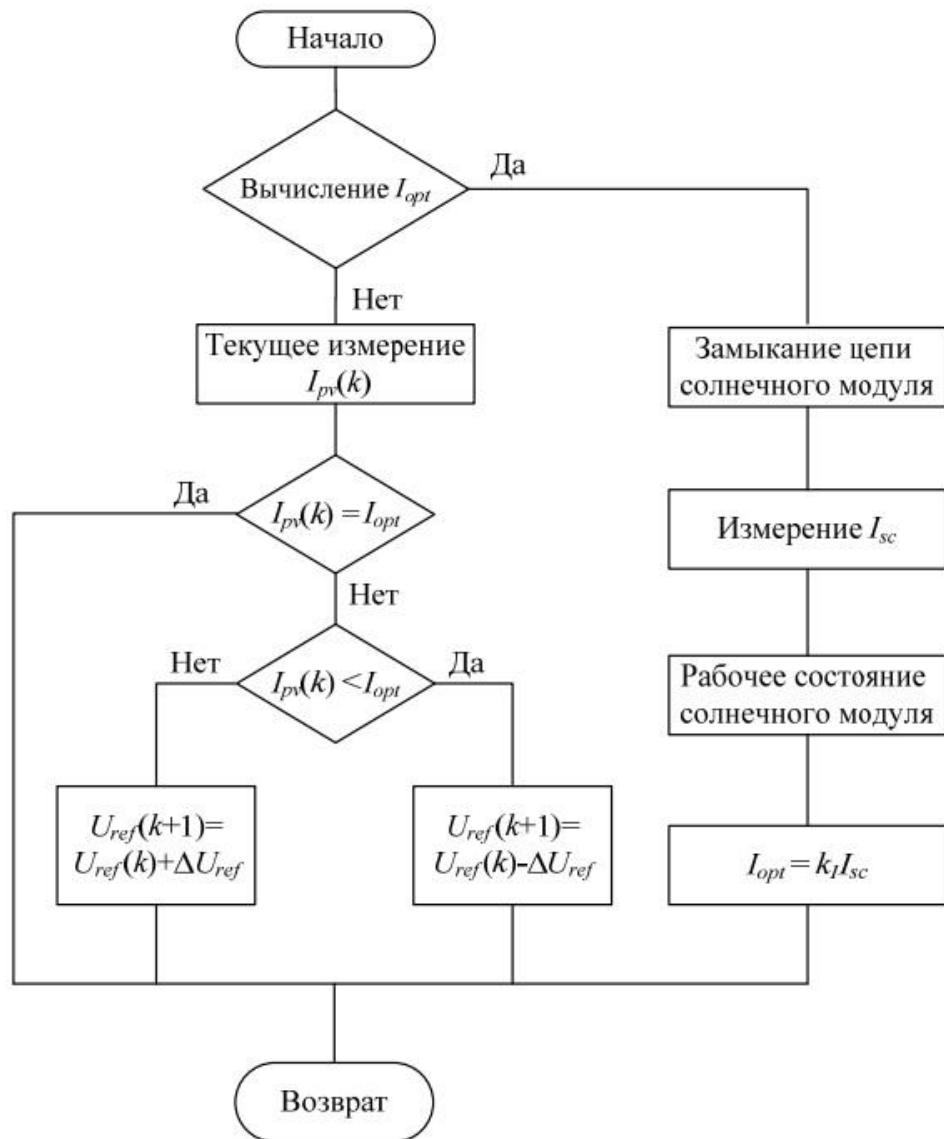


Рисунок 18 - Блок-схема метода к.з. (SC)

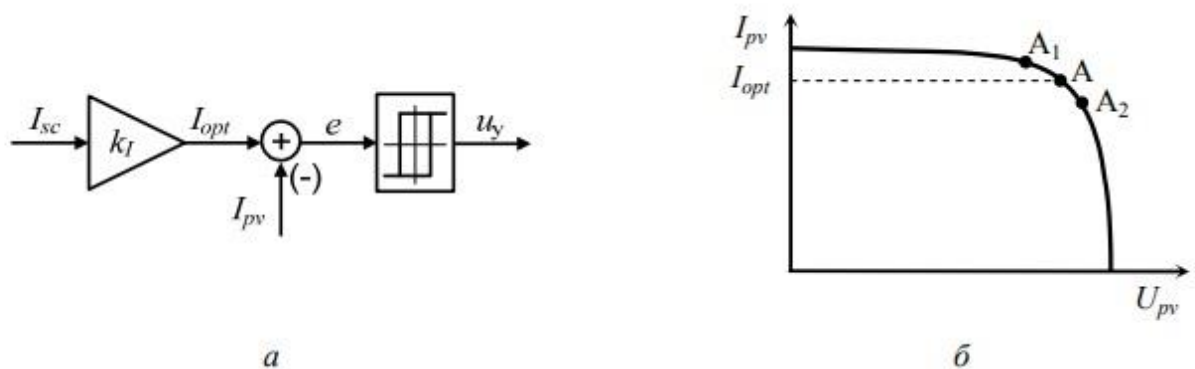


Рисунок 19 - Обобщенная структурная схема СУ (а) и положения рабочей точки на ВАХ СБ (б)

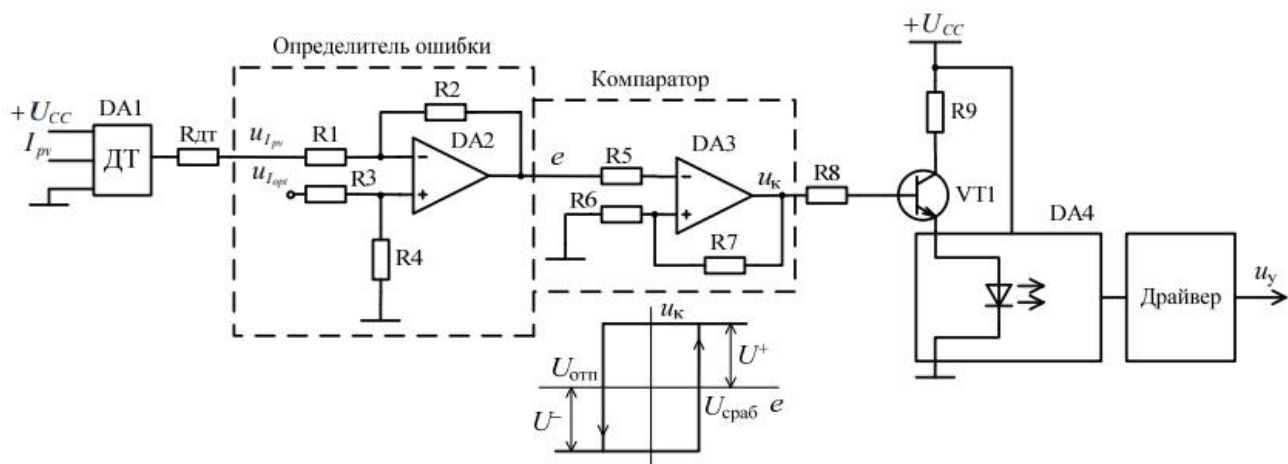


Рисунок 20 - Аналоговая система регулирования положения рабочей точки СБ

#### 2.10.4 Алгоритм возмущения и наблюдения (perturbation and observation – P&O).

Классический метод возмущения и наблюдения [17,21,22] работает следующим образом. Увеличивается или уменьшается опорное напряжение  $U_{ref}$  фотovoltaической системы для возмущения системы через равные промежутки времени и дальнейшего сравнения выходной мощности солнечного модуля на разных этапах. Если при изменении выходного напряжения СБ его мощность возрастает (переходы  $A_2 \rightarrow A_1$ ,  $B_2 \rightarrow B_1$  на рисунке 21, а), тогда СУ перемещает рабочую точку СБ в этом направлении; иначе знак приращения опорного напряжения  $\Delta U_{ref}$  изменяется, и рабочая точка СБ перемещается в обратном направлении. На каждом последующем этапе алгоритм продолжает работать также (рисунок 22).

Данный метод является довольно простым с точки зрения реализации алгоритма. На рисунке 22  $U_{PV}(k)$ ,  $I_{PV}(k)$ ,  $P_{PV}(k)$  – напряжение, ток и мощность СБ на  $k$  интервале поиска ТММ;  $U_{ref}(k)$  – опорное напряжение ФВ системы, задающей напряжение на выходе СБ.

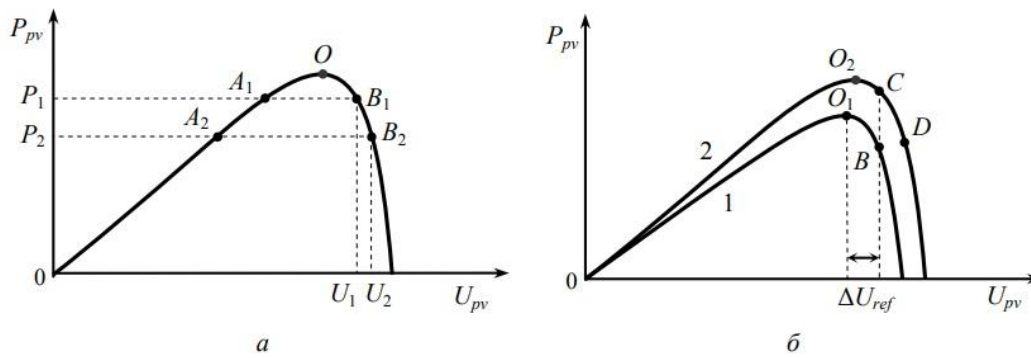


Рисунок 21 - Движение рабочей точки СБ в условиях постоянного (а) и переменного (б) солнечного излучения

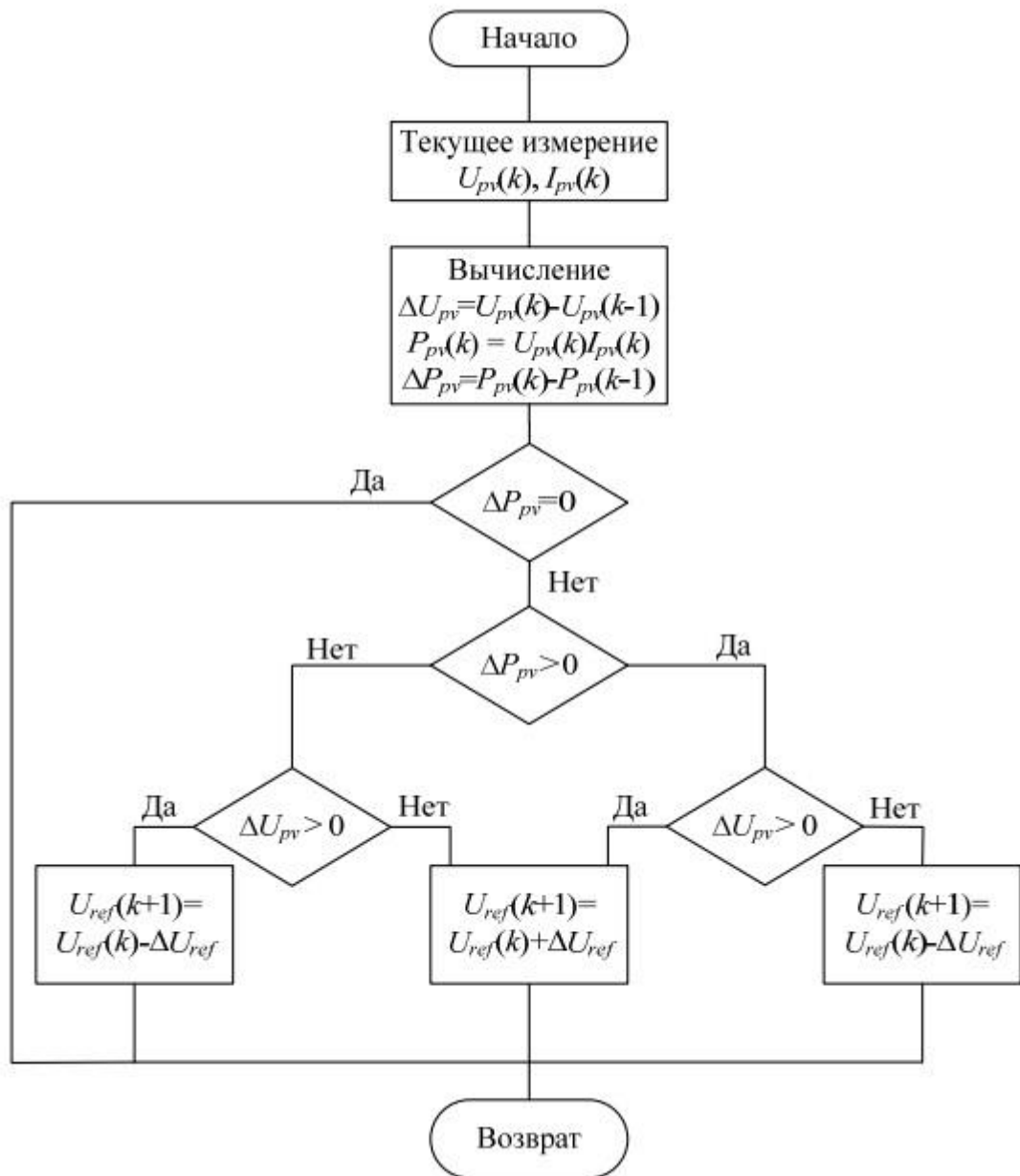


Рисунок 22 - Блок-схема алгоритма возмущения и наблюдения (P&O)

Данный алгоритм обладает хорошими характеристиками в условиях медленного изменения солнечного излучения. В установившемся состоянии рабочая точка колеблется вокруг номинального напряжения, которое соответствует ТММ. Установившиеся колебания подчиняются размеру шага возмущения и частоте возмущения. Частота возмущения должна быть невеликой, дабы ФВ система смогла достичь установившегося состояния.

Недостатком данного метода является его неэффективность при низком солнечном излучении. По этой причине предлагаются некие решения. Например, в работе [23] алгоритм Р&О объединен с алгоритмом постоянного напряжения (CV) для отслеживания ТММ при разных условиях окружающей среды (низких и высоких уровнях солнечного излучения). Общий алгоритм заставляет оставлять открытое состояние силового ключа длительно, дабы приравнять выходное напряжение СБ 76% от напряжения х.х., которое будет являться отправной точкой контроллера ТММ. Далее рассчитывается выходной ток СБ. При превышении током уровня, соответствующего минимальной мощности солнечного излучения, алгоритм использует метод Р&О, иначе используется алгоритм CV. В данном методе эффективность отбора солнечной энергии составляет от 95% до 99% в широком диапазоне солнечного излучения.

В условиях быстро изменяющихся уровня освещенности данный метод показывает себя не лучшим образом. На рисунке 21, б показывается уход алгоритма от правильного направления поиска ТММ.

#### 2.10. 5Алгоритм возрастающей проводимости (IC).

В ТММ выполняется равенство:

$$\frac{dP_{PV}}{dU_{PV}} = \frac{d(U_{PV}I_{PV})}{dU_{PV}} = I_{PV} + U_{PV} \frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} = 0, \quad (2)$$

которое можно преобразовать к виду:

$$\frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} + \frac{I_{PV}}{U_{PV}} = 0, \quad (3)$$

где  $I_{PV}$  и  $U_{PV}$  – ток и напряжение солнечного модуля;  $\frac{I_{PV}}{U_{PV}}$  – проводимость солнечного модуля;  $\frac{dI_{PV}}{dU_{PV}}$  – инкрементная (возрастающая) проводимость. При отсутствии изменения тока СБ  $dI_{PV} = 0$ , вызванное изменением интенсивности солнечного излучения, выполнение условия (3) позволяет СУ поддерживать номинальное напряжение.

В начале алгоритма производятся измерения значений тока  $I_{PV}(k)$  и напряжения  $U_{PV}(k)$  СБ (рисунок 23). Далее вычисляется приращение тока  $\Delta I_{PV}$  и напряжения  $\Delta U_{PV}$ . Главной задачей является проверка уравнения (3), по результатам которой будет изменяться опорное напряжение  $U_{ref}$ , которое задает напряжение на выходных зажимах СБ. При

$$\frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} + \frac{I_{PV}}{U_{PV}} < 0 \quad (4)$$

рабочая точка  $P_{PV}(U_{PV})$  находится справа от ТММ, поэтому опорное напряжение уменьшается. При

$$\frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} + \frac{I_{PV}}{U_{PV}} > 0 \quad (5)$$

рабочая точка находится слева от ТММ, опорное напряжение увеличивается.

$\Delta U_{PV} = 0$ . Данное действие включено в алгоритм для определения потребности в коррекции опорного напряжения, если это не первый этап нахождения ТММ.  $\Delta I_{PV} \neq 0$  определяет в какую сторону необходимо сместить  $U_{ref}$ .

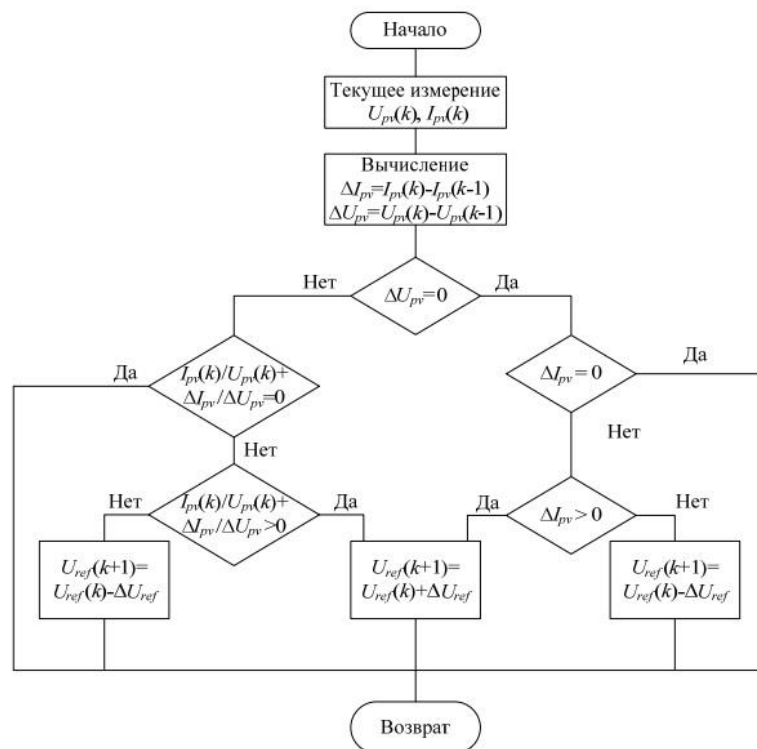


Рисунок 23 - Блок-схема алгоритма возрастающей проводимости (IC)

## 2.11 Поиск точки максимальной мощности ВЭУ

Для ВЭУ методы поиска ТММ аналогичны поискам ТММ для СБ, которые были рассмотрены выше.

### Выводы

Самым простым методом является метод постоянного напряжения (CV) в связи с простотой. Для наибольшей эффективности к данному методу добавляют метод возмущения и наблюдения.

### 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для создания модели солнечной батареи для начала необходимо разобраться как она будет выглядеть. Нам нужно создать систему, которая будет вырабатывать энергию только днем. Для этого мы можем использовать диод, который пропускает ток только в одном направлении. За счет этого система не будет производить ток и напряжение. Тогда модель будет выглядеть следующим образом (рисунок 24).

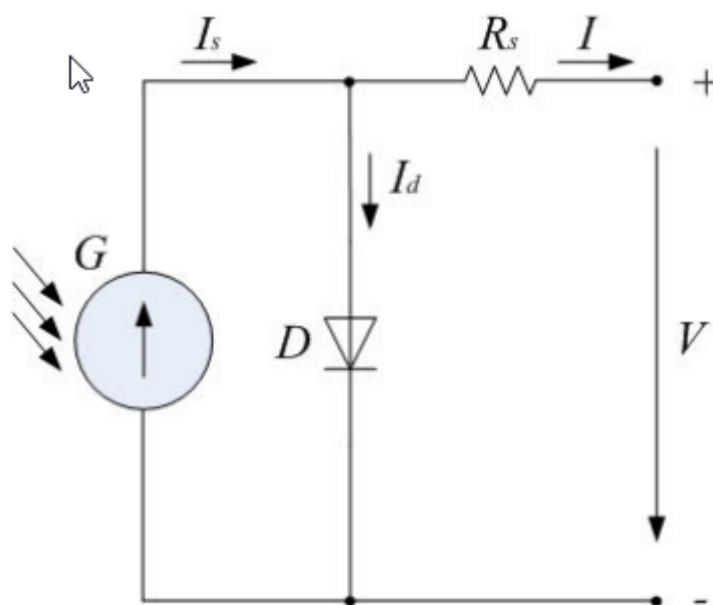


Рисунок 24 - Эквивалентная схема солнечной батареи

Сама система в Simulink будет выглядеть следующим образом (рисунок 25).

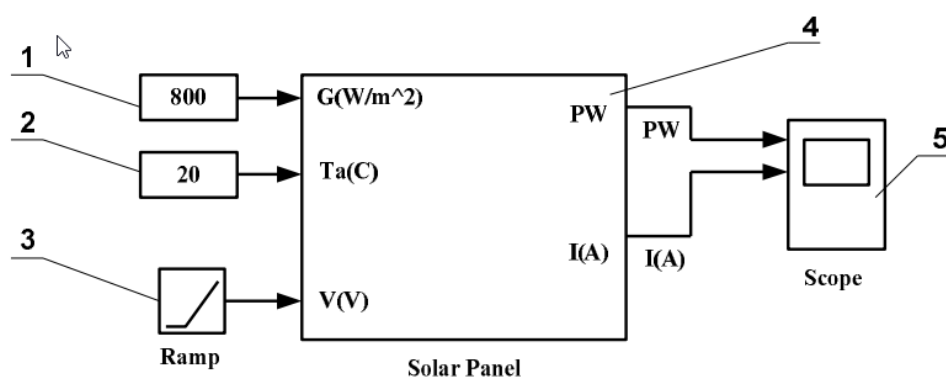


Рисунок 25 – Вид модели солнечной батареи в Simulink



1 – Блок Constant задает значение интенсивности солнечного света; 2 – блок Constant задает значение температуры модуля; 3 – блок Ramp задает изменение напряжения с изменением температуры; 4 – блок Subsystem содержит в себе все составляющие батареи; 5 – блок Scope – осциллограф

Блок SolarPanel ( subsystem) имеет следующие настройки (рисунок 26).

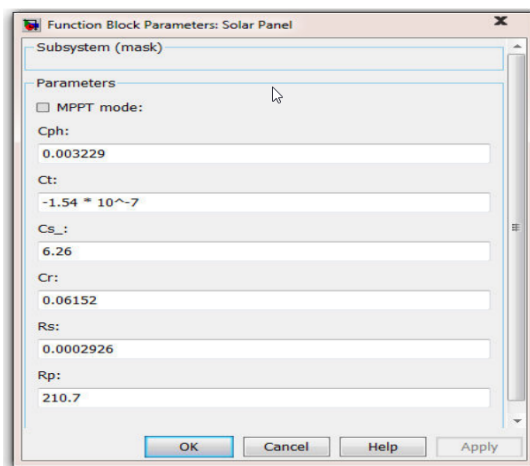


Рисунок 26 - Настройки блока Subsystem

Далее необходимо разобраться в данных, которые нам будут необходимы. Нам нужно, чтобы система показывала мощность и ток. Начнем с тока.

Рабочий ток в данной системе будет равен:

$$I = I_{ph} - I_{sat} (e^{q(U+IR_s)/nkT} - 1), \quad (2)$$

где  $I_{ph}$  – световой ток;  $I_{sat}$  – обратный ток насыщения диодов;  $R_s$  - последовательное сопротивление;  $U$  – рабочее напряжение;  $I$  – рабочий ток;

$q = (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})$  – заряд одного проводника;  $n$  – диод, фактор идеализации;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура перехода в градусах Кельвина. Расчет тока в системе Simulink представлен на рисунке 27.

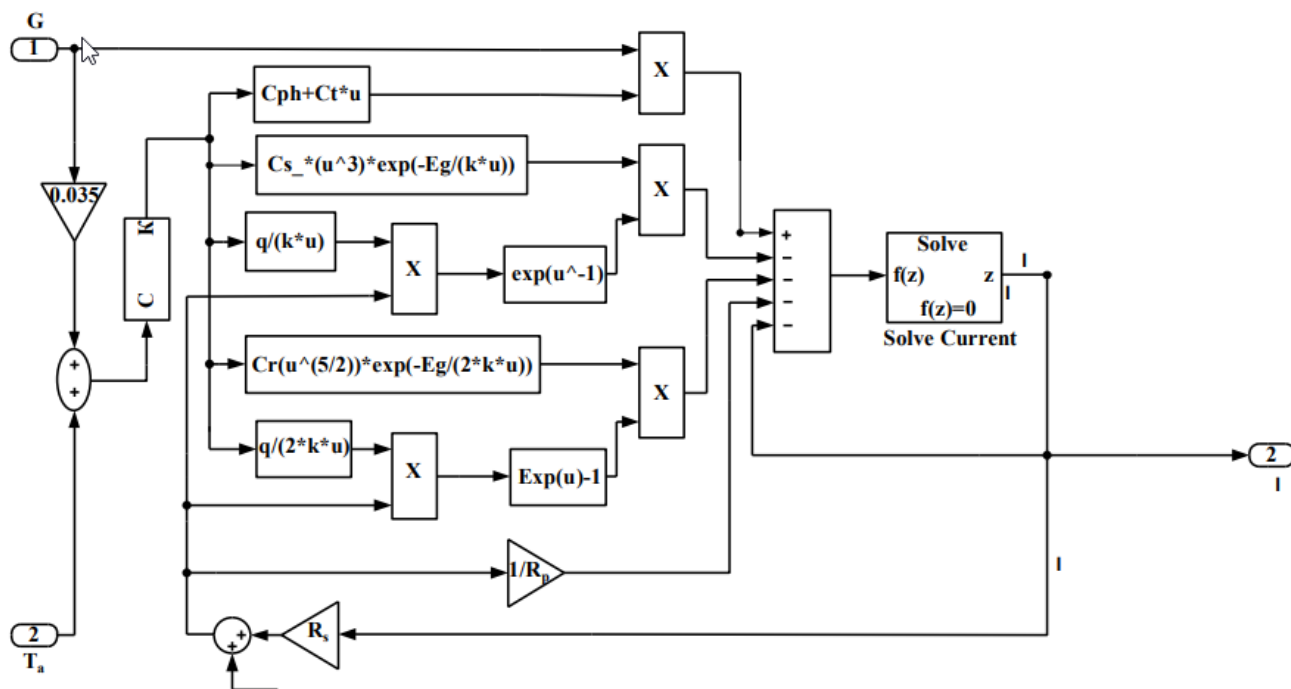


Рисунок 27 - Контур расчета тока

Выходной ток прямо пропорционален энергии солнечного излучения (G). Существует коэффициент, учитывающий температуру нагрева:

$$I_{ph} = (G, T) = I_{scs} \cdot \frac{G_a}{G_{as}} + \alpha_{scT} (T - T_s), \quad (3)$$

где  $I_{scs}$  – ток короткого замыкания при нормальных условиях работы;  $G_a$  - солнечное излучение;  $G_{as} = 750 \text{ Вт/м}^2$  – солнечное излучение при нормальных условиях работы;  $\alpha_{scT}$  – температурный коэффициент тока короткого замыкания;  $T$  – температура СБ (°C);  $T_s = 25 \text{ °C}$  – температура батареи при стандартных тестовых условиях.

Для мощности:

$$P = U \cdot I = U \cdot I_{ph} - I_{sat} (e^{q(U+IR_s)/nkT} - 1) \quad (4)$$

В Simulink расчет мощности показан на рисунке 28.

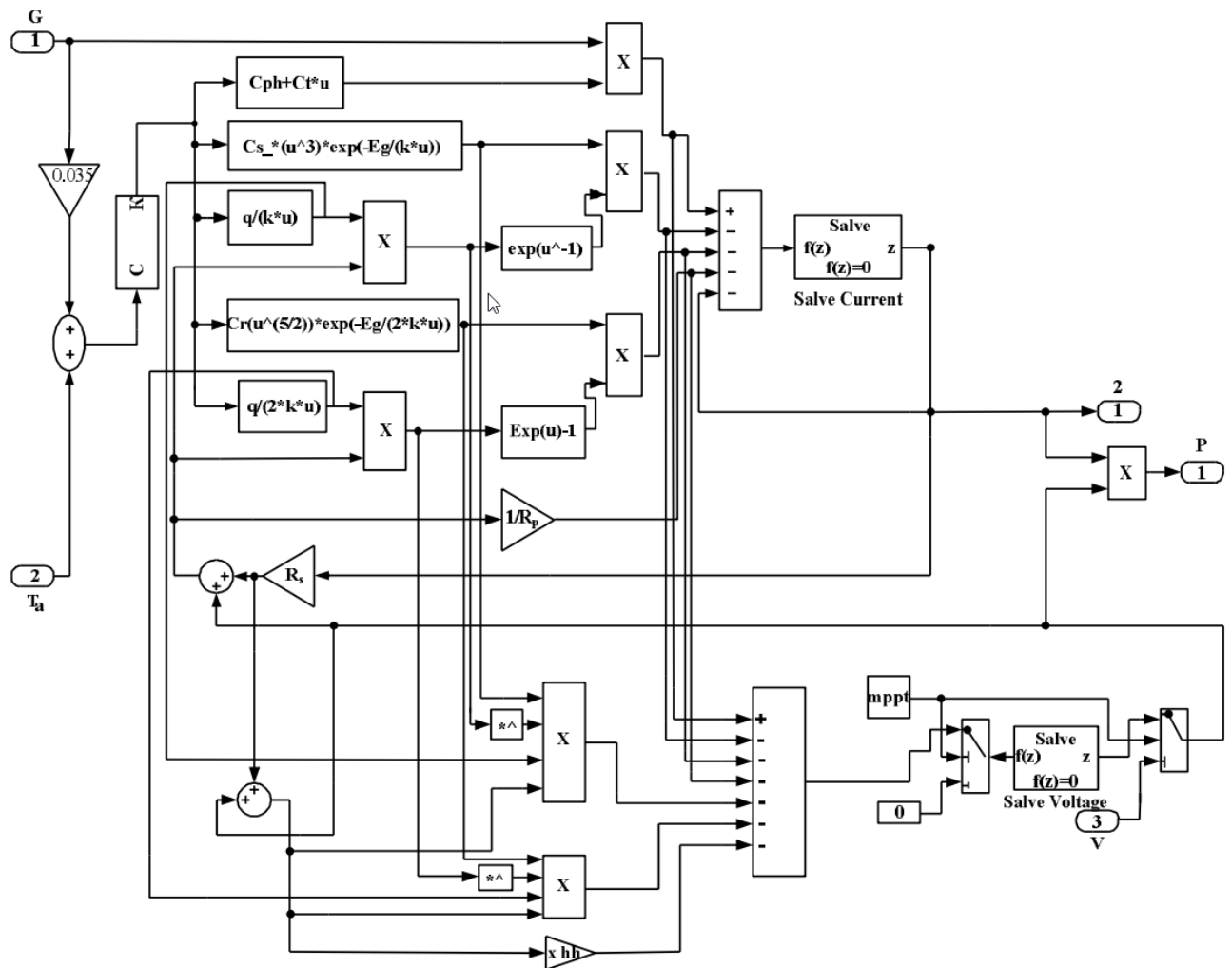


Рисунок 28 - Контур расчет мощности

В реальных условиях мощность рассчитывается по другому.

$$U_{oc}(G, T) = U_{ocS} + \beta_{ocT}(T - T_s) + \frac{kT}{q} \ln(I_{mpp}/I_{scs}), \quad (5)$$

где  $U_{ocS}$  – напряжение разомкнутой цепи при стандартном тестовом условии;  $\beta_{ocT}$  – температурный коэффициент напряжения разомкнутой цепи;  $I_{mpp}$  – ток в контроллере точки максимальной мощности.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Лист

65

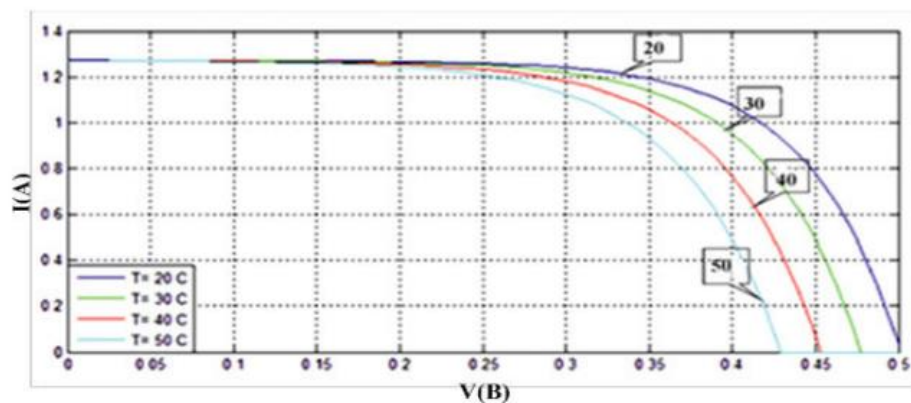


Рисунок 29 - ВАХ СБ при различных значениях интенсивности солнечного излучения

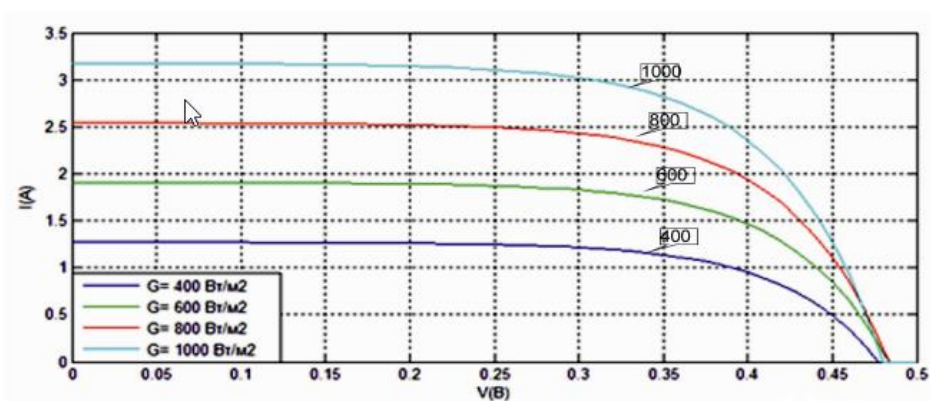


Рисунок 30 - ВАХ СБ при различных значениях температуры окружающей среды

### Выводы.

Характеристики, полученные в Simulink, соответствуют результатам, полученным экспериментальным путем.

## 4 ОХРАНА ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭК

### 4.1 Факторы риска при эксплуатации системы

При эксплуатации системы атомного электроснабжения не стоит забывать о факторах риска, которые в процессе эксплуатации, а так же при монтаже и ремонте могут отрицательно повлиять на ваше здоровье.

Следует помнить, что в процессе работы с любой электрической системой, существует определенные риски поражения электрическим током. В данном гибридном энергокомплексе источниками тока являются, непосредственно солнечные батареи, а так же ветрогенератор[24].

Солнечные батареи и ветрогенератор устанавливают на высоте, как правило на крыше жилого дома и на специальной мачте, соответственно. В случае с солнечными батареями это делается для того, чтобы в первую очередь позволить солнечным лучам беспрепятственно падать на коллектор, а так же для экономии места. Ветрогенератор устанавливают на специальных мачтах, чтобы потоки ветра были, как и солнечные лучи в случае с солнечной батареей беспрепятственно подали на лопасти турбины. Вследствие всего этого, появляется еще один фактор риска – работа на высоте[24].

При работе по обслуживанию и эксплуатации ветрогенератора не стоит так же забывать еще о некоторых рисках. В первую очередь ветрогенератор источник переменного напряжения. Так же в нем имеются различные движущиеся части, которые при не соблюдении определенных мер безопасности могут причинить вред здоровью.

При эксплуатации аккумуляторных батарей так же следует помнить о мерах безопасности. Работа по обслуживанию аккумуляторных батарей тоже подвержена определенным рискам, так как они накапливают электрическую энергию. Так же работа с электролитом, который находится внутри аккумуляторных батарей, тоже требует определенных знаний[24].

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		67

#### 4.2 Опасность поражения электрическим током

Одним из самых опасных факторов риска является опасность поражения электрическим током. Для того, чтобы избежать это используют некоторые способы: в первую очередь применяют защитные ограждения, защитные блокировки, используют заземлители, внедряют в систему защитную изоляцию.

При использовании защитных ограждений практически исключается риск даже самого случайного прикосновения человека к токоведущей части. Защитные ограждения устанавливают вокруг опасных зон, например, электрических сетей, оборудования. Защитные ограждения нужны в любом случае, так как даже если человек знает о наличии опасного для его жизни и здоровью напряжения, никто не застрахован от случайного прикосновения к токоведущей части[24].

Еще один фактор, который может привести к поражению человека электрическим током это возможность неожиданного включения электрического оборудования. Для того чтобы свести возможность неожиданного включения оборудования в процессе эксплуатации используют защитные блокировки. Защитные блокировки это часть электротехнической защиты. В результате срабатывания защитной блокировки происходит полное обесточивание электрического оборудования и оно отключается, в результате этого возможность получения различных травм из-за неожиданного включения оборудования сводится к нулю. Так же в процессе установливания защитной блокировки всегда учитывают человеческий фактор (неверное поведение человека в той или иной аварийной ситуации, сложившейся в результате эксплуатации)

Один из средств временной защиты являются переносимые заземлители. Их используют в процессе работы на отключенных участках системы. Это делается для того, чтобы если вдруг по какой-либо причине в отключенной части системы, где в настоящее время проходят работы, появится опасное для жизни и здоровья рабочего персонала напряжение, оно не могло причинить никакой вред здо-

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		68

ровью. Поскольку напряжение в том случае, если заземлители установлены, пойдет по ним и уйдет в землю[24].

Еще один достаточно эффективный метод защиты человека от электрического тока – защитная изоляция рабочего места. Данная система представляет собой ряд мер, которые направлены на предупреждение и предотвращения возможности образования электрической цепи «человек-земля». Защитная изоляция позволяет снизить ток, который может быть опасен для человека, путем повышения сопротивления электрической цепи.

Так же защитить человека от опасного для него электрического тока можно с помощью ряда технических мер. К техническим мера относятся: своевременный контроль над изоляцией, разделение сетей, использование низких напряжений питания, использование защитного заземления и использование защитного отключения и зануление[24].

Трансформаторы, как правило используют для разделение электрических сетей, что и является довольно эффективной мерой защиты. Трансформаторы разделяют одну электрическую сеть на отдельные, обособленные друг от друга участки. В том случае, если в сетях используется изолированные нейтраль, то из-за разделения сети происходит увеличение сопротивления изоляции и уменьшение емкости относительно земли, в результате это приводит к выравниванию всей электрической цепи[24].

Еще одним методом, который позволяет достаточно снизить риски на наиболее опасных участках является использование низких напряжений на этих участках. Низкое напряжение это напряжение не превышающее значение в 42 В, его можно получить с помощью понижающего трансформатора.

Для того, чтобы избежать определенных рисков поражения электрическим током следует проводить своевременный контроль защитной изоляции, которые может привести к обнаружению и устранению дефектов в ней и позволит поддерживать изоляцию в требуемом уровне[24].

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение сети с землей, или с ее эквивалентом. С его помощью происходит снижения значения напряжения относительно земли. Заземление обычно применяют в сетях, напряжение которых не превышает величину 1000 вольт, это сети с изолированной нейтралью.

Очередной способ защиты – это внедрение двойной изоляции. Это делают с помощью соединения дополнительной и рабочей изоляции. Данная процедура позволяет увеличить надежность защиты[24].

Защитное отключение это еще одна из мер защиты. Время срабатывание защитного отключения достаточно мало. Данная защита практически мгновенно отключается оборудование, которые находится под напряжением, все это происходит автоматически. Основные характеристики защитного отключения – быстрдействие и точка срабатывания[24].

Зануление – это преднамеренное соединение металлических проводников, которые в настоящее время находятся не под напряжением, но при возникновении аварийной ситуации могут оказаться под напряжением, с нулевым проводником. Зануление применяется в сетях с глухозаземленной нейтралью до 1000 Вт. В результате использования зануления понижается вероятность поражения человека током при аварии.

#### 4.3 Опасность работы на высоте

Плановое обслуживание, а так же ремонт солнечных панелей и ветрогенераторов непосредственно связаны с работами на высоте.

Работы на высоте – работы, при выполнении которых существуют риски возможного падения человека с высоты 1,3 метра и более.

Так же к работам на высоте можно отнести следующее:

- Подъем человека на лестницу высотой пять более метров, которая имеет угол наклона более 750

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		70



- Проведения работ на площадках на расстоянии менее, чем два метра от не огражденных перепадов высот более 1,8 метра, а так же в тех случаях, когда высота ограждений не превышает 1,1 метра.

Так же работы на высоте, в зависимости от условий производства, делятся на:

- Работы, которые выполняют на высоте без использования специальных средств таких как: леса, вышки, лестницы и тд. Так же к этому типу работ можно отнести работы, которые выполняются на площадках, где высота защитных ограждений более 1,1 м.
- Работы, которые выполняются без использования специальных средств, а так же работы, которые выполняются на высоте 5 метров и более. Еще в данному виду работ можно отнести работы, которые выполняются на расстоянии менее чем 2 метра от не огражденных перепадов высот более 5 метров. Работы, которые выполняются на площадках без ограждения или при высоте ограждения менее 1,1 м.

При работах на высоте, необходимым требованием является использование специальных страховочных средств, которые предотвращают от падения, к ним относятся монтажный пояс, страховочный канат, и специальные каски, для защиты головы.

Используемые средства защиты должны иметь все сертификаты качества и все они должны быть проверены[24].

#### 4.4 Правила техники безопасности при эксплуатации ветроэнергетической станции

Эксплуатация ветроэнергетикой станции должна быть организовано так, чтобы можно было обеспечить, энергетически, технически и экономически эффективную эксплуатацию.

В процессе эксплуатации ветроэнергетической станции должен быть обеспечен надёжный, экономичный и самое главное безопасный режим работы. Так же должно быть обеспечено надежная работа устройств контроля и защиты.

Потребитель, который получает энергию от ветроэнергетической станции, а так же который осуществляет управление станции, должен находиться на уровне земли[24].

Пульт управление ветроэнергетической станцией можно располагать в помещении, которое подходит для условий эксплуатации ветрогенераторов при одном условии, что при необходимости ремонта в данное помещение можно беспрепятственно проникнуть.

Если необходимы какие-либо профилактические испытание ветроэнергетической станции, то их нужно проводить согласно инструкциям эксплуатации электрооборудования.

В зависимости от технического состояние, нужно производить контроль и проверку технического состояния, а так же производить текущий ремонт оборудования при необходимости[24].

При сборке, а так же эксплуатации ветроэнергетической установки нужно строго соблюдать инструкции и правила эксплуатации. Малейшие отклонения от норм и правил может привести к поломке ветроэнергетической станции, что может повлечь за собой, как и моральный вред, так и вред здоровью людей, находящихся в непосредственной близости от ветроустановки.

Подключаемые провода и кабели необходимо изолировать, во избежание случайного попадание под напряжение, как рабочего персонала, так и обычных людей[24].

При первом введение в эксплуатацию ветроэнергетической установки нужно наблюдать за ее работой в течение 2-3 часов. Необходимо убедиться в отсутствие, каких либо вибраций, стуков, хлопков, наличие которых говорит о неправильной работе системы, в случае, если система работает неверно, нужно немедленно остановить работу станции.

Введение в эксплуатацию ВЭУ недопустимо при ветре больше 5м/с.

Недопустимо изменять конструктивные и регулировочные параметры ветроэнергетической установки[24].

Запрещается подавать любое напряжение на электрогенератор с целью его запуска.

Необходимо организовать молниезащиту установки посредством установки молниеотводов.

#### 4.5 Меры предосторожности при эксплуатации аккумуляторных батарей

В процессе эксплуатации аккумуляторных батарей необходимо помнить и соблюдать ряд правил, в противном случае это может привести к получению травм разной степени.

Необходимо помнить про специальную защиту: сапоги, перчатки и резиновый фактор. Данная одежда необходима в процессе переноски и снятия аккумуляторных батарей. Защитная одежда нужна для того, чтобы защитить кожу человека, а так же его обувь и одежду, от попадания на них электролита, который при попадании на одежду и обувь разъедает ее, а на коже оставляет ожоги.

В том случае, если электролит все таки попал на кожу, его нужно немедленно смыть с нее сильной струей 10% раствора сода или нашатырного спирта[24].

Запрещается хранить продукты питания в тех помещения, где происходит обслуживание и ремонт аккумуляторных батарей.

Аккумуляторные батареи необходимо хранить в частоте. Их нужно чистить, и протирать их приблизительно каждые 15 дней. Делать это лучше 10% растворе спирта. Это делается для того, что нейтрализовать серную кислоту.

Необходимо систематически прочищать отверстия в пробках, в противном случае данные отверстия засоряются, и в аккумуляторных батареях создается избыточное давление газов, что в свою очередь приводит к разрушению аккумуляторных батарей[24].

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		73

Выводы и зажимы аккумуляторных батарей необходимо периодически очищать от окисления. Это нужно делать для того, чтобы избежать дальнейшее их сильное окисление. Контакт между зажимами проводов и выводами

аккумуляторной батареи должен быть достаточно плотный, в противном случае зажимы могут слететь, что может повлечь за собой короткое замыкание цепи, искрение и последующий быстрый разряд аккумуляторных батарей.

Газа, который выделяется из аккумуляторных батарей в процессе зарядке, отрицательно сказывается на слизистой оболочке глаза и на дыхательных путях, могут привести к их раздражению. Поэтому в процессе зарядки аккумуляторной батареи запрещается близко наклоняться к ней[24].

Строго запрещается соединять несколько аккумуляторов в аккумуляторную батарею при помощи проволоки.

#### 4.6 Молниезащита

Молниезащита – это неотъемлемая часть любой электрической системы. Само по себе молния это полностью природное явление. Хотя вероятность поражения человека молнией достаточно мала, но если такое случиться, это может оказать сильный вред здоровью человеку, вплоть до летального исхода

Молниеотводы – это специальные элемент, который применяется в системах молниезащиты. Молниеотводы состоят из контура заземления, токоотвода и молниеприемников.

Молниеприемник это элемент, который принимает на себя электрический разряд. Молниеприемники должны быть соединены со всеми металлическими предметами в том месте, где они установлены.

Существует три вида молниеприемников: молниеприемник в виде металлического штыря длиной 0,5 – 1,5м, молниеприемник в виде металлического троса, молниеприемник в виде защитной сетки[24].

Первый тип обычно монтируется вертикально в какое-нибудь самое высокое место. Данный молниеприемник сделан из специальных материалах, которые

не окисляются, чаще всего это оцинковка или медь. Такие типы молниеприемников имеют всегда примерно одинаковый диаметр в 12 мм.

Второй тип обычной натягивают между двумя опорами на высоте 1 - 2 м от конька кровли. Опоры могут быть, как деревянные, так и металлические. Для достижения наибольшей прочности выбирают металлические опоры, но при это такой молниеотвод должен быть отделен от опор изоляторами.

Третий тип молниеприемников обычно монтирую вдоль конька кровли.

Токоотводы напряются по всей площади сетки, токоотвод, в свою очередь, заземлены.

Токоотвод нужен для того, чтобы отводить разряд молнии, попавший в молниеприемник, контуру заземления.

Обычно токоотвод делают из стальной проволоки, которую закрепляют к молниеприемнику[24].

Бывают случаи, когда требуются несколько токоотводов. Для чтобы разместить их, нужно выполнить некоторые условия. Во-первых, минимальное расстояние между токоотводами должно быть не меньше 25 метров. Во-вторых, токоотводы необходимо отдалить на максимальное расстояние от окон и дверных проемов, если такие имеются.

Длина токоотводов должна быть как можно короче, так же он должен проводить рядом с местами повышенной опасности.

Контур заземления нужен для обеспечения контакта между токоотводом и землей. Он состоит из трех электродов, которые соединены между собой. Электроды в свою очередь устанавливаются в землю.

Заземлитель – это стальной прут с сечением 80 мм, который укладывается в траншею, длина которой обычно 3 метра, а глубина около 0,8 метра. По разные стороны траншеи в землю заколачивают два стальных прута и сваривают друг с другом. От такой конструкции проводят отвод к токоотводу[24].

Осмотр всех элементов молниеотвода нужно проводить минимум один раз в год. Если какой-то из элементов системы неисправен, то необходима его немед-

ленная замена. Один раз в три года необходимо зачищать контакт, подтягивать соединения, а так же проверять соединения электродов и наличие коррозии на них. В том случае, если сечения какого-либо из компонентов системы сократилось минимум на треть, необходимо данный компонент заменить[24].

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		76

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был изучен метод системы управления. Были рассмотрены требуемые для системы управления параметры, для лучшего слежения и эксплуатации ГЭК. Был выбран интерфейс для работы и были рассмотрены его качества.

Была построена модель в системе моделирования Simulink. В ней были учтены необходимые требования.

Была рассмотрена охрана труда при эксплуатации ГЭК.

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		77

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экономика энергетики: учеб. пособие для вузов / Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др.; под ред. Н.Д. Рогалева. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 288 с.
2. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 61. Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики / отв. ред. Н.И. Воропай, А.Д. Тевяшев. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. 543 с.
3. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.
4. Тягунов М.Г. Структурно-функциональное моделирование процессов при управлении проектами // Сб. трудов пятого межд. симп. “Управление проектами: Восток–Запад – грань тысячелетий” (СОВНЕТ 99). Том 1. М.: СОВНЕТ. С. 386–391.
5. ГЭК [\[https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/11150/!.%20155-158.pdf?sequence=1\]](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/11150/!.%20155-158.pdf?sequence=1)
6. Alliance for Rural Electrification, “Green light for renewables in Developing countries”, 2009  
[\[https://www.ruralelec.org/sites/default/files/are\\_publication\\_-\\_green\\_light\\_for\\_renewables\\_in\\_developing\\_countries.pdf\]](https://www.ruralelec.org/sites/default/files/are_publication_-_green_light_for_renewables_in_developing_countries.pdf)
7. Управление [\[http://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehamt/learn/u\\_bts/lecture\\_1.pdf\]](http://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehamt/learn/u_bts/lecture_1.pdf)
8. Alliance for Rural Electrification, “Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost-competitive solution for rural electrification” 2008.  
[\[https://www.ruralelec.org/sites/default/files/are-wg\\_technological\\_solutions\\_-\\_brochure\\_hybrid\\_systems.pdf\]](https://www.ruralelec.org/sites/default/files/are-wg_technological_solutions_-_brochure_hybrid_systems.pdf)
9. Интерфейсы [\[http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_84\\_97.pdf\]](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_84_97.pdf)



10. Application note 4491, «Damage from a Lightning Bolt or a Spark—It Depends on How Tall You Are!»
11. Application note 5260, «Design Considerations for a Harsh Industrial Environment»
12. Application note 639, «Maxim Leads the Way in ESD Protection»
13. Теория сигналов [[https://mipt.ru/drec/upload/342/f\\_503a1y-arpgh7ifva.pdf](https://mipt.ru/drec/upload/342/f_503a1y-arpgh7ifva.pdf)]
14. ШИМ контроллеры  
[\[https://www.solarhome.ru/control/pwm/pwm\\_chargers\\_faq.htm\]](https://www.solarhome.ru/control/pwm/pwm_chargers_faq.htm)
15. Контроллеры [<https://sovet-ingenera.com/eco-energy/generators/kontroller-dlya-vetrogeneratora.html>]
- 16.3. Tajuddin M.F.N., Arif M.S., Ayob S.M., Salam Z. Perturbative methods for maximum power point tracking (MPPT) of photovoltaic (PV) systems: a review. International Journal of Energy Research, 2015, vol. 39, iss. 12, pp. 1153–1178. doi: 10.1002/er.3289.
17. Faranda R., Leva S. Energy comparison of MPPT techniques for PV systems. WSEAS Transactions on Power Systems, vol. 3, iss. 6, 2008, pp. 447–455.
18. Tse K.K., Chung H.S.H., Hui S.Y.R., Ho M.T. A Novel maximum power point tracking technique for PV panels. IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference, PESC 2001, 2001, vol. 4, pp. 1970–1975. doi: 10.1109/PESC.2001.954410.
19. Kobayashi K., Matsuo H., Sekine Y. A novel optimum operating point tracker of the solar cell power supply system. Power Electronics Specialists Conference, PESC 04, 2004 IEEE 35th Annual, 2004, pp. 2147–2151. doi: 10.1109/PESC.2004.1355451.
20. Djeghloud H., Guellout O., Larakeb M., Bouteldja O., Boukebbous S., Bentounsi A. Practical study of a laboratory undersized grid-connected PV system. 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT ASIA), 2014, pp. 618–623. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2014.6873863.

21. Narendiran S. Grid tie inverter and MPPT – a review. International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2013, pp. 564–567. doi: 10.1109/ICCPCT.2013.6529017.
22. Sera D, Kerekes T., Teodorescu R., Blaabjerg F. Improved MPPT method for rapidly changing environmental conditions. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, vol. 2, 2006, pp. 1420–1425. doi: 10.1109/ISIE.2006.295680.
23. Dorofte C., Borup U., Blaabjerg F. A Combined two-method MPPT control scheme for grid-connected photovoltaic systems. European Conference on Power Electronics and Applications. Dresden, 2005, pp. 1–10. doi: 10.1109/EPE.2005.219714.
24. Охрана труда [<https://websot.jimdo.com/>]

					13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		80

ПРИЛОЖЕНИЕ

13.03.02.2019.276.00.00 ПЗ

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

Лист

81