

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение эффективности систем электроснабжения малой мощности

Обучающийся

Казаков Д.А.

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

д.т.н., профессор, П.А. Николаев

Руководитель

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Содержание

Введение.....	4
1 Общая информация о энергосистемах малой мощности и разработка структурных схем генераторов электрической энергии.....	8
1.1 Общая информация о энергосистемах малой мощности.....	8
1.1.1 Общая информация о дизельных электростанциях	13
1.1.2 Общая информация о солнечных электростанциях	17
1.1.3 Общая информация о ветровых электростанциях.....	23
1.1.4 Общая информация о электростанциях на топливных элементах ...	27
1.2 Разработка структурной схемы электрической части электростанций малой мощности.....	31
1.2.1 Разработка структурной схемы электрической части дизельной электростанции	31
1.2.2 Разработка структурной схемы электрической части солнечной электростанции	34
1.2.3 Разработка структурной схемы электрической части ветровой электростанции	38
1.2.4 Разработка структурной схемы электрической части электростанции на топливных элементах	40
2 Выбор преобразовательных установок.....	42
2.1 Конструктивные особенности элементов электростанций малой мощности	42
2.1.1 Разновидности и особенности аккумуляторных батарей буферных накопителей	42
2.1.2 Разновидности и особенности фотоэлектрических панелей солнечных электростанций	47
2.1.3 Разновидности и особенности видов ветрогенераторов.....	51
2.1.4 Разновидности и особенности электрогенераторов	57
2.1.5 Разновидности и особенности топливных элементов.....	59

2.2 Разновидности и конструктивные особенности инверторов.....	63
3 Прогнозирование путей дальнейшего повышения показателей энергоэффективности систем электроснабжения малой мощности.....	67
3.1 Внедрение в ДЭС микропроцессорной системы управления, обеспечивающей стабильные параметры работы при изменяющейся нагрузке	67
3.2 Внедрение фотоэлектрических панелей с полусферической оболочкой на поверхности для улучшения поглощения и улучшенного углового покрытия	71
3.3 Внедрение индукторного генератора в состав ВЭУ и применение комбинированной ветродизельной установки	76
3.4 Внедрение системы рециркуляции для повышения производительности топливного элемента с улавливанием углекислого газа	81
Заключение.....	86
Список используемых источников	89

Введение

Электроэнергетика важнейшая отрасль в жизни любого государства. «Она пронизывает все сферы хозяйства, в следствии этого активное развитие электроэнергетики ведет к активному развитию промышленного комплекса страны. За последнее время в электроэнергетике Российской Федерации произошли значительные перемены: изменилась система государственного регулирования отрасли, сформировался конкурентный рынок электроэнергии, созданы новые компании, изменилась и структура отрасли» [12]. На данный момент энергосистема России насчитывает более шести сотен электростанций с общей установленной мощностью более 220 млн кВт. Основную часть всего парка электростанций по типам генерации занимают тепловые электростанции около 68%, более 20% занимают гидроэлектростанции, 11% занимают объекты атомной энергетики. Основную часть всей электроэнергии в стране вырабатывают централизованно несколько крупных электростанций, управляемых федеральной сетевой компанией, но также в меньшей степени, присутствуют объекты с небольшой вырабатываемой мощностью, так называемые объекты малой или распределенной энергетики.

В России малая энергетика только начинает развиваться. «Частично это связано с историческими особенностями развития страны, когда вся энергосистема работала как единый комплекс. Единая энергетическая система (ЕЭС) сформирована и функционирует на принципе централизованного управления выработкой энергии, где основные мощности сконцентрированы и вырабатываются на нескольких крупных электростанциях» [4]. В итоге для доставки потребителю электрической энергии нужного напряжения и нужного качества необходимо провести несколько преобразований, что значительно увеличивает стоимость тарифа. В условиях рыночной экономики, когда потребители стремятся к экономической целесообразности, в том числе к снижению затрат на энергоснабжение, промышленные предприятия всё чаще обращают к развитию собственной малой распределённой энергетики и к

снижению или вовсе отказу от закупок электроэнергии у сетевой компании. Также развитию малой энергетики способствуют сложности получения и выполнения технических условий на требуемую мощность, высокую стоимость и сложность присоединения новых потребителей к энергосистеме, а также недостаточная надежность схем электроснабжения.

Основу малой энергетики в России представляют до 50 тыс. различных электростанций с общей установочной мощностью 18 ГВт, что составляет 6% от всей установленной мощности электростанций страны. Общая выработка электроэнергии за год составляет 4,5 % от общей выработки от выработки всех электростанций России. На данный момент большинство электрических станций малой энергетики – это дизельные генераторы [18].

Программа строительства энергоблоков малой мощности активно развивается на западе особенно в США и западной Европе. Одной из самых лидирующих стран лидером в области распределенной энергетики является Дания, в энергосистеме которой более 50 % электроэнергии вырабатывается источниками распределенной генерации [12]. Это следствие государственной политики, проводимой регуляторами Дании. В лидерах также находится Испания у 16 % электроэнергии в стране вырабатывается на малых станциях.

Причина развития малой энергетики в России отличаются от стран центральной и западной Европы. Например, в таких странах как Франция и Германия основной причиной для развития является «Энергетический переход» т.е переход от ископаемого и ядерного топлива к возобновляемым источникам, и стремление независимости от ввоза энергоресурсов. То в России строительство объектов малой генерации зачастую является вынужденной мерой, а не самостоятельной деятельностью: как говорилось выше потребителей может не устраивать цена, качество и надежность энергоснабжения, или электроэнергию невозможно или экономически не целесообразно доставить к потребителю. К таким потребителям относятся регионы и поселения, расположенные в регионах крайнего севера, заполярья дальнего востока, Сибири и острова Сахалин.

Необходимость развития объектов малой энергетики в Российской Федерации «обусловлена следующими факторами:

- достигнутым уровнем цен на электроэнергию, что объективно стимулирует уход потребителей с розничного рынка и создание собственной генерации;
- развитием малой генерации, что способствует усилению конкуренции на оптовом долгосрочном рынке мощности;
- реконструкцией отработавших срок службы котельных с преобразованием их в ПГУ-ТЭЦ, что существенно повышает эффективность инвестиций;
- необходимостью в электрификации отдалённых районов страны, которых по разным причинам невозможно присоединить к централизованному энергосистеме;
- поставленными Правительством РФ масштабными задачами по развитию в стране возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с доведением их доли к 2020 г. до 7 % в общем объеме производства электроэнергии» [15].

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г, планируется значительное увеличение объектов малой распределенной энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии. Это связано в первую очередь с стремлением улучшения экологии и постепенному снижению использования традиционных энергоресурсов, а как вследствие снижения влияния роста тарифов на электроэнергию по причине роста цен на энергоресурсы. Согласно той же стратегии, производство электроэнергии от возобновляемых источников энергии будет определяться географическим расположением источника с точки зрения максимально рационального применения: солнечной энергетики – в районах юга России, ветровой энергетики – в районах страны с стабильной скоростью ветра 8-12 м/с, в том числе Дальнем Востоке; в северных районах страны, в районе Новороссийска и др; геотермальной энергетики – в районах Дальнего Востока, Юго-Западной

Сибири; приливной – на Дальнем Востоке и крайнем севере т.е в районах с большими диапазонами приливных уровней морей. Общее увеличение производства электроэнергии на возобновляемых ресурсах вырастет с 0,5 до 4,5% [4].

На данный момент основными направлениями в развитии энергетики на альтернативных источниках энергии являются: ветровая и солнечная энергетика. Они являются наиболее эффективными с экономической точки зрения, а также могут быть быстро смонтированы, установлены и введены в эксплуатацию. Также прямо сейчас зарождается новый вид энергетики – это энергетика на топливных элементах чье потенциальное развитие может совершить революцию в альтернативной энергетике. Уже сейчас учёные прогнозируют получение КПД водородного генератора в 60-70%, в то время как у ветрогенератора КПД равен 25-30%. Однако на данный момент времени все объекты генерации на ВИЭ не лишены общих недостатков таких как: Низкая плотность энергии, не постоянство выработки электроэнергии, зависимость от погодных условий, относительно низкую эффективность.

Целью данной магистерской диссертации – Поиск методов для достижения максимальной эффективности объектов малой генерации.

К задачам относятся:

- анализ состояния проблемы развития систем электроснабжения малой мощности;
- разработка структурных схем генераторов электрической энергии;
- выбор преобразователей для повышения эффективности систем электроснабжения малой мощности;
- прогнозирование путей дальнейшего повешения показателей энергоэффективности систем электроснабжения малой мощности.

1 Общая информация о энергосистемах малой мощности и разработка структурных схем генераторов электрической энергии

1.1 Общая информация о энергосистемах малой мощности

Малая энергетика или распределенная энергетика – это энергетическая концепция, при которой энергоснабжение потребителей осуществляется электростанциями с небольшой генерируемой мощностью (до 25 МВт), расположенными в не посредственной близости к потребителю.

Электростанции малой мощности способны успешно решать задачи также, как и крупные, но с меньшими затратами и высокой производительностью. Поэтому малая энергетика имеет большую роль при обеспечении тепла и электричества в труднодоступных районах России. На данный момент 50 до 70 % территории России изолированы от централизованного электроснабжения. «Обеспечение данных регионов электроэнергией возможно с помощью объектов малой энергетики. Зачастую в таких регионах крупной электростанции является экономически не целесообразным. Это тормозит развитие многих регионов, приводит к снижению количества жителей и увеличивает эмиграцию из данных центров, а также мешает реализации потенциала данных территорий» [24].

На данный момент, оценивая роль большой и малой энергетики видны, их преимущества и недостатки. К примеру, централизованные системы энергоснабжения имеют достаточно высокий уровень потерь тепла и электрической энергии: в самом начале на электростанциях по причине низкого КПД, после потери при передаче по ЛЭП, а тепла – в теплоцентралях [9].

Недавний анализ состояния энергетики России показал износ ЛЭП 25%, устаревание или износ оборудования на подстанциях составляет около 40%, 30 % тепловых сетей требуют ремонта, 15 % находятся в аварийном состоянии. Общие тепловые потери в сетях составляют до 15% годового расхода топлива

для электростанций, что в купе с потерями электрической энергии при преобразовании напряжения и потерями при передаче по ЛЭП выходят огромные суммы на миллиарды рублей каждый год. Помимо больших экономических потерь существует опасность возникновения дефицита электрической энергии в результате невозможности повышения объемов генерации в соответствии с темпами роста промышленности, что в свою очередь приведет к торможению экономического роста страны. Особенно остро эта проблема стоит в регионах Урала и Дальнего востока, где подавляющая долю генерируемой энергии вырабатывают тепловые электростанции. По оценкам ИНЭИ РАН, к 2033 г. предельная потребность во вводимых мощностях составит 50-68 ГВт. Одним из решений данной проблемы могло бы стать применение объекта малой энергетики. Например, мини-ТЭЦ, расположенная вблизи потребителя, существенно позволит сократить потери тепла и электроэнергии.

Возведение малых электростанций в отличие от крупных объектов требуют меньшие затраты, вследствие окупаются значительно быстрее. Так как значительно сокращается объем начальных вложений, сокращается срок возврата вложенных средств, понижается инвестиционный риск, убавляются сроки строительства и ввода энергообъектов в эксплуатацию.

Также одной из важных проблем в мировой повестке стала ухудшающаяся экологическая ситуация. С каждым годом ископаемых ресурсов становится всё меньше, а также вредные отходы от теплоэлектростанций и производств количества производств значительно загрязняют атмосферу, что способствует ухудшению экологической обстановки нашей планеты. Государства ставят перед энергетикой задачу бесперебойного обеспечения электроэнергией и теплом производственный сектор, соблюдая условия минимального загрязнения окружающей среды, с бережностью используя имеющиеся ископаемые ресурсы и минимизировать возможные последствия техногенных аварий. Последствия крупных техногенных аварий АЭС в Чернобыле и Фукусиме, экологической

катастрофы в Мексиканском заливе свидетельствуют о необходимости внедрения новых и безопасных решений на каждом этапе процесса получения электроэнергии. Однако технологии малой генерации, построенной на ВИЭ, не гарантирует полной экологической чистоты, но при равных условиях их эксплуатация минимизирует вероятность возникновения экологических аварий.

На территории России существуют идеальные условия существования малой энергетики: доступность топливной базы такой как газ, мазут, дизельное топливо, места, регионы, подходящие для установки ВИЭ, а также огромное количество рек и водоемов, что открывает невиданный потенциал для развития малых ГЭС. «Основными преимуществами малой энергетики считаются:

- экологичность – малая энергетика в основном использует в качестве топлива возобновляемые источники энергии, но данный момент используются и активно расширяются объекты, использующие в качестве топлива газ, атомное топливо и воду;
- загруженность – так как генерирующий объект связан с потребителями повышается эффективность загрузки мощностей генерации, повышается коэффициент использования мощности, и снижаются потери при передаче электроэнергии;
- экономичность – малая энергетика предлагает более низкую цену на электроэнергию и теплоэнергию. Эта цена достигается за счет использования ВИЭ, а также применение продуктов собственного производства, таких как попутный газ, опилки, лузга и иных ресурсы, вследствие чего снижается цена на топливо. Это позволит сократить тариф на электроэнергию, и благодаря сглаживанию пиков потребления, так как во время пика нагрузки стоимость электроэнергии наиболее высокая;
- автономность – возможность постоянного и бесперебойного электроснабжения в регионах децентрализованного электроснабжения, что способствует развитию данных регионов,

осуществляется за счет использования местных как традиционных ресурсов, так и ВИЭ» [10].

Однако существование и функционирование объектов малой энергетики выявило несколько практических проблем и недостатков.

Первая из таких проблем «это проблема со сбытом электроэнергии – на данный момент распределенная генерация по-настоящему выгодна только собственным нужд, или для потребителя, будто производство или объекты инфраструктуры, расположенного в непосредственной близости к электростанции. В иных случаях возникают сложности со сбытом электрической энергии, причиной которых являются нормативные и организационные препятствия. Если энергообъект малой генерации предназначен для собственных нужд, или рассчитан под одного конкретного потребителя с известным режимом работы, то нижеперечисленные проблемы возникают при необходимости продажи излишков электроэнергии» [18]. Первой причиной проблем со сбытом энергии является сложность в конкуренции независимых поставщиков с крупными игроками рынка, вырабатывающими электроэнергию в больших количествах, вследствие чего себестоимость кВт•ч является низкой за счет большой генерируемой мощности. А высокие единые (котловые) тарифы на передачу делают поставку от малой генерации по распределительной сети не выгодной, даже если электростанция расположена в близости к потребителям [13]. Второй причиной является сложность конкуренции с гарантирующим поставщиком электроэнергии за потребителей. Этот факт является субъективным так как потребители сами отдают предпочтение гарантированному поставщику, не решаясь заключать договора на поставку с другими независимыми поставщиками. Третьей причиной являются законодательные трудности при сбыте электроэнергии на розничный рынок. Самый удобный для производителя исход – продажа излишков электроэнергии, натывается на несколько нормативно-правовых препятствий. Одними из них является приоритет закупки энергии у источников генерации на ВИЭ, а также

требование установки приборов учета, показывающих почасовой учёт на объектах. Из этого выходит, что независимые поставщики продают свою электроэнергию в сеть практически бесплатно. Гарантированные поставщики всячески препятствуют развитию независимых игроков на рынке. Происходит это из-за недостаточной проработки механизма продажи электрической энергии субъектами распределенной генерации. Зачастую на практике гарантированный поставщик отказывается закупать излишки мощности у производителей.

Второй важной проблемой малой генерации является низкая надежность электроснабжения. В большинстве случаев генераторы объектов малой энергетики работают в изолированном режиме с отсутствием резервного присоединения к внешней сети. Вследствие этого возможные перебои с поставками топлива или зависимость режима работы некоторых видов электростанций от метеорологических условий, также значительно снижают надежность электроснабжения. Однако если даже присутствует резервное присоединение к внешней сети компанией поставщиком вводится дополнительная плата за резерв мощности, который выделяется на случай при аварии на объекте генерации или плановом выводе малой ЭС в ремонт.

«Негативное влияние на иных потребителей – использование собственной генерации, с сохранением присоединения к внешней сети и отсутствии платы за резерв мощности на розничных рынках, приводит к тому, что расходы на поддержание сетей в рабочем состоянии перекладывается на других потребителей. Также проблемой для энергосистемы и всех потребителей является использование одним из потребителей объекта малой генерации в пиковые часы для экономии на оплате мощности. Такой потребитель потребляет электроэнергию, однако не платит в полном объеме. Так как весь объем мощности на оптовом рынке должен быть оплачен, это приводит к тому, что его стоимость перераспределяется между остальными потребителями» [7]. В существующей системе получается, что переход одного потребителя на собственную генерацию приводит к росту тарифа за счёт

повышения платы за поддержание энергосистемы, что в свою очередь стимулирует остальных участников рынка задумываться о создании собственных генерирующих мощностей. В итоге энергосистема терпит ущерб. Некоторые эксперты с этим высказывают опасения, что развитие малой энергетики может вызвать ослабление Единой Энергетической системы: массовое применение потребителями малой генерации приведет к быстрому сокращению ее финансовой базы.

На данный момент объекты малой энергетики классифицируются по мощности:

- микроэлектростанции мощностью до 100 кВт;
- миниэлектростанции мощностью от 100 кВт до 1 МВт;
- малые электростанции мощностью более 1 МВт.

По типу применяемого топлива:

- традиционные – к ним относятся мини-ТЭЦ, газотурбинные и газопоршневые электростанции; дизельные электростанции, тепловые насосы, паровые котлы. Данные объекты используют традиционные виды топлива такие как уголь, газ, топливо на основе нефти, как источник энергии;
- альтернативные – использующая иные источники энергии. К таким видам относятся солнечные электростанции, ветровые электростанции, топливные элементы, объекты геотермальной и приливной энергетики.

В магистерской диссертации рассматриваются дизельные электростанции, ветровые электростанции, солнечные электростанции и электростанции на топливных элементах.

1.1.1 Общая информация о дизельных электростанциях

В сфере малой энергетики одними из самых востребованных источников электрической энергии, в особенности в отдаленных и арктических территориях, являются дизельные электростанции (ДЭС). Дизельные электростанции достаточно распространены и постоянно увеличивают свое

влияние, в связи с ростом потребностей в удаленных регионах, не подключенных к центральному электроснабжению и возможностью использовать дизельную электростанцию в качестве резервного источника электроснабжения.

Дизельная электростанция представляет собой энергетическую установку, предназначенную выработки электрической энергии. Конструктивно ДЭС представляет дизельный двигатель внутреннего сгорания и один или несколько электрических генераторов переменного тока. Генератор соединяется с двигателем внутреннего сгорания, либо через фланцевое соединение или через демпферную муфту.

Принцип действия ДЭС основан на взаимодействии электрогенератора переменного тока и дизельного ДВС. «Цилиндр двигателя заполняется воздухом. Здесь происходит его сжатие и разогрев до высоких температур. Туда же – в камеру сгорания под высоким давлением подаётся распылённое топливо. Когда в двигателе происходит сгорание дизеля, поставляемого из топливного резервуара. Образующиеся в ходе этого процесса газы расширяются, формируя всплеск энергии, служащей стимулом вращения коленчатого вала. Кривошипно-шатунный механизм позволяет получить из энергии свежесформированных газов искомую механическую энергию. Затем полученный вращательный момент передается ротору генератора, создает электромагнитное поле, индуцирующее в обмотках генератора переменный ток.» [28]. На рисунке 1 представлена конструкция дизельной электростанции.

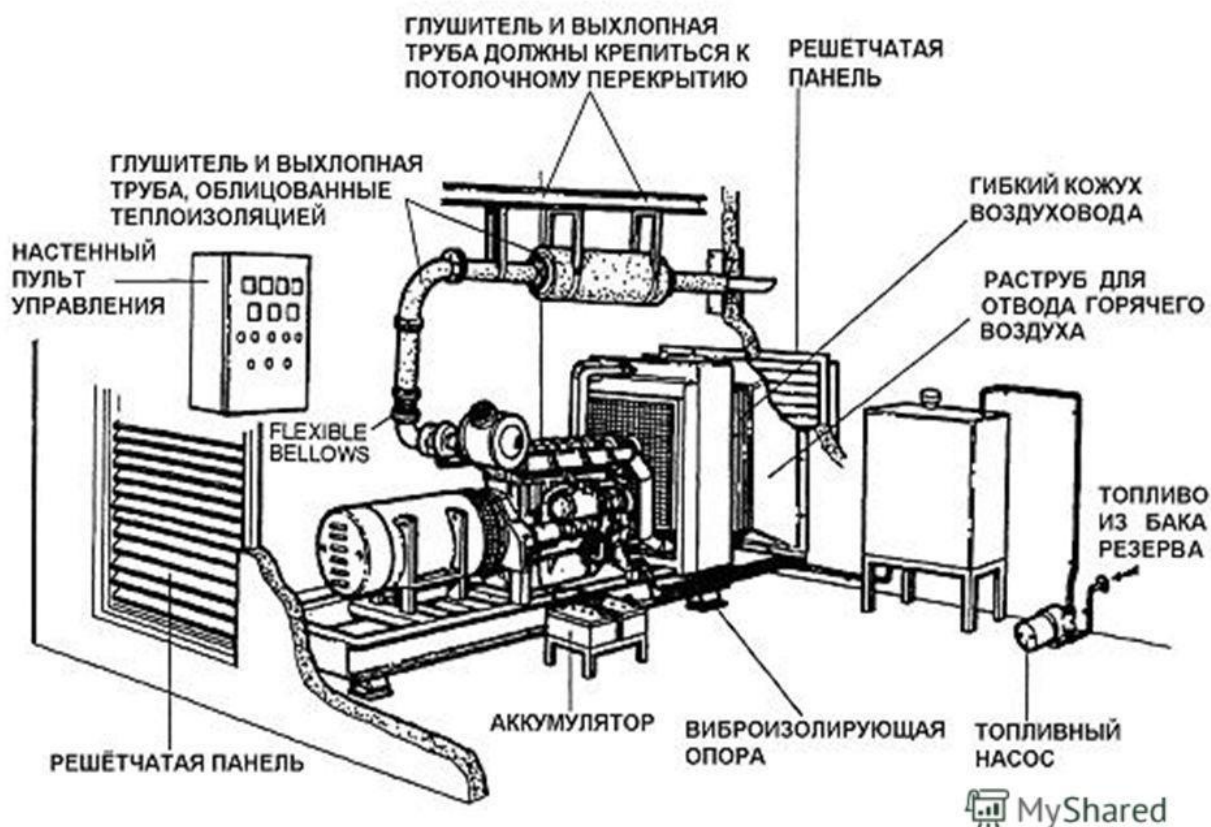


Рисунок 1 – Современная дизельная электростанция

Современные дизельные электростанции оснащаются множеством дополнительных систем, поддерживающих стабильную работоспособность. К ним относятся:

- топливные системы, обеспечивающие подачу топлива в камеру сгорания;
- выхлопная система, выводящая отработанные газы из двигателя совмещенная с глушителями, снижающими уровень создаваемого установкой шума;
- системы управления и силовые шкафы, обеспечивающие контроль за параметрами работы дизельной электростанции и позволяющие управлять распределением электроэнергии;
- устройства автоматизации, сигнализации и аппараты защиты электрогенератора;

- автоматический ввод резерва (АВР), обеспечивающий переключение с основного источника питания на резервный;
- система климат-контроля контролирующее за температурным режимом наиболее важных элементов.

По назначению дизельные электростанции существуют стационарные и передвижные. Стационарные ДЭС применяются в составе единого энергетического комплекса и располагаются в отдельном помещении или отдельном здании. ДЭС стационарного типа обладают высокой генерируемой мощностью, так как в отличие от передвижных неограниченны занимаемой площадью, что позволяет иметь несколько электрогенераторов. Передвижные или мобильные ДЭС предназначены для генерации электрической энергии в очень труднодоступных местах и возможностью оперативно изменить свою дислокацию. Передвижная дизельная электростанция не может позволить себе большие размеры, вследствие этого мощную силовую установку [10]. Однако в этом нет нужды, так как её основная задача в максимальной подвижности и быстрым вводом в эксплуатацию. Передвижные ДЭС активно применяются в горнодобывающей промышленности, при строительстве удаленных объектов, в сельском хозяйстве и спасательными службами в чрезвычайных ситуациях, (к примеру, при ликвидации последствий природных бедствий).

Также ДЭС классифицируются:

- по виду исполнения электрогенератора: с синхронным или асинхронным генератором;
- по способу исполнения: существуют ДЭС открытого и закрытого исполнения;
- по количеству фаз генератора: трехфазные или однофазные генераторы;
- низковольтные (до 1 кВ) и высоковольтные генераторы (выше 1 кВ). Иногда с высоковольтными генераторами в составе единого энергокомплекса идут понижающие трансформаторы.

Дизельные электростанции обладают рядом достоинств, к которым относятся:

- малые размеры, обеспечивающие портативность и мобильность;
- простой монтаж и быстрый ввод в эксплуатацию;
- высокая степень надёжности;
- более высокие экономические показатели, достигаемые за счёт высокого уровня КПД и меньшего расходования дизельного топлива более дешевого по сравнению с бензиновыми агрегатами.

Однако присутствует ряд весьма существенных недостатков таких как:

- высокая цена;
- большой экологический вред, наносимый продуктами сгорания дизельного топлива;
- необходимость регулярного высококачественного обслуживания со стороны профессионалов;
- жёсткие требования к качеству дизельного топлива и смазочных материалов.

На сегодняшний день дизельные электростанции, наравне с газотурбинными и газопоршневыми электростанциями остаются самыми востребованными в малой энергетике.

1.1.2 Общая информация о солнечных электростанциях

Мировые тенденции, стремление к независимости от традиционных видов топлива и ухудшение климатической ситуации вследствие огромных выбросов в атмосферу ведут к активному развитию альтернативной энергетики, использующей всегда доступные возобновляемые источники энергии. Одним из наиболее перспективных направлений наряду с ветровыми электростанциями являются солнечные электростанции (СЭС).

Солнечная электростанция представляет собой сложный инженерный комплекс принимающий и преобразовывающий энергию солнечного излучения в электрическую энергию. Данный способ позволяет производить

экологически чистую электроэнергию, за счет отсутствия вредных выбросов в атмосферу.

Принцип действия солнечной электрической станции основан на принципе фотоэлектрического эффекта – эффекта, возникающем в неоднородных полупроводниковых структурах при взаимодействии с ними солнечного излучения. Основным элементом СЭС является фотоэлектрическая (солнечная) панель, состоящая из большого количества фотоэлектрических ячеек, изготовленных из полупроводниковых материалов, зачастую кремния. Фотоэлектрическая генерация электроэнергии вызвана разделением положительных и отрицательных зарядов при поглощении в полупроводнике электромагнитного излучения. На рисунке 2 представлен принцип действия фотоэлектрической ячейки.

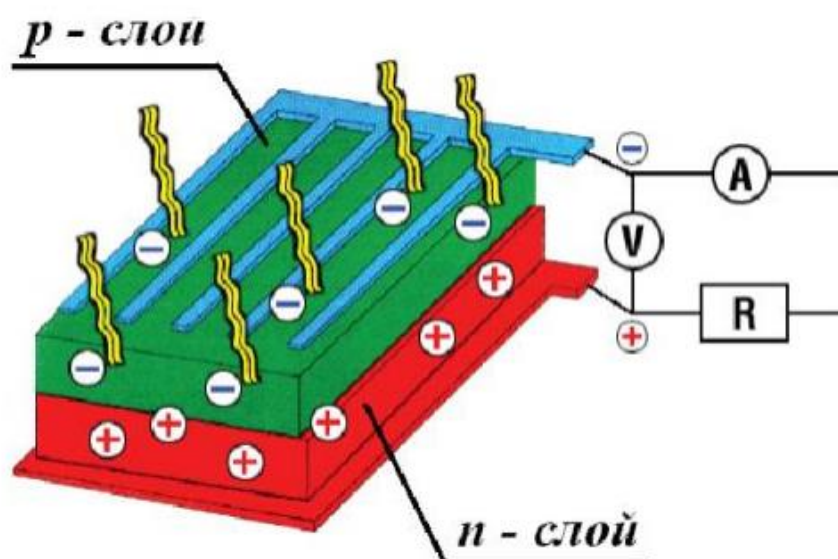


Рисунок 2 – Принцип действия фотоэлектрической ячейки

Фотоэлектрическая (солнечная) ячейка состоит из двух соединенных между собой полупроводниковых пластинок. При попадании солнечного света на верхнюю пластинку происходит выбивание электронов. Выбитые электроны попадают на нижнюю кремниевую пластинку, при этом происходит создание ЭДС элемента. Пока на верхнюю пластинку попадает солнечный свет

продолжается процесс выбивания электронов продолжается, соответственно генерируя электричество.

Несколько фотоэлектрических ячеек собранных вместе образуют фотоэлектрическую панель. Затем электрические подключаются последовательно или параллельно в зависимости от требуемых характеристик.

В конструкции солнечной электростанции применяется от нескольких до нескольких тысяч солнечных панелей.

Установить солнечную электростанцию возможно, как на открытых полях, так и на фасадах домов и даже на поверхности водохранилищ при помощи специальных плотов. Мощность современных СЭС способна варьироваться от 60 Вт до 800 МВт.

Помимо применения фотоэлектрического эффекта при генерации электрической энергии, также активно применяется симбиоз солнечной и тепловой электростанций. В их работе основан метод получения водяного пара с использованием энергии солнечной радиации [7]. К таким относятся СЭС башенного типа. В центре такой электростанции установлена башня с резервуаром воды внутри. Резервуар выкрашен в черный цвет для лучшего поглощения теплового излучения. Энергия солнечного света преобразует воду в водяной пар и нагревает его до температуры 700 градусов после под давлением пар поступает на турбину, которая вращает генератор. Затем отработанный пар попадает в теплообменник, где охлаждается и конденсируется обратно в воду и затем подается обратно в резервуар башни при помощи насосов. Солнечная энергия наводится в резервуар при помощи гелиостатов – зеркал размеров в несколько квадратных метров, закрепленных на опорах и подключенных системе позиционирования для регулирования угла поворота. На рисунке 3 представлена схема СЭС башенного типа.

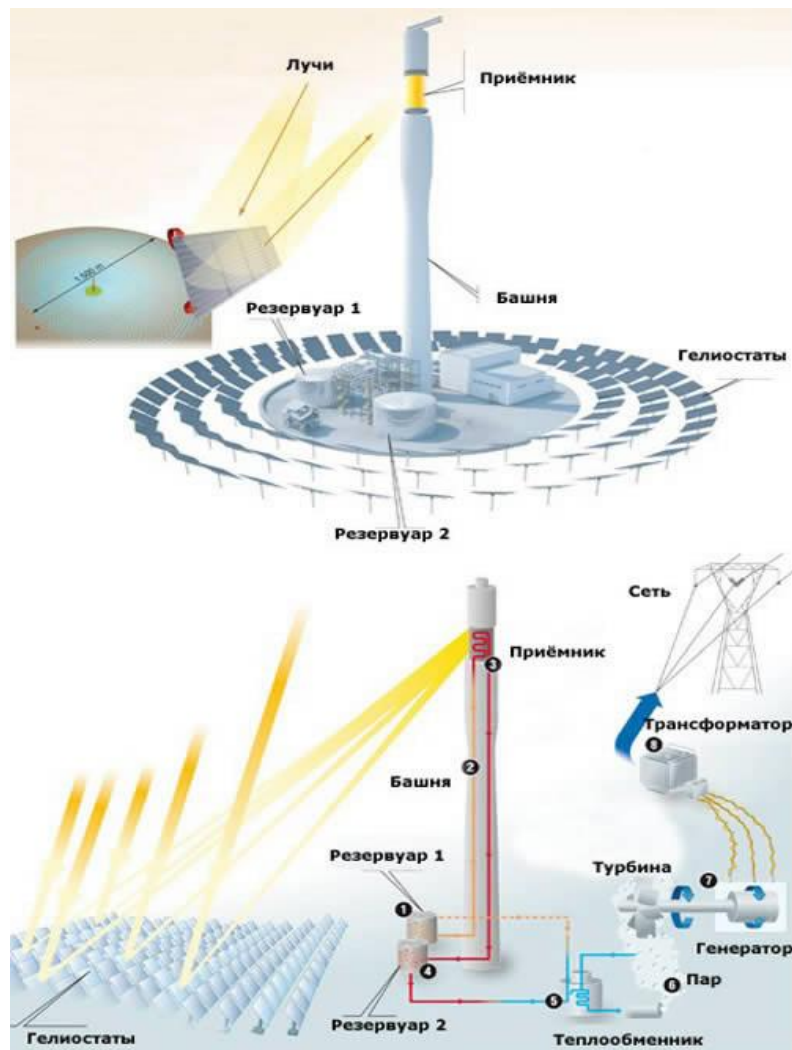


Рисунок 3 – Принцип действия солнечной электростанции башенного типа

Основная и самая трудная задача — это позиционирование всех зеркал станции так, чтобы в любой момент времени все отражённые лучи от них попали на резервуар. КПД подобных станций равен 25%, существует экономическая возможность к генерации больших мощностей и температурные показатели в резервуаре с водой равны показателям на большинстве тепловых электростанций, что позволяет использовать стандартные для ТЭС турбины.

Объемы и плотность генерации солнечной электростанции напрямую зависят от климатической ситуации в регионе. При проектировании солнечной электростанции очень важно учитывать климатические показатели в регионе предполагаемого строительства среднюю температуру, среднюю облачность и

средний показатель солнечной радиации. Помогает с этим карта инсоляции – карты, показывающей показания солнечного излучения в каждом регионе страны. Карта инсоляции России приведена на рисунке 4.

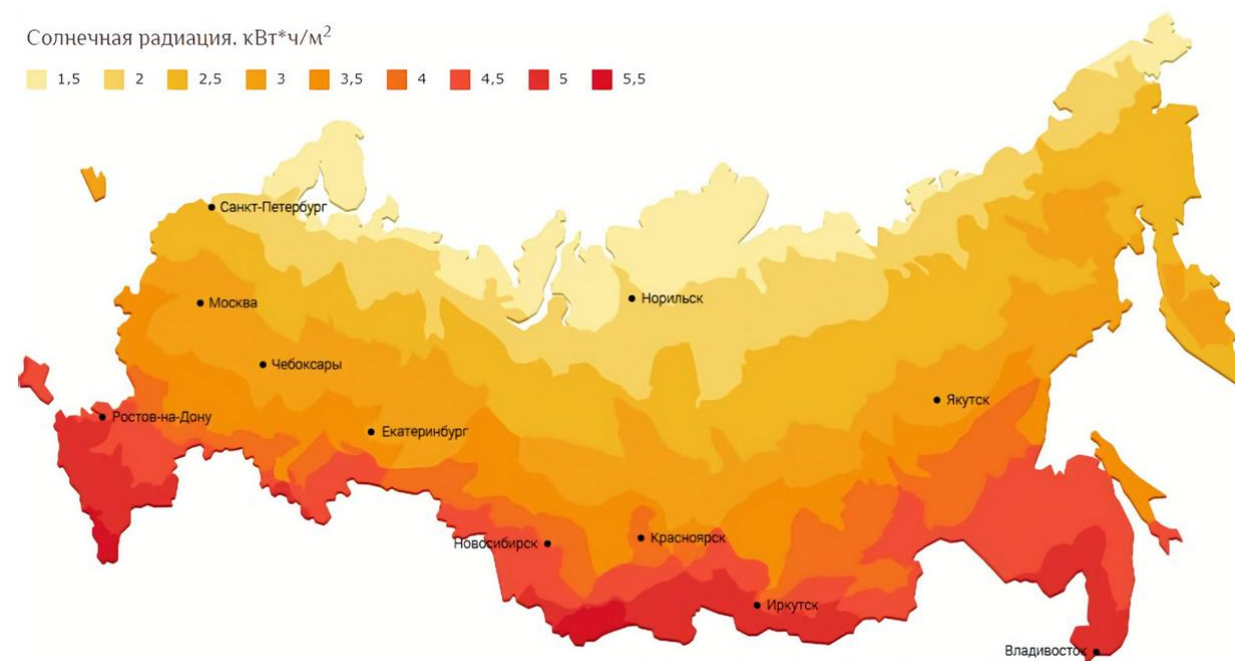


Рисунок 4 – карта инсоляции России

Основных факторов для местности, влияющих на количество солнечного света три:

- широта местности;
- климатические особенности региона;
- время года.

В результате изменения угла падения солнечных лучей в регионах юга солнечное излучение сильнее. Также большую поправку вносит климат. СЭС выдают наибольшую эффективность в регионах с минимальным количеством пасмурных дней в году. Хорошим примером является республика Якутия, где уровень инсоляции гораздо выше по сравнению с Ленинградской областью или городом Норильск. Важное влияние на работу СЭС оказывает жара так как при высоких температурах снижается уровень энергоэффективности. Большинство полупроводниковых элементов теряют до 0,4% эффективности

при повышении температуры на каждый градус выше 30°C. Последним и наиболее важным фактором влияния является время года. «Так солнце зимой стоит низко, в зимнее время солнечное излучение слабее в 4-5 раз, чем летом» [6]. Это необходимо учитывать, если предполагается круглогодичное использование станции. В таком случае мощность солнечной электростанции должна быть достаточной, что закрывать минимальные потребности потребителей в любое время года. Лучшими регионами для СЭС является республика Якутия, республика Крым, восточные регионы Дальнего востока и Сахалин.

Солнечные электростанции распространены в качестве основного или дополнительного источника электроснабжения в регионах пустынной местности, в качестве дополнительного питания для некоторых зданий городской инфраструктуры, что позволило удовлетворить часть энергопотребления за счет ВИЭ. Также СЭС применяются в качестве автономных источников питания в отдаленных регионах страны, и в составе комбинированной солнечно-ветровой электростанций, включающих собой объекты солнечной и ветровой энергетики.

К достоинствам солнечной электростанций относят:

- экологическая чистота: солнечные электростанции не производят вредных выбросов в атмосферу;
- солнечная энергия практически неисчерпаема и доступна в любой точке планеты;
- низкие эксплуатационные затраты: СЭС не требуют регулярного обслуживания и подвоза топлива;
- модульность и гибкость. СЭС могут подстраиваться под конкретного потребителя и способны питать как крупных потребителей, так и малые системы;
- возможность децентрализованной генерации;
- долговечность.

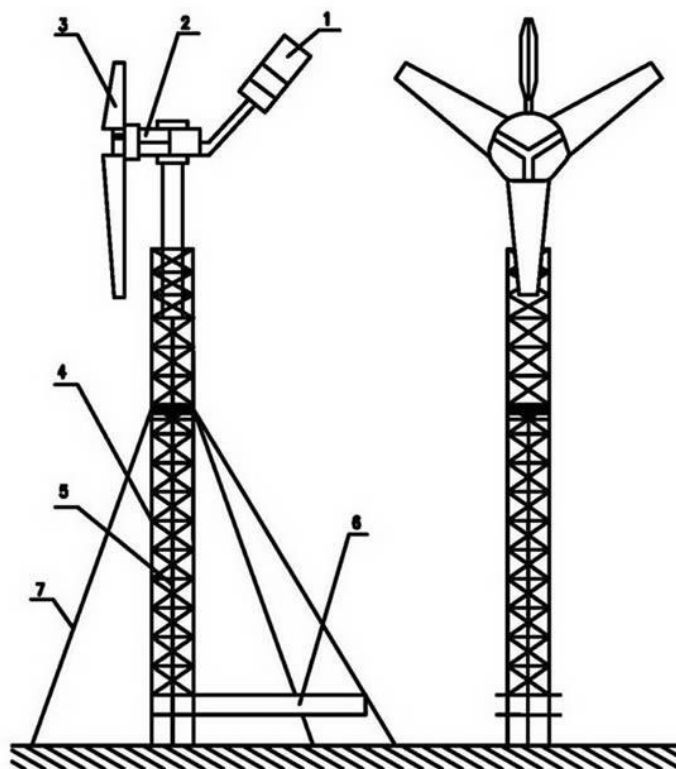
К недостаткам солнечной электростанций относят:

- низкая плотность генерации и невозможность производства электроэнергии в темное время суток;
- необходимость в аккумуляровании;
- высокая стоимость установки, связанная с наличием дорогих полупроводников;
- необходимость в чистке отражающей поверхности. Как в следствие невозможность установки СЭС в регионы с песчаными или пылевыми бурями.

1.1.3 Общая информация о ветровых электростанциях

Вторым основным направлением в развитии альтернативной малой энергетики являются ветряные электростанции. Ветер, как и солнце является неограниченным источником электрической энергии, доступным в любой точке мира. Как солнечная энергетика ветряная энергетика не выпускает выбросы в атмосферу.

Ветровая электростанция (ВЭС) – это комплекс ветрогенераторов, собой электрически соединенных в общую сеть. Крупные ВЭС могут иметь до сотни ветрогенераторов, такие крупные сооружения называют ветропарками. Ветрогенератор (ВЭУ) – Это инженерное сооружение, предназначенное для преобразования кинетической энергии воздушного потока в механическую энергию, которая затем расходуется на генерацию электрической энергии путём вращения генератора. На рисунке 5 представлена схема конструкции ветрогенератора.



1 – тыльная часть лопасти; 2 – генератор; 3 – лопасть; 4 – мачта;
5 – кабель; 6 – падающая мачта; 7 – растяжка

Рисунок 5 – Конструкция ветрогенератора

Принцип действия ветрогенератора прост. Воздушные потоки, проходящие сквозь лопасти ветротурбины приводят её в движение. Ветротурбина крутит привод и передает вращающий момент на трансмиссию, через которую привод соединен с ротором генератора. Вращение ротора приводит к образованию индукционного магнитного поля и образованию переменного электрического тока [14]. При необходимости запаса электрической энергии устанавливается дополнительно выпрямитель, который преобразовывает переменный ток в постоянный для зарядки АКБ. Также возможно применение в паре выпрямителя и инвертора для обеспечения нужных параметров электрической сети.

Современный прогресс в ветроэнергетики продвинулся значительно далеко и на данный момент существуют ветрогенераторы различных форм и размеров. Самыми распространенными являются ветрогенераторы с горизонтальной и вертикальной осями вращения. Их основным различием как

можно догадаться в названии является конструкция ветротурбины. Различия существуют между ветряками существуют также в размерах винта и количества лопастей.

Основными же различиями ветряных электростанций являются их геологическое расположение. ВЭС классифицируется по расположению установки на:

- наземные. Являющиеся самыми распространенными. Установка располагается на земле, равнине или на возвышенностях таких как горы и холмы. Промышленный ветрогенератор вместе с площадкой строится в течение 7-10 дней. Главными необходимостью для строительства являются возможность подъезда к ветряку и специальная техника с выносом стрелы более 50 метров, из-за того, что гондолы устанавливаются на высоте около 50 метров. Самое сложное при проектировании ВЭС это разрешение на строительство от контролирующих органов. Получение всех разрешений и согласований может занимать до 2 лет [16];
- прибрежные. Строятся на берегу или недалеко от берега. На побережье дует бриз, что вызвано не равномерным нагревом поверхности суши и воды. Дневной бриз движется от воды к суше, ночной наоборот. Это создает практически постоянные потоки ветра и повышает плотность генерации;
- шельфовые. Располагаются в море или океане на удалении 10-50 км от суши. Шельфовые электростанции устанавливаются на участках моря с небольшой глубиной. Для начала закладываются сваи для фундамента, затем идет строительство самой башни ветрогенератора. Передача электричества потребителям осуществляется через проложенный по дну подводный кабель. Для строительства и дальнейшего обслуживания требуются специальные самоподъемные суда – корабли, оборудованные приспособлениями способными упираться в морское дно. Шельфовые ВЭС практически

не видно с береговой линии, они не занимают места на земле и имеют высокую эффективность генерации электроэнергии из-за наличия в открытом море частых сильных ветров. Однако их главным недостатком является очень дорогая стоимость строительства и обслуживания, по причине необходимости дорогого и специализированного оборудования;

- плавающие ВЭС. Данный тип схож с шельфовой, однако башня ветрогенератора устанавливается на плавающую платформу и дополнительно крепится ко дну якорями. Одним из преимуществ имеется возможность мобильного перемещения ветрогенератора.

Как и в случае с солнечными электростанциями при решении строительства необходимо учитывать климатическую обстановку и рельеф местности в предполагаемом месте строительства. Строительство ВЭС наиболее выгодно в регионах с среднегодовой скоростью ветра в 5-6 м/с. Наиболее благоприятным местом расположения являются возвышенные и равнинные участки, расположенные в близости от водоёмов и в отдаленности, жилых домов и вблизи леса, и производственных площадок, которые могут воспрепятствовать потоку воздуха ветрогенератору. [21] При этом необходимо обратить особое внимание на исключение помех на пути ветра в направлениях, несущих преобладающую часть энергии. Проект строительства ветроэлектростанции должен предусматривать. Размещение установок на огражденной территории не доступной для посторонних лиц. Если это не представляется возможным, то необходимо оградить доступ к ветрогенератору. Должны быть установлены предупреждающие плакаты техники безопасности. Ветроэлектростанция должна быть удалена от жилых объектов, лечебных административных и учебных учреждений на расстояние, при котором средний шум от ВЭУ будет равен менее 45 дБ. Недопустимо установка ВЭС в местах пересечения автомобильных и железнодорожных трасс, магистральных линий электропередач, кабельных трасс, тепловых трасс, магистральных газопроводов. Также нельзя устанавливать ВЭС на

пересечении пути перелетных птиц, а также в местах массового гнездования [34].

Если ветроустановка оказывает шум, визуальное или любое другое воздействие, то выбранное для сооружения место должно быть согласовано с местной администрацией района.

«К достоинствам ВЭС относятся:

- незначительное место для установки;
- быстрая установка;
- простота обслуживания;
- низкая стоимость эксплуатации;
- экономическая конкурентоспособность по сравнению с традиционными источниками энергии;
- отсутствие загрязнения окружающей среды (ВЭС не производят угарный газ, углекислоту и т. д.)» [4].

К недостаткам ВЭС относятся:

- «работа ветряка зависит от силы потока ветра, которого может и не быть;
- затраты на поиск и изучение местности для ветряков и их строительство;
- турбины станций создают низкочастотные шумы, которые оказывают негативное влияние на человека;
- создают опасность для птиц;
- менее продуктивны по сравнению с другими станциями» [4].

1.1.4 Общая информация о электростанциях на топливных элементах

Настоящую инновацию на рынке малой энергетики создали топливные элементы. Топливные элементы это – относительно новые источники энергии, однако уже сейчас являющиеся довольно надежным и эффективным средством. Первоначально топливные элементы использовались в качестве

аккумуляторных батарей в военной и космических областях, но теперь активно врываются в гражданскую жизнь [26].

Топливный элемент представляет собой электрохимическое устройство, преобразовывающее энергию химической реакции водорода в электрическую энергию. Конструктивно «топливный элемент состоит из трех основных частей: Процессор, секцию выработки энергии и преобразователь напряжения. Основным элементом является секция выработки энергии, представляющее собой множество топливных ячеек, собранных в единую батарею. В структуре топливных ячеек в качестве электродов применяется платиновый катализатор. При помощи этих ячеек и генерируется постоянный ток» [24]

Одна из установок, работающих на топливных элементах, имеет следующие характеристики: Выходное напряжение равное 155 В и рабочий ток до 1400 А. Размером данная установка в ширину и высоту достигает 1 метра и в длину 3 метра. Электрохимический процесс в топливном элементе осуществляется при температуре более 175 градусов по Цельсию и последующего охлаждения всей системы устанавливается система водяного охлаждения. При работе топливного процессе происходит преобразование природного газа в водород, который требуется для электрохимической реакции. Важным элементом топливного процессора является реформер. Внутри этого элемента и водородсодержащее топливо взаимодействует под высокой температурой и высоким давлением с водяным паром при действии катализатора — никеля. Для создания необходимой температуры реформера применяется горелка. Пар, который требуется для реформинга, создается из конденсата.

Также в устройство встраиваются системы блокировки и управляющие устройства.

Разберём принцип действия топливного элемента на примере ТЭ с протонообменной мембраной. В конструктивный элемент входит полимерная мембрана, установленная между катодом и анодом, а также катализаторы

анодов и анодов. Принцип действия топливного элемента приведен на рисунке 6.

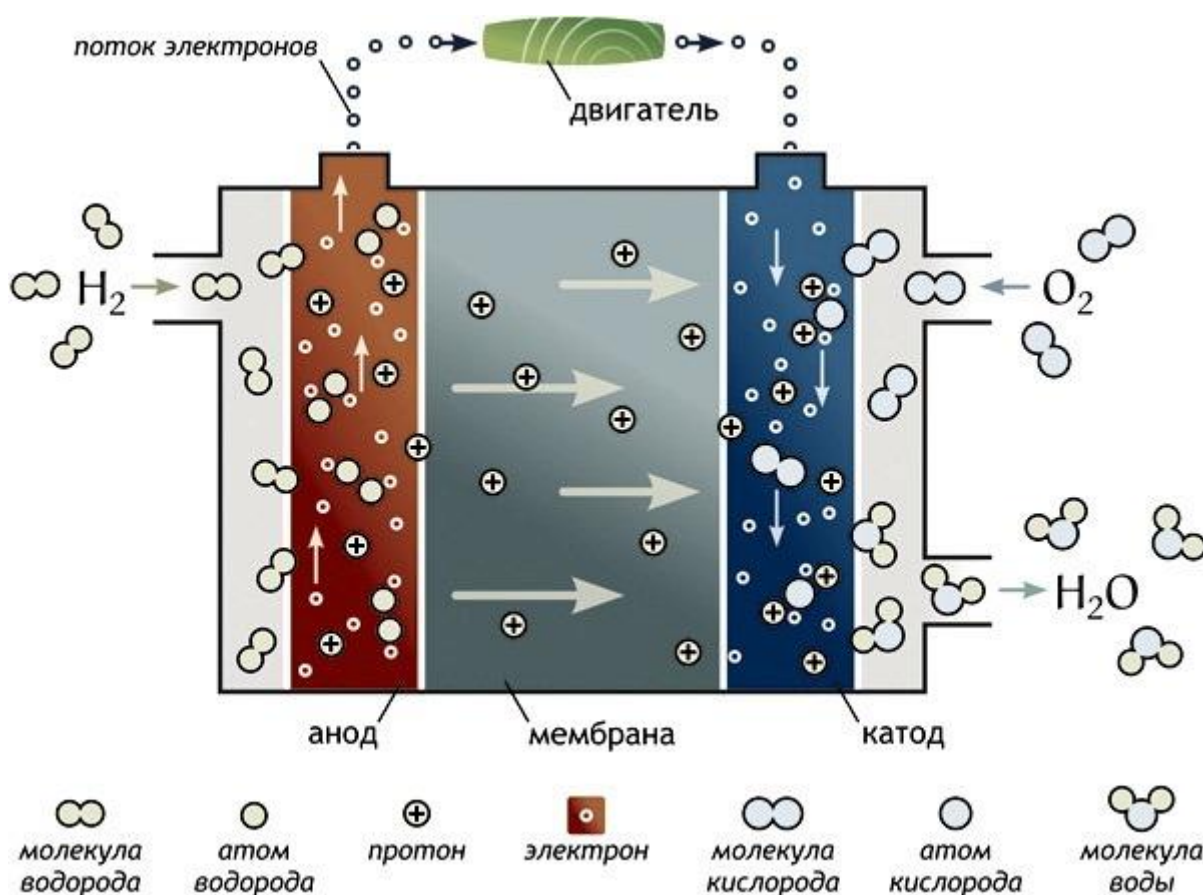


Рисунок 6 – Принцип действия топливного элемента

«Протонообменная мембрана выглядит как тонкое твердое органическое соединение небольшой толщины. Данная мембрана работает как электролит, она в присутствии воды разделяет вещество на отрицательно, а также положительно заряженные ионы. На аноде начинается окисление, а на катоде происходит восстановительный. Катод и анод в PEM-элементе выполнены из пористого материала, он представляет смесь частичек платины и углерода. Платина работает в роли катализатора, что способствует протеканию реакции диссоциации. Катод и анод выполнены пористыми, чтобы кислород и водород сквозь них свободно проходили. Анод и катод находятся между двумя металлическими пластинами, они подводят кислород и водород к катоду и аноду, а отводят электрическую энергию, тепло и воду.

Сквозь каналы в пластине молекулы водорода поступают на анод, где осуществляется разложение молекул на атомы. В результате хемосорбции при воздействии катализатора атомы водорода преобразуются в положительно заряженные водородные ионы, то есть протоны. Протоны диффундируют к катоду через мембрану, а поток электронов идет к катоду через специальную внешнюю электрическую цепь. К ней подключена нагрузка, то есть потребитель электрической энергии» [25]. Кислород, который подается на катод, при воздействии вступает в химическую реакцию с электронами из наружной электрической цепи и ионами водорода из протонообменной мембраны. В результате данной химической реакции появляется вода.

Топливные элементы используются в космической промышленности, в качестве источника автономного источника электроэнергии. Также ТЭ нашли свое место и в гражданской сфере:

- применение в качестве стационарных автономных источников для тепло- и электроснабжения промышленных, общественных и жилых зданий, аварийных и резервных источников электроснабжения, источников бесперебойного питания;
- применение в качестве портативной установки мощностью 5–100 кВт. Они применяются для космических спутников и кораблей. Создаются экземпляры для тележек для гольфа, инвалидных колясок, железнодорожных и грузовых рефрижераторов, дорожных указателей.

Химический процесс топливного элемента полностью обратим. При подаче напряжения на электроды топливного элемента вода раскладывается на кислород и водород, которые собираются на пористых электродах.

Сейчас большой проблемой электроустановок на топливных элементах являются высокие капиталовложения. Мембраны, используемые в ТЭ состоят из дорогостоящих и труднодобываемых материалов. А производство и хранение водорода, являющегося топливом, требует дорогостоящего оборудования. При совершенствовании мембран с высокой

производительностью и большей доступностью, эффективных и дешевых катализаторов, альтернативных источников водорода, топливные элементы приобретут высокую экономическую привлекательность и будут внедряться более активно.

В целом можно указать следующие достоинства топливных элементов:

- безопасность для окружающей среды;
- электрохимические генераторы не нужно перезаряжать;
- электрохимические генераторы могут создавать энергию постоянно, им неважны внешние условия;
- гибкость в плане масштаба и портативность.

Среди недостатков можно выделить:

- технические трудности с хранением и транспортом топлива;
- несовершенные элементы устройства: катализаторы, мембраны и так далее.

1.2 Разработка структурной схемы электрической части электростанций малой мощности

1.2.1 Разработка структурной схемы электрической части дизельной электростанции

Структурная схема представляет собой схему показывающую совокупность элементов, составляющих объект и связь между ними. Структурная схема дизельной электростанции представлена на рисунке 7.

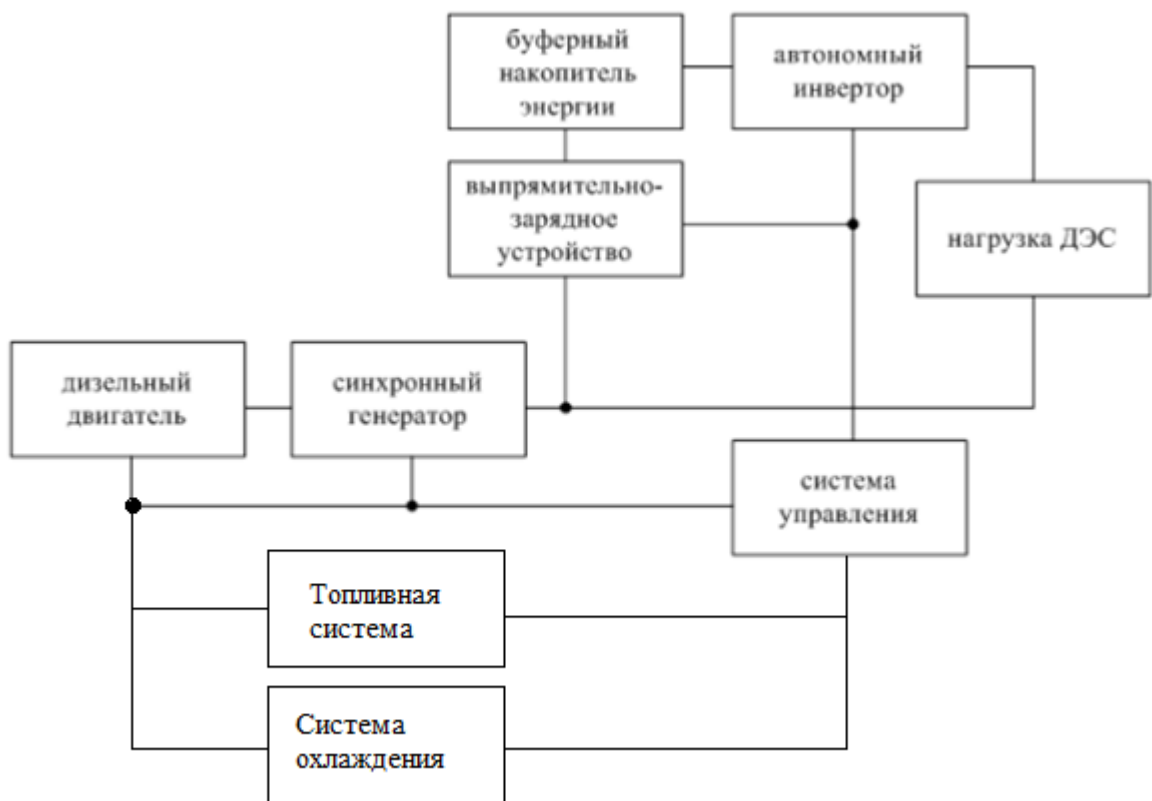


Рисунок 7 – структурная схема дизель генераторной установки

Для поддержания работоспособности ДЭС необходима система управления. Система управления представляет собой единую систему сбора информации о параметрах состояния работы двигателя и генератора, показателях вырабатываемой электроэнергии, отображения этой информации оперативному персоналу и для выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства установки, как в ручном, так и в автоматическом режиме работы устройства. В основе системы управления лежит контроллер, обеспечивающий безопасную работу дизельной электростанции в автоматическом режиме работы, обеспечивает автоматический ввод резерва, а также является центром сбора данных о состоянии установки и о параметрах качества электрической энергии. В составе системы также присутствуют комплекты датчиков, устройства извещения о аварии, устройства защиты автоматики от токов КЗ, трансформаторы тока, электронные регуляторы. Система управления располагается в отдельном шкафу поставляемом, как

вместе с дизельной электростанцией, так и отдельно если раньше устройство или обладало другой системой управления или не обладала ей вовсе.

Топливная система обеспечивает подачу топлива в дизельную электростанцию. Современные топливные системы нацелены на точную подачу строго необходимого количества топлива в определённый момент и под определённым давлением. Это позволяет добиться эффективного сгорания топлива и максимальной производительности.

При работе дизельный генератор выделяет большое количество тепловой энергии, которое необходимо отводить в противном случае перегрев приведет к быстрому выходу из строя ключевых узлов, как дизельного двигателя, так и электрогенератора. Поэтому для обеспечения стабильной работы дизельной электростанции необходима система охлаждения. Система охлаждения бывает двух видов: воздушного и водяного. В первом случае используется вентилятор создающий поток и обдувающий ребра охлаждения. У электрогенераторов в комплекте уже идет установленный на валу вентилятор. Во втором случае используется более сложная система. Используется специальный теплообменник, который соприкасается с источниками тепла. Сквозь теплообменник протекает охлаждающая жидкость, которая в процессе нагревается и дальше движется к охладителю проходя сквозь охладитель жидкость охлаждается и возвращается обратно к нагревателю. В качестве теплообменника используется радиатор с вентиляторам. Жидкостная система охлаждения является более эффективной по сравнению с воздушной, однако с этим обладает гораздо более сложной конструкцией и как следствие большей стоимостью. Также помимо элементов, непосредственно охлаждающих источники тепла, необходимы датчики температуры, отслеживающие температуру на важных элементах, а также устройства, распознающие перегрев и отдающие команды исполнительным элементам на включение охлаждения. Они могут быть как отдельными контроллерами, так и быть включены состав общего контролера управления.

Наиболее оптимальной загрузкой для ДЭС является значение от 40 до 80% от номинальной мощности. При значении коэффициента загрузки менее 40% от номинальной ДЭС работает с повышенным удельным расходом на 1 кВт. Одним из способов повышения эффективности является внедрение специальных буферных аккумуляторных батарей, которые подключаются к выводам синхронного генератора через выпрямительное устройство, концы батареи подключены через автономный инвертор к РУ. При падении уровня потребления энергии ниже порога электроэнергию выдается через буферный аккумулятор, что позволит избежать работы ДЭС при минимальной нагрузке. Также буферные аккумуляторы могут выдавать электроэнергию при пиковых значениях потребления для избежания работы дизеля в перегрузке. Когда вырабатываемая мощность ДЭС будет превышать уровень потребляемой нагрузки лишняя электроэнергия будет аккумулироваться.

Дизель-генераторные установки рассчитаны для работы в тяжелых погодных условиях - при температуре от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ [8]. Однако при низких температурах возникает вязкость топлива и смазочных материалов, что ухудшает процесс горения, уменьшает мощность и снижает срок службы ДЭС. Размещение установок обогрева и охлаждения помещения, в котором расположена стационарная ДЭС позволит держать комфортную для работы температуру круглогодично.

1.2.2 Разработка структурной схемы электрической части солнечной электростанции

Структурная схема солнечной электростанции представлена на рисунке 8.

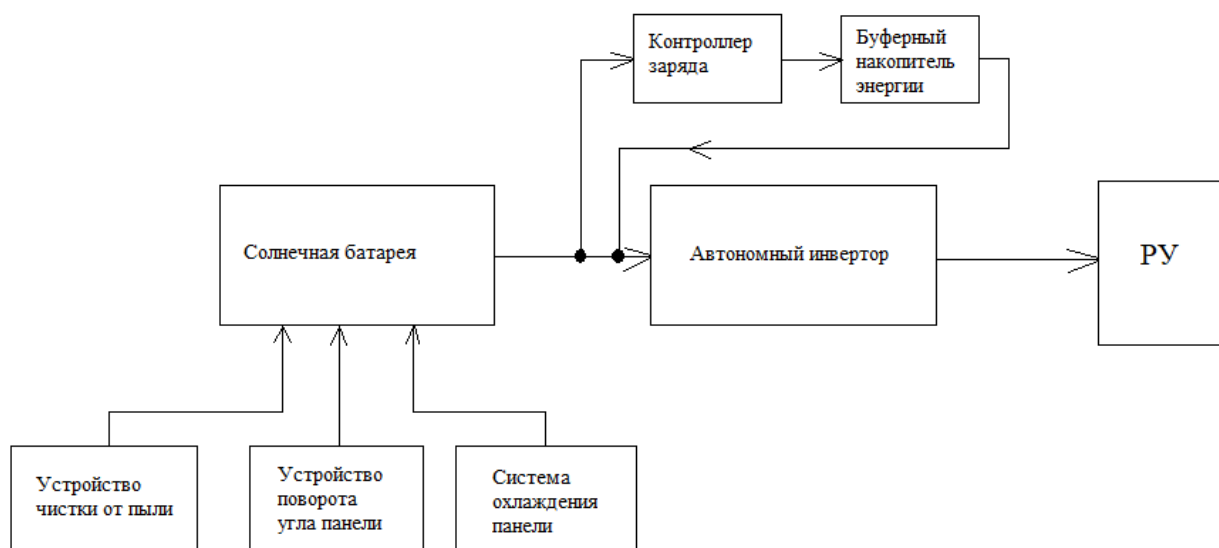


Рисунок 8 – Структурная схема солнечной электростанции

Основой солнечной электростанции являются солнечные панели, преобразующие энергию солнечного излучения в электрическую энергию, за счёт фотоэлектрического эффекта.

Дальше электроэнергия, выработанная с солнечных панелей, может подключаться как к аккумуляторным батареям, так и подключаться напрямую через устройства защиты к инвертору, выводы которого подключены к нагрузке. Инвертор сложное устройство, позволяющее преобразовывать и постоянный ток в переменный ток необходимой частоты [22].

Аккумуляторные батареи используются для накопления электрической энергии. Могут подключаться напрямую как к солнечной панели, так и использоваться в качестве буферного накопителя энергии. Аккумуляторы различаются и классифицируются по различным параметрам: количеству циклов зарядки, сроку хранения, емкости и виду электролита, температурному диапазону работы: В основном аккумуляторные батареи разделяются на три основных вида: литиевые, свинцово-кислотные и щелочные.

В каждой автономной системе, в составе которой имеются аккумуляторные батареи очень важно иметь устройство контролирующее состояние электрических аккумуляторов, их уровень заряда и разряда. Для этого в солнечных электростанциях используются контроллеры заряда

аккумуляторной батареи. Они сравнивают уровень заряда АКБ и при низком заряде подключают солнечную панель и отключают нагрузку от аккумулятора. При высоком уровне заряда наоборот контроллер отключает панель от АКБ и подключает (при необходимости) нагрузку. «Контроллеры заряда классифицируются на две основные категории:

- PWM контроллеры – в основе их работы лежит широтно-импульсная модуляция тока заряда. Контроллеры данного типа могут доводить уровень заряда до 100%, при этом не происходит уменьшение емкости батарей, а вот срок их использования значительно увеличивается;
- MPPT контроллеры – в основе работы данных контроллеров лежит функция поиска точки максимальной мощности. Устройство мониторит силу тока и напряжение на солнечных панелях, вычисляет их соотношение и определяет значение, при котором мощность будет максимальной. В этот момент начинается зарядка АКБ. Одновременно контроллер следит за процессом зарядки, определяет режимы работы накопителей электроэнергии (АКБ) – накопление, насыщение, выравнивание и поддержка» [17].

Максимальная мощность выработки электроэнергии солнечной панелью достигается при падении солнечных лучей на панель под углом 90° . Так как солнце не стоит все время на одной точке в следствие вращения земли, то необходимо регулирование ориентации солнечной батареи к солнцу. Для повышения эффективности необходима система, самостоятельно поворачивающая солнечную панель относительно солнца. Система работает по принципу сравнения максимального электрического тока. В цепь установлен датчик тока, роль которого исполняет шунт. С датчика тока сигнал уходит через усилитель сигнала на аналогово-цифровой преобразователь после чего попадает на контроллер управления. При снижении тока, проходящего через шунт ниже уставки, подается сигнал на контроллер, который дает команду системе управления шагового двигателя на включение.

После шаговый двигатель, соединенный через редуктор с системой поворота солнечной панели, производит поворот панели. После контроллер сравнивает значение тока после поворота с предыдущим значением. Если разность токов положительна, то система осуществляет еще один поворот на заданный угол, если разность отрицательная то, панель возвращается на прежнее положение.

Помимо для получения максимального КПД солнечной панели помимо наилучшего угла наклона, необходимо поддерживать оптимальную температуру солнечной панели. Панель находится под постоянным воздействием солнечных лучей, что приводит к высокой температуре. Солнечные панели в среднем могут терять до 30% своей мощности при температуре на поверхности более 85%. Исправить данную ситуацию может позволить установка контура охлаждения к самой солнечной панели. Контур жидкостного охлаждения состоит из радиатора, устанавливаемого к самой панели, циркуляционного насоса, подающего охлаждающую жидкость к радиатору и датчиков температуры. При перегреве панели датчик температуры подает сигнал через усилитель сигнала на систему управления циркуляционным насосом, после чего насос начинает подавать охлаждающую жидкость в радиатор, в который отводит тепло с панели. После охлаждающая жидкость возвращается в резервуар хранения.

Одна из больших проблем с которой столкнулась солнечная энергетика. Это загрязненность солнечных панелей. Пыль, оседающая на солнечных панелях, уменьшает площадь поглощения солнечных лучей, что значительно снижает КПД. Особенно данная проблема стоит в пустынных регионах, где песчаные бури частое явление. Так как крупные солнечные электростанции могут насчитывать до нескольких тысяч панелей, содержание персонала, который будет очищать панели, значительно повысит стоимость эксплуатации. Поэтому для обеспечения защиты от пыли необходима система автоматизированной очистки пыли, которая будет реагировать на снижение генерации и будет автоматически очищать панели от пыли и прочего мусора. Принцип действия системы основан подачи воды из резервуара через трубки

к распыскивателям, после включения щетки, проходящей вдоль всей солнечной панели очищая её от пыли.

1.2.3 Разработка структурной схемы электрической части ветровой электростанции

Структурная схема ветровой электростанции представлена на рисунке 9.

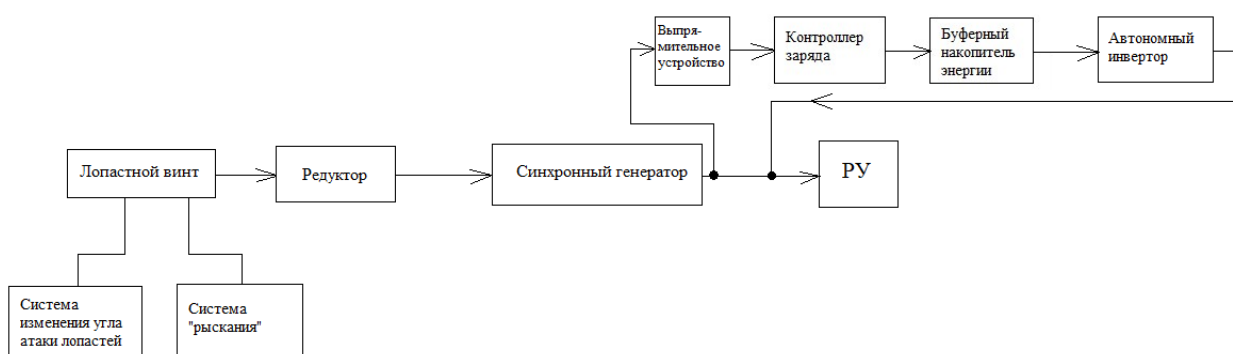


Рисунок 9 – Структурная схема ветровой электростанции

Электрогенератор позволяет ВЭУ преобразовывать энергию ветровых масс в электрическую энергию. В качестве электрогенератора рассматриваются варианты использования:

- Генератора постоянного тока;
- Синхронного генератора;
- Асинхронного генератора.

Для большей надежности и эффективности ветровые электростанции оснащают системой автоматического регулирования изменением угла установки лопастей ротора. Эта система в режиме реального времени регулирует и изменяет угол атаки ветра на лопасти ротора. Принцип действия основан на отслеживании информации о скорости ветра и величины мощности генерируемой электростанцией и изменяет угол установки лопастей ротора относительно направления атаки ветра. Регулирование осуществляется при помощи сервомеханизмов. Благодаря поддерживающийся постоянной скорости вращения ротора, значительно возрастает стабильность работы и снижается уровень шума. Узел управления угла атаки лопастей находится в

ступице ротора. Каждая из лопастей регулируется отдельным приводом. В ВЭУ с генератором с переменной частотой вращения система следит также за скоростью генератора. В случае роста скорости ветра система увеличивает скорость вращения генератора и в тоже время уменьшает угол остановки лопастей, что в результате приводит к снижению скорости вращения ротора. В результате исключаются колебания мощности и повышает качество электроэнергии [20].

Для повышения эффективности работы ВЭУ и уменьшения времени работы генератора при малой нагрузке внедряются буферные накопители энергии (БНЭ). БНЭ представляют собой аккумуляторные батареи, подключаемые через выпрямитель к электрогенератору. Как и в случае с дизельными электростанциями БНЭ запасают электроэнергию при избытках генерации и выдают электроэнергию при минимальном потреблении или при перегрузке генератора.

Система «рыскания» предназначена для управления положением гондолы ветрогенератора в целях ориентации лопастей ротора относительно потоков ветра. Система подразделяется на активные и пассивные системы рыскания [12]. Наиболее эффективными являются активные системы. Конструктивно система рыскания состоит из устройства, осуществляющего поворот гондолы, датчиков направления ветра, средства поворотного соединения гондолы с башней (подшипник «рыскания»), средства торможения и ограничения вращения гондолы и системы управления. Принцип действия системы рыскания: «гондола установлена на роликовом подшипнике, а азимутальное вращение достигается с помощью множества мощных электроприводов. Гидравлический или электрический тормоз фиксирует положение гондолы по завершении переориентации, чтобы избежать износа и высоких усталостных нагрузок на компоненты ветряной турбины из-за люфта. Системы такого рода используются большинством производителей ветряных турбин и считаются надежными и эффективными, но также довольно громоздкими и дорогими» [32].

1.2.4 Разработка структурной схемы электрической части электростанции на топливных элементах

Одно из направлений развития топливных элементов — это их использование в качестве источника энергии для электростанции. Структурная схема электростанции на топливных элементах представлена на рисунке 10.

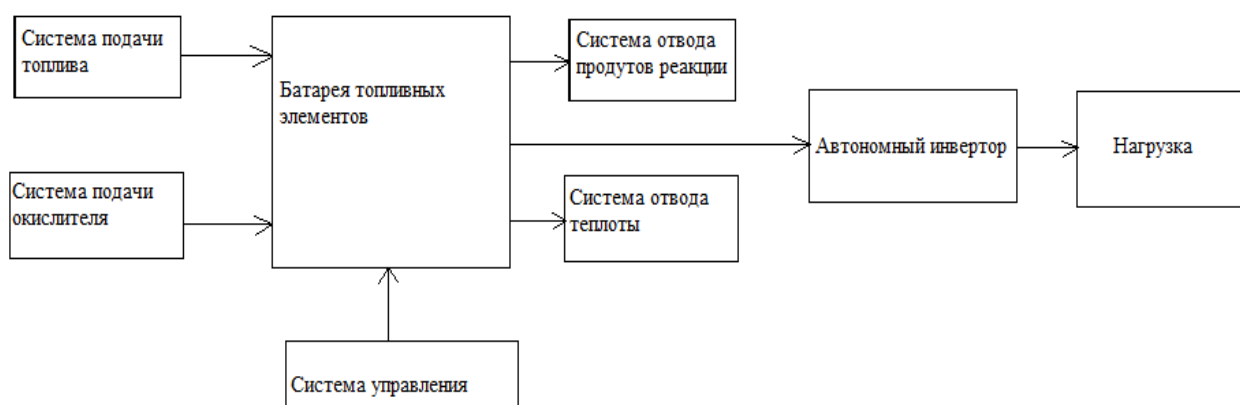


Рисунок 10 – Структурная схема электростанции на топливных элементах

Структурно электростанция состоит из систем подачи топлива, отвода тепла и отвода продукта реакции, автономного инвертора и буферного накопителя энергии (опционально).

Для бесперебойной работы электростанции необходима постоянная подача топлива, в качестве которого выступает может выступать как водород, так и природный газ, который необходимо подавать под давлением около 1,5-2,5 бар на впускном отверстии в установку. Давление должно оставаться в пределах установленного диапазона во время всех режимов эксплуатации установки и при всех скоростях расхода топлива. Вместе с подачей водорода необходима также постоянная подача кислорода, используемого в качестве окислителя.

В процессе химического процесса, происходящего в топливных элементах образуется вода (в виде пара или жидкости), которую необходимо

постоянно отводить из топливного элемента по причине загрязнения и ухудшения химических свойств катода и анода. Для этого в энергоустановках применяется система отвода воды из топливных ячеек. Эта вода высокой температуры может использоваться, как для теплоснабжения, так и для производства дополнительной энергии с помощью, к примеру паровой турбины.

Топливные элементы вырабатывают только постоянный ток, поэтому для передачи потребителям требуется автономный инвертор.

Для организации бесперебойного питания систем собственных нужд электростанции, а также возможности запаса избытков электроэнергии в сети применяются буферные накопители энергии.

Выводы по разделу: В первой главе проведён анализ состояния вопроса развития малой энергетики, приведены такие достоинства как экологичность, экономичность, автономность, эффективность, а также, трудности с владением и осуществлением коммерческой деятельности, связанной с малой генерацией, негативным влиянием на других потребителей если потребитель имеет подключения как из внешней сети так и от источника малой генерации.

Выполнен анализ общей информации о дизельных, солнечных, ветровых электростанциях, также электростанциях, работающих на топливных элементах. Приведен их принцип действия, классификации, способы применения, достоинства и недостатки, климатические факторы, учитываемые при проектировании.

Разработаны структурные схемы электростанций малой энергетики, рассмотрены основные конструктивные элементы, входящие в состав объектов малой энергетики и предложены меры по повышению эффективности объектов малой энергетики.

2 Выбор преобразовательных установок

2.1 Конструктивные особенности элементов электростанций малой мощности

2.1.1 Разновидности и особенности аккумуляторных батарей буферных накопителей

Основой буферных накопителей являются аккумуляторные батареи.

Основными условиями для выбора аккумуляторов являются [20]:

- стойкость к циклическому режиму работы;
- способность выдерживать глубокий разряд;
- низкий саморазряд;
- нечувствительность к нарушению условий зарядки и разрядки;
- долговечность;
- простота в обслуживании.

В целях получения необходимых характеристик буферного накопителя аккумуляторы собирают в батареи при помощи последовательной, параллельной или смешанной схем соединения. При этом важно использовать аккумуляторы, одного производителя, одной модели, желательно из одной партии для обеспечения идентичности функционирования элементов. Это важно для продолжительной работоспособности батареи. При последовательном соединении аккумуляторов с заметно отличающейся фактической ёмкостью в процессе заряда батареи будет иметь место регулярный перезаряд аккумуляторов с наименьшей ёмкостью и их переполнение при разряде. Также высокая однородность продукции надёжных компаний позволяет с большей надёжностью прогнозировать и одинаковость скоростей деградации отдельных аккумуляторов батареи, если они работают в одинаковых условиях.

На данный момент самыми распространёнными видами батарей являются:

- Свинцово-кислотные батареи;
- Щелочные батареи;
- Литиевые аккумуляторы.

Самыми старыми и наиболее часто используемыми являются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, широко применяющиеся с еще начиная с девятнадцатого века. Они отличаются надежностью и не требуют больших затрат на эксплуатацию. «Электролитом в свинцовых аккумуляторах является водный раствор серной кислоты, на положительном электроде активным веществом является двуокись свинца, на отрицательный металлический свинец. При подключении нагрузки происходит электрохимическая реакция, в ходе которой серная кислота и оксид свинца начинают взаимодействовать между собой результатом чего является окисление свинца до сульфата свинца. Во время разряда на катоде происходит восстановление диоксида свинца, а на аноде происходит окисление свинца. При заряде протекают обратные реакции. При перезаряде аккумулятора, при окончании сульфата свинца начинается электролиз воды, при этом на положительном электроде образуется кислород, на отрицательном водород». [13] Свинцово-кислотные аккумуляторы применяются в транспортных средствах, в аварийных источниках питания. Используются в составе батарей, как в открытом исполнении (с возможностью обслуживания), так и в герметичном исполнении.

Разработанные в начале двадцатого века щелочные аккумуляторы получили распространение ближе к началу 50-х годов. Наибольшее применение получили никель-кадмиевые аккумуляторы, но ввиду наличия высокотоксичного кадмия, спустя время были заменены более безопасными никель-железными и никель-металлогидридными. На положительном электроде в качестве универсального активного вещества для всех щелочных АКБ служит гидрат оксида никеля [33]. Активной смесью отрицательного электрода служит гидроксид кадмия (у никель-кадмиевых), или химически чистое железо (у никель-железных). Электролитом служит гидроксид калия (КОН). При разряде на аноде происходит реакция гидроокиси никеля с ионами

электролита результатом чего образуется гидрат закиси никеля. На катоде происходит превращение кадмия (или железа) в гидрат окиси кадмия (или железа). При заряде АКБ происходит обратная реакция. Под воздействием электрического тока активное вещество анода окисляется. Гидрат закиси никеля переходит в гидроокись никеля. На катоде происходит восстановление с образованием кадмия или железа. Щелочные аккумуляторы применяются для питания переносных инструментов, в электромобилях, а также в устройствах потребляющих большой ток и работающих в высоком диапазоне температур.

Созданные относительно не давно (около тридцати лет назад) литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) и на сегодняшний день остаются самыми перспективными аккумуляторами, с максимальной плотностью запасаемой энергии. Предпосылкой для их широкого внедрения являются их достоинства: высокое напряжение эксплуатации, низкий самозаряд, отсутствие «эффекта памяти», высокая плотность запасаемой энергии. В основе работы литий-ионных аккумуляторов лежат другие электрохимические процессы нежели в свинцово-кислотных аккумуляторах. В ЛИА в качестве анода используется графит, в качестве катода используются активные вещества с содержанием ионом лития. В момент зарядки аккумулятора катионы лития, «которые обладают наивысшим отрицательным потенциалом по сравнению с любыми другими металлами ($-3,045$ В относительно стандартного водородного электрода) и наименьшим размером иона, перемещаются и эффективно обратимо интеркалируют в материал анода. При этом они являются единственным подвижным веществом» [29]. Литий-ионные аккумуляторы применяются в мобильных устройствах и электротранспорте.

В таблице 1 приведены параметры для сравнения различных типов аккумуляторов.

Таблица 1 – Параметры сравнения различных типов аккумуляторов

Параметр	Свинцово-кислотные	Никель-кадмиевые	Никель-металлогидридные	Кобальт-литиевые	Литий-марганцевые	Литий-ферро-фосфатные
Удельная плотность энергии, Вт·ч/	30–50	45–80	60–120	150–190	100–135	30–50
Жизненный цикл ⁴ (80% разряда)	200–300	1000	300–500	500–1000	500–1000	1000–2000
Время быстрой зарядки, ч	8–16	~1	2–4	2–4	<1	<1
Терпимость к перезарядке	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая.	Высокая	Средняя
Саморазрядка/месяц (при комнатной температуре), %	5%	20% ⁵	30% ⁵	<10% ⁶	<10% ⁶	<10% ⁶
Номинальное напряжение, В	2	1,2	1,2	3,6	3,8	3,3
Температура разрядки, °С	-20...+50	0...+45		0...+45 ¹⁰		
Требования к обслуживанию	3–6 месяцев ¹¹ (подзарядка)	30–60 дней (разрядка)	60–90 дней (разрядка)	Не требуется		
Требования к безопасности	термически стабильны	Термически стабильны. Обычно используются термопредохранители		Обязательный защитный контур		

На основе сравнение параметров можно сделать вывод, что наиболее подходящие по характеристикам это буферные накопители, собранные на литий-ионных аккумуляторах.

Литий-ионные аккумуляторы имеют очень высокие требования к заряду и разряду. Заряд должен осуществляться только специализированными устройствами для ЛИА, оснащенных балансиrom – устройством контролирующем значения тока и напряжения в каждом отдельном элементе. Литиевые АКБ заряжают по методике CC-CV. Процесс заряда состоит из двух фаз. В первой фазе зарядное устройство аккумуляторной батареи, подает фиксированное значение силы тока, изменяя только значение подаваемого напряжения. По достижении напряжения 4,2 В (соответствует 95% заряда АКБ) наступает вторая фаза заряда, при которой ток заряда снижается так, чтобы напряжение на каждом элементе оставалось постоянным 4,2 В. Это значение определено химической составляющей литий-ионных батарей. Предельно допустимое значение напряжения 4,25 В, а при достижении напряжения 4,3 и выше существует опасность возгорания аккумулятора. В процессе разряда АКБ критически важно не снижать напряжение на всех ячейках ниже 3 В, так как при снижении напряжения ниже допустимого существует риск вздутия и полного выхода из строя ячейки аккумуляторной батареи.

Литий ионные аккумуляторы хоть и могут работать в условиях низких температур, но значительно теряют в эффективности при температуре ниже 0 °С на рисунке 11 приведена зависимость разряда ЛИА при различных температурах.

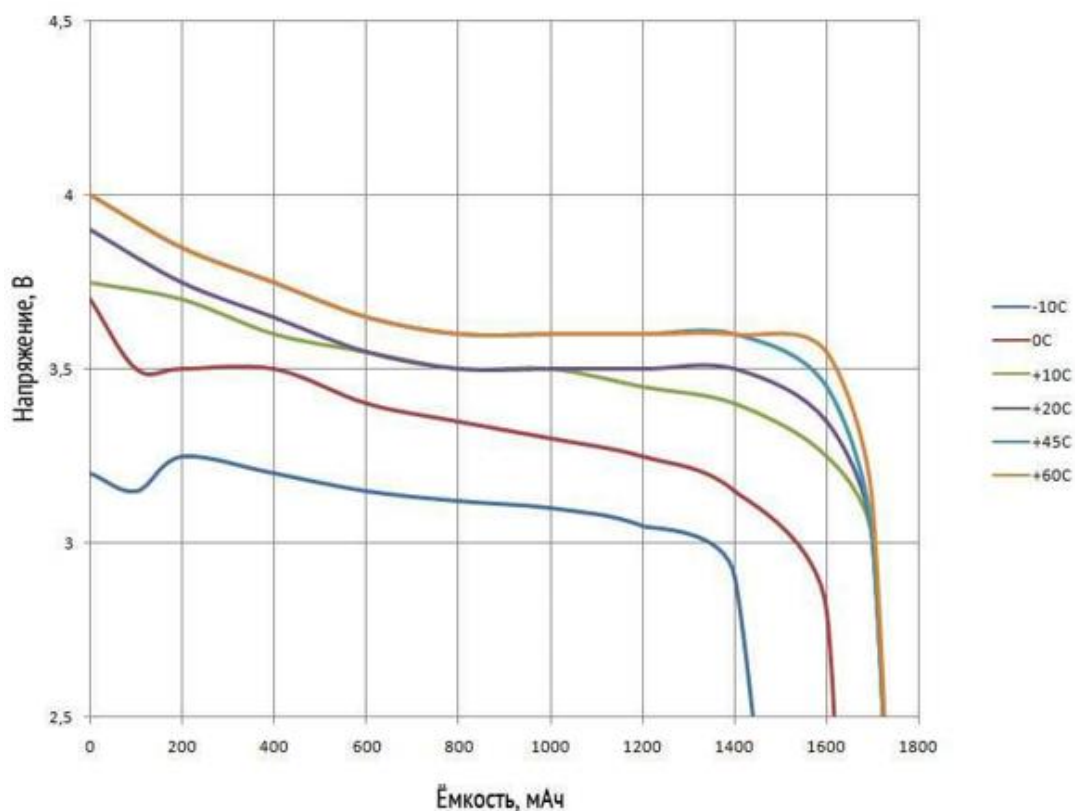


Рисунок 11 – Зависимость разряда литий-ионного аккумулятора при различных температурах.

Как можно увидеть значение емкости при температурах ниже 0°C значительно ниже чем при температурах в диапазоне от 0 до 45°C.

2.1.2 Разновидности и особенности фотоэлектрических панелей солнечных электростанций

Фотоэлектрические панели солнечных электростанций имеют 4 основных типа:

- тонкопленочные;
- поликристаллические;
- монокристаллические;
- GIGs – панели.

Тонкопленочные (аморфные) солнечные батареи состоят из очень тонких слоев (около нескольких нанометров) слоев полупроводниковых материалов, расположенных на подложке, из которых выполнен корпус солнечной панели. Содержание полупроводников в таких панелях небольшое

и КПД аморфных батарей составляет около 6-8%. Достоинствами является низкая потеря мощности от повышения температуры выше номинальной и высокая чувствительность к свету. На момент 2024 года тонкопленочные солнечные батареи вытеснены с рынка, панелями, выполненными на твердом кристалле кремния и применяются достаточно редко. Тонкопленочная панель представлена на рисунке 12.

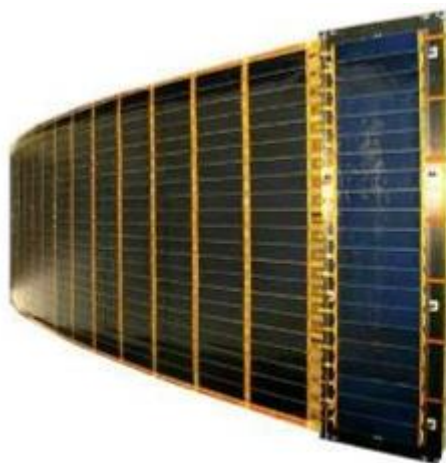


Рисунок 12 – Внешний вид тонкопленочной панели из аморфного кремния

Монокристаллические солнечные панели выполнены на основе твердого кристалла кремния. Свое название «монокристаллические» панели получили из-за того, что выполнены из чистого единого кристалла. «Производители для формирования слитка используют метод Чохральского для постепенного выращивания кристалла кремния из расплава. В качестве «затравки» используется маленький кристалл чистого кремния. По мере роста кристалла вокруг «затравки», его температура кремния постепенно падает, тем самым формируется кристалл чистого кремния цилиндрической формы» [3]. Монокристаллические панели имеют значительно более высокий КПД по сравнению и тонкопленочными и с поликристаллическими батареями около 18-20%, довольно высокий срок службы– 25 лет, лучшая работа при низкой освещенности. Недостатком монокристаллической панели является высокая

потеря мощности при нагреве поверхности панели. Внешний вид монокристаллической солнечной панели представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Внешний вид монокристаллической солнечной панели

Отличием производства поликристаллических солнечных панелей от монокристаллических является то, что при формировании панели вместо выращивания однородного большого кристалла кремния, «затравку» опускают в расплавленный кремний, после вытаскивают и охлаждают. При этом при охлаждении образуется большое количество разнонаправленных кристаллов. Затем эту заготовку нарезают на тонкие пластины необходимой формы и размеров. Эта технология заметно дешевле и быстрее, но поликристаллические панели имеют меньшее КПД и срок службы чем монокристаллические, но и их цена заметно дешевле. Недостаток связанный с падением вырабатываемой мощности при большой температуре поверхности панели присутствует и у поликристаллических панелей. Внешний вид поликристаллической солнечной панели представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид поликристаллической солнечной панели

GIGs – панели это разновидность тонкопленочных панелей, где материалом выступают соединения кадмий-индий или галлий-теллурида. GIGs – панели обладают очень высоким для солнечных панелей КПД более 30%, низкими потерями мощности при высокой температуре поверхности. Но не смотря на все преимущества Данная технология является перспективной и развивающейся, но массового распространения не получила. Все дело в сложности получения соединения кадмий-индий или галлий-теллурида, также в редкости элементов, поэтому и цена на такие батареи выше монокристаллических в десятки раз. GIGs – панели в основном применяются в космической индустрии как источник энергии для спутников и космических аппаратов [30]. Внешний вид GIGs – панели представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Внешний вид GIGs – панели

В таблице 2 приведены основные отличия солнечных панелей

Таблица 2 – основные отличия модулей солнечных панелей

Параметр	Монокристаллические	Поликристаллические	Тонкопленочные	GIGs – панели
КПД, %	18-22	14-18	6-8	>35
Температурный коэффициент мощности, %/°C	0,45	0,48	0,2	0,05
Цена	Средняя	Средняя (но ниже чем у монокристаллических)	Низкая	Очень высокая
Гибкость	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует	Присутствует
Стабильность параметров	Высокая	Высокая но ниже, чем у монокристаллических элементов	Низкая	Очень Высокая

Наиболее перспективными солнечными панелями являются монокристаллические панели, так как они имеют высокий КПД по сравнению с тонкопленочными и поликристаллическими панелями, при этом более доступные чем GIGs панели.

2.1.3 Разновидности и особенности видов ветрогенераторов

Помимо места установки ветрогенераторы классифицируются по расположению оси ветроколеса. Существуют ветрогенераторы:

- С горизонтальной осью вращения;
- С вертикальной осью вращения.

На сегодняшний день горизонтальные ветрогенераторы имеют наибольшую популярность. Ось вращения ветроколеса располагается параллельно земле, а лопасти вращаются против ветра. Наибольшую эффективность горизонтальные ВЭУ достигают при прохождении ветрового потока перпендикулярно плоскости вращения лопастей. Для этого в современных ВЭУ малой мощности используется хвостовое оперение, для ориентации лопастей по направлению ветра, в ВЭУ большой мощности применяются специальные электронные системы. Именно ВЭУ

горизонтальной осью вращения подходят для выработки больших объемов электроэнергии, так как обладают высоким КПД (40-45%) и меньшими габаритами при одинаковой мощности по сравнению с вертикальными ВЭУ [14]. Горизонтальные ветрогенераторы выполняются, однолопастными, двухлопастными, трехлопастными, многолопастными, а также оснащаются мультипликаторами, коробкой передач, системами поворота ветроколеса, поворота и изменения угла лопастей. Рассмотрим ветрогенераторы с разным количеством лопастей:

Основным элементом однолопастного ветроколеса является одна лопасть устанавливаемая к валу генератора вместе с противовесом, имеющим низкое сопротивление воздуху. Из-за несимметричной конструкции имеют низкий пусковой момент, что позволяет осуществлять работу с низкой скоростью порывов ветра. При достижении рабочего режима однолопастное ветроколесо имеет высокие обороты вращения, что позволяет применять его в паре с быстроходными генераторами.

Недостатками однолопастных ветрогенераторов являются:

- Необходимость тщательной балансировки;
- Опасность эксплуатации ветрогенератора, по причине высокой скорости вращения ветроколеса;
- Сильный гироскопический эффект, возникаемый при высокой скорости вращения создает дополнительную нагрузку на механические элементы.

Однолопастный ветрогенератор представлен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Однолопастный ветрогенератор

Двухлопастные ветрогенераторы имеют ветроколесо с двумя лопастями, расположенными под углом 180° , что также уравнивает ротор ветроколеса при любом угловом положении его лопастей. Это избавляет конструкцию от необходимости противовесов, что снижает стоимость данной ВЭУ, в сравнении с однолопастной.

К недостаткам можно отнести:

- Более тяжелый запуск в сравнении с однолопастной ВЭУ;
- Большой шум и вибрации.

Двухлопастный ветрогенератор представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 – Внешний вид двухлопастного ветрогенератора

Трехлопастные ветрогенераторы являются самыми распространёнными на рынке. Трёхлопастные ветрогенераторы — это сбалансированное решение, сочетающее в себе высокий крутящий момент и большую скорость вращения, показывающее высокую эффективность при любых порывах ветра.

На основе исследований ученые и инженеры пришли к выводу, что трехлопастное исполнение является оптимальным [5]. Это обусловлено тем, что ВЭУ двухлопастного исполнения имеет высокую скорость вращения, при этом обладает достаточно небольшим крутящим моментом, и выработка электроэнергии у такого ветрогенератора ниже. Многолопастное исполнение ВЭУ имеет наоборот высокий крутящий момент, но скорость вращения достаточно низкая, и выработка электроэнергии также будет не высокой.

Таким образом, трёхлопастный ветрогенератор — это золотая середина, он даёт достаточно энергии, имеет высокий крутящий момент и приемлемую скорость вращения. Трехлопастной ветрогенератор представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Трехлопастной ветрогенератор

Ветроколесо с числом лопастей больше 4 является многолопастным. Роторы многолопастных ветроколес обладают большим крутящим моментом, что является их большим преимуществом, но низкой скоростью вращения. Эффективно работать такие ветрогенераторы могут только при самом сильном ветре. Внешний вид многолопастного ветрогенератора представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Внешний вид многолопастного ветрогенератора

Отличие ветрогенераторов с вертикальной осью вращения, заключается в конструкции: Вал и лопасти располагаются под углом 90 градусов от поверхности земли. Основные конструктивные элементы ветрогенератора такие как: электрогенератор и мультипликатор располагаются у основания ВЭУ, что облегчает доступ для ремонта или монтажа. Лопасти ВЭУ вращаются в независимости от направления ветра. Это избавляет ветрогенератор от необходимости оснащения системами ориентации лопастей к направлению ветра, но при этом значительно падает энергоэффективность, потому что только половина лопастей вращается против направления ветра.

К достоинствам ВЭУ с вертикальной осью вращения:

- отсутствие требования к ориентации лопастей к направлению ветра;
- простой доступ к основным конструктивным элементам облегчает ремонт и монтаж;
- из-за меньшего количества механических элементов в конструкции, такая ВЭУ обладает большей механической надежностью [27].

К недостаткам ВЭУ с вертикальной осью вращения относятся:

- более низкий КПД (в среднем около 20%, тогда как у горизонтальных ВЭУ этот параметр равен 40-45%);
- более высокая стоимость.

Наиболее перспективными для применения являются трехлопастные ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения, так как они обладают лучшими характеристиками и наибольшей эффективностью.

2.1.4 Разновидности и особенности электрогенераторов

Задачей электрогенератора является преобразование механической энергии вала в электрическую энергию. Электрогенераторы применяются в большинстве видов энергоустановок. Рассмотрим некоторые виды генераторов:

Машины постоянного тока. Первыми электрическими машинами, созданными человеком, были машины постоянного тока. Могут работать как в двигательном, так и в генераторном режиме. Основными элементами является статор (неподвижная часть) и ротор (вращающаяся часть). На внутренней стороне статора располагаются главные полюса и обмотка возбуждения, при этом катушки располагают таким образом, чтобы было чередование северных и южных полюсов. Для улучшения характеристик машина может комплектоваться дополнительными полюсами. Ротор машины набран из листов электротехнической стали. Внутри пазов уложена обмотка ротора. Ротор находится внутри статора и отделен от него воздушным зазором. Для того чтобы соединить внешнюю цепь с обмоткой ротора применяется специальный щеточно-коллекторный узел. Достоинствами генераторов постоянного тока является высокий крутящий момент и высокий КПД. Коллекторный узел является частой проблемой при эксплуатации ГПТ, так как часто выходит из строя и требует постоянного обслуживания. Так же машины постоянного тока имеют большую массу и габариты при одинаковой мощности (по сравнению с генераторами переменного тока).

Синхронные генераторы являются самыми распространенными в объектах коммерческой генерации. Их применяют в паре с гидротурбинами,

паровыми турбинами, дизельными двигателями внутреннего сгорания и ветротурбинами. Как и большинство машин переменного тока, синхронный генератор состоит статора и ротора. Статор синхронного генератора аналогичен конструкции статора асинхронной машины. Значительные отличия наблюдаются в конструкции ротора. Для создания постоянного магнитного поля в ротор устанавливается обмотка возбуждения, питающаяся через скользящий контакт от источника постоянного тока (с электромагнитным возбуждением) или, устанавливаются постоянные магниты. Особенностью синхронных машин по сравнению с асинхронными генераторами, это равная скорость вращения магнитного поля статора и скорость вращения ротора. Синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением применяются в генерирующих установках большой мощности. Для систем малой мощности и автономных систем генерации применяются синхронные генераторы с постоянными магнитами. Они обладают большей надежностью в сравнении ГПТ за счёт отсутствия коллекторного узла, высоким КПД, не потребляют энергии на возбуждение. Проблемой синхронных генераторов с постоянными магнитами является их невысокие регулировочные способности, по причине невозможности изменения рабочего потока постоянных магнитов в широком диапазоне, высокая стоимость генератора из-за применения редкоземельных металлов таких как неодим.

Индукторные генераторы (ИГ) применяются не так часто, как асинхронные или синхронные генераторы, но с каждым годом получают свое место на рынке. Индукторный генератор состоит из электромашинной системы, полупроводникового коммутатора, датчиков положения и управления машиной. «Принцип действия Индукторного генератора прост: При возбуждении какой-либо из фаз ротор электродвигателя старается занять положение, при котором будет максимальная индуктивность у возбужденной фазы. Такое положение называется согласованным. Соответственно положение, когда индуктивность возбужденной фазы минимальна называется рассогласованным. Индуктивность максимальна при совпадении оси

возбужденного зубца статора и зубца ротора, а минимальная при совпадении осей возбужденного зубца статора и оси паза ротора. Датчик положения ротора отслеживает положение зуба ротора и в момент минимального значения индуктивности (рассогласования) возбуждает фазу статора тем самым создавая отрицательный электромагнитный момент, который влечет за собой выработку электрической энергии». [12]. К достоинствам Индукторных генераторов можно отнести: простоту конструкции, высокую ремонтпригодность, отсутствие щеточно-коллекторного узла и постоянных магнитов, низкие затраты на создание машины. К недостаткам можно отнести не высокий КПД генератора и пульсацию электромагнитного момента и магнитного потока. Идет тенденция на постепенное увеличение КПД генератора и снижение пульсаций, что в скором времени позволит ИГ выйти на новый уровень.

Среди рассмотренных наилучшими вариантами являются синхронные генераторы на постоянных магнитах и вентильно-индукторные генераторы. Оба генератора имеют простую и надежную конструкцию, высокую ремонтпригодность, что позволяет дольше оставаться в работе и минимизировать простой в электроснабжении.

2.1.5 Разновидности и особенности топливных элементов

В альтернативной энергетике топливные элементы (ТЭ) все больше набирают популярность. Это обусловлено тем, разработка топливных элементов требует меньших затрат, чем синтез атомного топлива, а их КПД значительно выше многих тепловых электростанций. «Топливные элементы получают электрическую энергию путем преобразования химической энергии топлива, обходя процессы горения при которых происходят большие потери энергии,» [23] а также не имеют механических приводов, что позволяет избежать механических потерь. В процессе химической реакции молекулы водорода и кислорода преобразуются в электрическую энергию, а в качестве побочного продукта образуется вода и тепло. Уже сейчас топливные элементы способны показывать высокий КПД (40-60%), некоторые лабораторные

образцы уже показывают КПД около 80%. На сегодняшний день значительным препятствием является трудности с обеспечением безопасной и постоянной подачи водорода. Существует большое количество топливных элементов, использующих различные виды химических реакций:

- щелочные топливные элементы;
- топливные элементы на основе расплавленного карбоната;
- топливные элементы на основе фосфорной кислоты;
- топливные элементы с протонообменной мембранной;
- твердооксидные топливные элементы;
- топливные элементы с прямым окислением метанола;
- полимерные электролитные топливные элементы.

Щелочные топливные элементы изначально применялись в космонавтике для питания космических аппаратов вместо солнечных батарей. КПД щелочных элементов может достигать до 70%, что делает их одними из самых эффективных. «В качестве электролита используется раствор гидроксида калия, находящегося в пористой матрице. Концентрация электролита может меняться в зависимости от рабочей температуры в диапазоне от 50°C до 300°C. В качестве носителя заряда выступает гидроксид-ион, который направляясь от катода к аноду, вступает в реакцию с водородом, производя воду и электроны» [25].

Топливные элементы на основе расплавленного карбоната требуют высокой температуры для работы. «Высокая рабочая температура позволяет применять природный газ, не используя топливный процессор. В качестве электролита используются смеси расплавленных карбонатных солей: на сегодняшний день применяется: карбонат лития в паре с карбонатом калия, или карбонат лития в паре с карбонатом. Для того, чтобы добиться плавления карбонатных солей и достичь высокой скорости ионов в электролите, температуру внутри топливного элемента разогревают до 650-700°C» [25].

Топливные элементы на основе фосфорной кислоты были первыми ТЭ применявшимися в коммерческих целях. В качестве электролита используется

ортофосфорная кислота высокой концентрации. Температура рабочего процесса составляет около 150-220°C, так при более низких температурах идут ионная проводимость электролита является очень низкой. В данной модели водород является носителем заряда. Водород подходя к аноду разделяется на протоны и электроны.

Топливные элементы с протонообменной мембранной являются одним из наиболее перспективных направлений в изучении топливных элементов. Данный вид ТЭ применяется в космонавтике, для коммерческой генерации электрической энергии. А в перспективе будет заменой двигателей внутреннего сгорания, в автомобильной сфере. Электролитом выступает тонкая полимерная мембрана, которая при смачивании водой пропускает через себя только протоны и препятствует проходу электронов. В качестве топлива выступает водород, а носителем заряда является положительный заряд водорода. Рабочая температура ТЭ с протонообменной мембраной составляет 60-100°C, что позволяет быстро выйти на рабочий режим. Данные ТЭ очень компактны и одни из самых эффективных, при условии ограниченной массы или объема.

Самыми высокотемпературными топливными элементами являются твердооксидные топливные элементы, чья рабочая температура доходит до 1000°C. В качестве электролита используется тончайший лист слава иттрия и циркония, расположенного на керамической основе, который является проводником ионов кислорода. «Твердый электролит обеспечивает герметичный переход газа от одного электрода к другому, в то время как жидкие электролиты расположены в пористой подложке. Носителем заряда в топливных элементах данного типа является ион кислорода» [24].

Проведем сравнение важных характеристик топливных элементов. Характеристики топливных элементов приведены в таблице 3. Преимущества и недостатки приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Характеристики топливных элементов.

Тип топливного элемента	Рабочая температура	Эффективность выработки электроэнергии	Тип топлива	Область применения
Щелочные топливные элементы	50-200°C	40-65%	Чистый водород	Космические исследования
Топливные элементы на основе расплавленного карбоната	550-700°C	50-70%	Большинство видов углеводородного топлива	Средние и большие установки
Топливные элементы на основе фосфорной кислоты	100-220°C	35-40%	Чистый водород	Большие установки
Топливные элементы с протонообменной мембраной	30-100°C	50-70%	Чистый водород	Малые установки
Твердооксидные топливные элементы	450-1000°C	45-70%	Большинство видов углеводородного топлива	Малые, средние и большие установки
ТЭ с прямым окислением метанола	20-90°C	20-30%	Метанол	Переносные установки
Полимерные электролитные ТЭ	30-100°C	35-50%	Чистый водород	Малые установки

Таблица 4 – Преимущества и недостатки современных топливных элементов

Тип топливного элемента	Преимущества	Недостатки
Щелочные топливные элементы	Дешевизна в производстве Работа низкой температуре	Снижение эффективности при попадании углекислого газа в топливо
Топливные элементы на основе расплавленного карбоната	Высокая эффективность Возможность использования побочной теплоты для производства пара	Долгий выход на рабочий режим

Продолжение таблицы 4

Тип топливного элемента	Преимущества	Недостатки
Топливные элементы на основе фосфорной кислоты	Простая конструкция, низкая степень летучести электролита	Невысокий КПД
Топливные элементы с протонообменной мембранной	Использование твердого электролита Быстрый выход на рабочий режим Высокий КПД	Небольшое количество тепла выделяемое при эксплуатации
Твердооксидные топливные элементы	Высокая температура позволяет применять побочное для теплоснабжения	Выход на рабочий режим занимает значительное время
Топливные элементы с прямым окислением метанола	Низкая рабочая температура Быстрый выход на режим работы	Низкий КПД
Полимерные электролитные топливные элементы	отсутствие жидкого агрессивного электролита; уменьшенные масса и габариты; экологическая безопасность	необходимость в специальном контроле баланса воды в мембранно-электронном блоке Невысокий КПД

Однозначно лучший вид топливного элемента назвать трудно. Каждый из видов обладает своими достоинствами и недостатками. Однако на данный момент одними из самых популярных ТЭ являются твердооксидные ТЭ за счет своего высокого КПД (60-75%) и высокой рабочей температуры, позволяющей осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии для генерации пара высокого давления.

2.2 Разновидности и конструктивные особенности инверторов

Многие источники альтернативной энергетики вырабатывают постоянный ток или переменный, но с частотой, отличающейся от стандартной. В таких случаях для питания бытовых или промышленных потребителей, потребляющих переменный ток, используется инвертор.

Задачей инвертора является преобразование постоянного тока в переменный ток требуемых параметров. Различают два основных типа инверторов: зависимые и автономные. Главным условием работы зависимого инвертора является наличие на выходных цепях источника переменного напряжения, частоту, форму и величину которого будет выдавать зависимый инвертор. Главной задачей зависимых инверторов является передача дополнительной или недостающей активной мощности в сеть. Самым распространенным применением зависимых инверторов является синхронизация двух энергосистем, работающих с разной промышленной частотой. Когда в конце линии выпрямитель преобразует переменный ток одной частоты в постоянный, зависимый инвертор образует обратно, используя выдавая переменный ток таких же параметров сети, к которой подключен. Автономному инвертору в отличие от зависимого не требуется источник переменного напряжения, для работы. Данные инверторы способны работать автономно и могут выдавать переменный ток необходимых параметров. Основными элементами в инверторах являются тиристоры, транзисторы и конденсаторы.

Классифицируются автономные инверторы «по различным признакам таким как:

- по виду схем включения управляемых приборов (полумостовые, мостовые, со средней точкой трансформатора и др.);
- по принципу коммутации (выключения) управляемых приборов (индивидуальная, пофазная, групповая, общая; естественная и принудительная; параллельная, последовательная, последовательно параллельная; при нулевом значении тока и напряжения и др.);
- по принципу управления ключами — с независимым или с самовозбуждением;
- по типу используемых приборов с полууправляемыми приборами (ООТ); с полностью управляемыми приборами (двухоперационный тиристор (ДОТ), IGBT, MOSFET и др.);

- по характеру протекающих в них электромагнитных процессов — автономные инверторы тока; автономные инверторы напряжения, автономные резонансные инверторы;
- по виду переходного процесса в цепи нагрузки (цепи переменного тока) — аperiodические и колебательные» [22].

Автономные инверторы применяются во многих сферах жизни таких как:

- для электроснабжения ответственных потребителей, если одним из резервных источников является аккумуляторная батарея.
- в электрическом транспорте. На многих поездах установлены тяговые надежные асинхронные электродвигатели, которые не могут работать от контактной сети;
- для регулирования скорости вращения асинхронных и синхронных двигателей. Инвертор является одним из основных элементов частотных преобразователей служащих для изменения частоты питающей сети электродвигателей;
- для преобразования электрической энергии, полученной напрямую от устройств генерации таких как солнечные панели, топливные элементы, МГД-генераторы, которые вырабатывают энергию только постоянного тока;
- в целях электротермии. В металлургии используют инверторы для получения тока повышенной частоты в целях плавки, закалки или нагрева металла. Также инверторы применяются в мощных сварочных аппаратах.

Вывод по главе: Во второй главе были рассмотрены конструктивные особенности элементов электростанций малой мощности, проведен анализ характеристик и проведен выбор наиболее перспективных из тех, что представлены на сегодняшнем рынке.

Среди аккумуляторных батарей для буферных накопителей, представленных на сегодняшнем рынке самыми перспективными являются

литий-ионные за счёт своей высокой плотности заряда, долговечности и низкой скорости саморазряда.

Лучшими на рынке солнечных батарей являются солнечные панели на основе монокристаллических кристаллов кремния. Так как они имеют хороший КПД за свою цену, они не сильно подвержены деградации со временем и имеют высокий срок службы.

В качестве ветрогенераторов лучшими являются трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения, так они имеют высокий КПД относительно моделей с вертикальной осью вращения, а также трехлопастное исполнение является самым сбалансированным с точки зрения скорости вращения и крутящего момента.

Среди электрогенераторов, рассмотренных в данной главе лучшими являются синхронные генераторы с постоянными магнитами и вентильно-индукторные генераторы, так обе модели имеют простую, надежную конструкцию, а также имеют высокую ремонтпригодность, что позволит минимизировать простои оборудования, особенно в условиях

На данный момент одними из самых популярных ТЭ являются твздооксидные ТЭ за счет своего высокого КПД (60-75%) и высокой рабочей температуры, позволяющей осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии для генерации пара высокого давления.

3 Прогнозирование путей дальнейшего повышения показателей энергоэффективности систем электроснабжения малой мощности

3.1 Внедрение в ДЭС микропроцессорной системы управления, обеспечивающей стабильные параметры работы при изменяющейся нагрузке

На данный момент среди автономных источников электроэнергии наиболее часто применяются дизель-генераторные установки. ДГУ применяются в качестве аварийных или резервных источников питания, в следствии этого требования к качеству генерируемого напряжения, к ресурсу работы и экономичности ниже чем к генерирующим установкам, подключенным к общей сети.

Если ДГУ работает в качестве основного источника электроэнергии, то параметры качества генерируемой электроэнергии должны соответствовать требованиям ГОСТ 32144 – 2013. При этом в изолированной системе электроснабжения, постоянно изменяется потребляемая нагрузка, что заставляет работать ДЭС с низким коэффициентом загрузки генератора и дизеля. Это в свою очередь приводит к снижению КПД, повышенному расходу топлива, снижению моторесурса дизеля, а также более быстрому выходу из строя механизмов дизель-генератора.

К разрабатываемым или реконструированным автономным системам на ДЭС применяются требования к: качеству генерируемой электроэнергии повышению КПД и надежности, экономичности, к повышению вырабатываемой мощности при общем снижении массы и габаритов.

«Одним из основных показателей эффективной работы дизель-генераторной автономной электростанции является удельный расход топлива на выработку одного кВт·ч электрической энергии. Минимальный расход топлива дизельных электростанций (ДЭС) обеспечивается только при номинальной нагрузке» [11], что в условии постоянно изменяющейся

потребляемой нагрузки невозможно. Поэтому одним из приоритетных направлений развития ДЭС является поиск способов снижения расхода топлива и сохранение эксплуатационных характеристик ДГУ при переменной нагрузке.

Один из способов — это применение в составе электростанции нескольких ДГУ разной мощности, или используя ДГУ совместно с альтернативным источником генерации. Суть заключается в том, что с изменением графика нагрузки изменяется количество и мощность задействованных генераторов, что позволяет избежать работы мощных генераторов с низким коэффициентом загрузки. Для реализации данного требуется наличие нескольких генерирующих установок и возможность оперативного ввода в работу нужного количества агрегатов в минимальное время. Однако этот способ невозможно применить если в составе электростанции имеется только одна ДГУ.

Второй способ экономии топлива состоит в изменении частоты вращения вала дизельного двигателя таким образом, чтобы двигатель вращался с минимальным расходом топлива при заданной нагрузке.

В классических исполнениях дизельных электростанций дизель работает при постоянной скорости. Сделано это в целях поддержания частоты напряжения в 50 Гц. Данное обстоятельство не позволяет как-либо оптимизировать режим работы дизеля для экономии топлива, а также резкое изменение потребляемой мощности, вызывает изменения величины и частоты выходного напряжения, которое не может быть оперативно восстановлено системами автоматического управления ДГУ. Чтобы устранить данные недостатки необходимо добавить к ДГУ устройство, позволяющее регулировать частоту генерируемого напряжения, а также внедрить микропроцессорную систему управления впрыска топлива, позволяющую поддерживать минимальный расход топлива в зависимости от нагрузки в конкретные моменты времени. Устройством, позволяющим регулировать частоту генерируемого напряжения послужит IGBT преобразователь частоты.

Суть микропроцессорной системы управления заключается в том, что при изменении факторов, влияющих на работу дизеля, таких как: график потребляемой мощности, атмосферные условия, износ деталей или узлов ДГУ, система будет поддерживать такую скорость вращения дизеля, чтобы он работал с минимальным расходом топлива.

Структурная схема ДГУ с микропроцессорной системой управления приведена на рисунке 20.

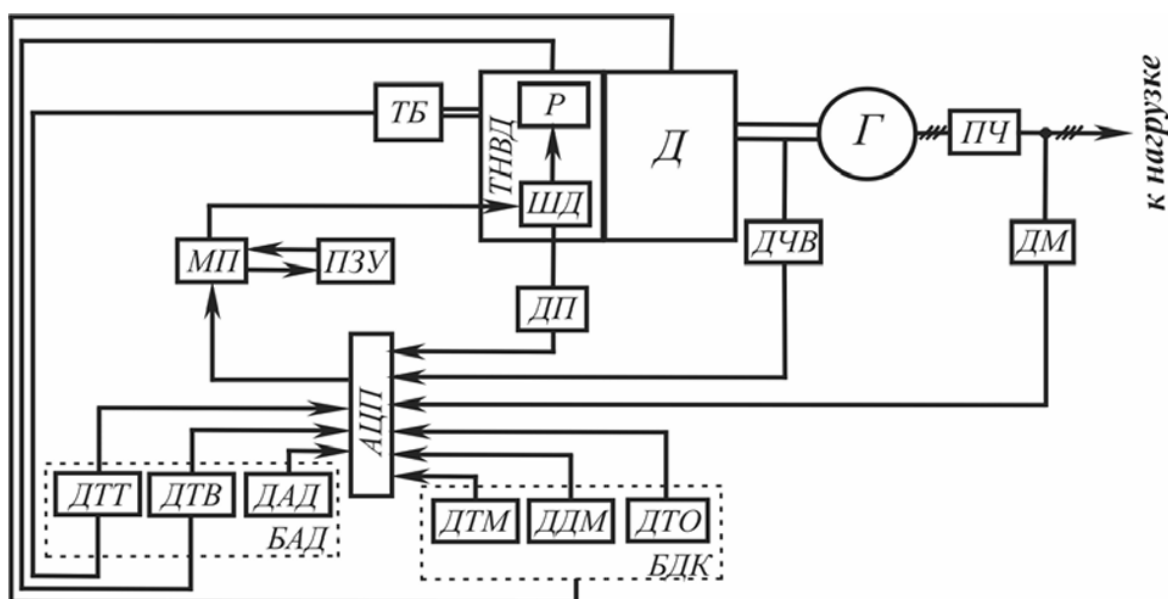


Рисунок 20 – Структурная схема ДГУ с микропроцессорной системой управления

Система управления ДГУ «построена на микропроцессорах и состоит из центрального процессора, постоянно запоминающего устройства (ПЗУ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), группы отслеживающих датчиков, Датчики системы отслеживают параметры состояния дизеля, и передают информацию в систему, та в свою очередь рассчитывает необходимую потребность топлива для данной нагрузки и формирует импульсы требуемой длительности, подаваемые на электромагниты топливных форсунок» [11].

Информацию о состоянии и работе дизельной электростанции предоставляют датчики, контролирующие состояние топливной смеси, отдельных агрегатов ДГУ и оповещающие о аварийных режимах работы. Применяются в системе управления три вида датчиков:

- датчики отслеживающие параметры работы дизеля: (датчики частоты вращения вала ДВС, датчик мощности нагрузки и положения рейки ТНВД);
- датчики отслеживающие параметры топливной смеси (датчик температуры топлива, датчик температуры всасываемого воздуха, датчик атмосферного давления);
- противоаварийные датчики: (датчик температуры охлаждающей жидкости, датчики давления и температуры масла ДВС).

Принцип действия таков. Сигналы с датчиков поступают в АЦП, который передает их центральный процессор, преобразуя сигнал из аналогового в дискретный. Корректировка необходимого количества топлива, подаваемого в двигатель осуществляется через коррекционный блок. Ориентируясь на показания датчиков вращения вала двигателя, датчика мощности и датчика положения рейки ТНВД, процессор сравнивает значения с предыдущими показаниями, хранящимися в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ), производит расчет и выбор режима работы дизельного двигателя, формирует управляющий сигнал и отправляет на шаговый двигатель ТНВД.

В ПЗУ хранится информация со всех собираемая со всех датчиков о состоянии ДГУ, а также программное обеспечение, собирающее всю информацию с датчиков, обрабатывающее полученные данные и формирующее управляющий сигнал.

Данная система управления позволит значительно сэкономить топливо при низких нагрузках, что в свою очередь повысит время работы при низких нагрузках, улучшить экологические характеристики оборудования, а также

позволит генерировать качественную электроэнергию, отвечающую всем требованиям ГОСТ 32144-2013.

3.2 Внедрение фотоэлектрических панелей с полусферической оболочкой на поверхности для улучшения поглощения и улучшенного углового покрытия

Один из важных показателей, влияющих на эффективность работы солнечных панелей — это угол наклона солнечной панели. Для получения максимальной эффективности, поверхность солнечной панели должна располагаться перпендикулярно падению солнечных лучей. Это необходимо, для того чтобы весь поток солнечных лучей попадающих на поверхность проходил сквозь активный слой и вырабатывал электроэнергию. В противном случае часть солнечного потока будет отражаться от поверхности панели, вследствие чего солнечная батарея будет терять эффективность. Современные солнечные батареи предельный угол отклонения относительно солнца около 15 до 30 градусов. Для отдельно стоящих солнечных батарей, входящих в состав солнечных электростанций разработаны специальные автоматические устройства ориентации поверхности панели относительно падения солнечных лучей. Они, имея информацию о географическом положении солнечной батареи автоматически просчитывают угол поворота и поворачивают панель. Возможность изменения ориентации может происходить как по горизонтали, так и по вертикали. Однако такие системы не подходят для солнечных панелей, устанавливаемых на крышах и фасадах домов, а также панелей, установленных на портативных устройствах, где установка такого оборудования затруднительная ввиду большой громоздкости. Поэтому активно разрабатываются способы повышения эффективности солнечной панели при угловом падении солнечных лучей.

На данный момент было найдено несколько способов удержания светового потока как при прямом, так и угловом излучении. Предлагаются

варианты, «включающие в себя нанотекстурирование поверхности, встроенные светорассеиватели, возбуждение локализованных поверхностных плазмонов, просветляющее покрытие с наноструктурами.» [2] Отдельное внимание прикладывается разработке солнечных панелей, в которых активный слой выполнен со специфической формой в целях улучшения поглощения солнечного потока. Одна из перспективных работ в этом направлении – это придание фотоэлектрическому слою солнечной панели полусферической формы.

Данная работа основана на гипотезе о том, что фотоэлектрические элементы круглой формы лучше принимают и удерживают солнечный поток при угловом облучении. Рассмотрим строение поверхности солнечной панели с полусферической оболочкой на рисунке 21.

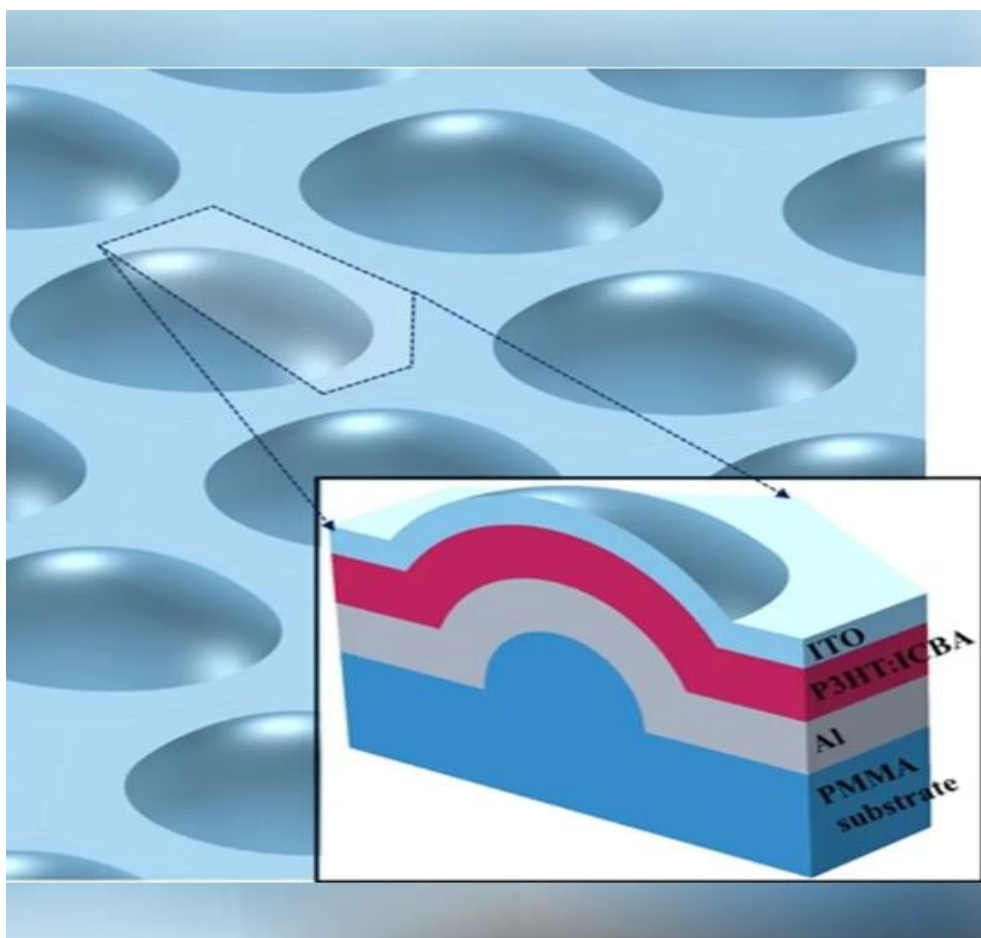


Рисунок 21 – Строение поверхности солнечной панели с полусферической оболочкой

Активный слой фотоэлектрической панели является многослойным и состоит из слоя алюминия с толщиной 200 нм, расположенного в самом низу и нижним положительным электродом. Следующий слой занимает поли(3-гексилтиофен-2,5-диил), смешанный с тетрагидро-диметанофталено фуллерен-С60 или сокращенно РЗНТ:IMBA, толщиной 200 нм, в качестве активного слоя. В качестве верхнего слоя используются соединения оксида индия-олова (ICO) толщиной около 110 нм, в качестве отрицательного электрода. Все слои располагаются на полимерной подложке полусферической формы из полиметилметакрилата (ПММА). Чтобы поддерживать форму лицевой поверхности полимерной подложки, в полимерном активном слое применяется технология микроконтактной печати – это один из способ мягкой литографии, использующийся для переноса частиц активного слоя с временной подложки на подложку солнечной панели. Слои РЗНТ:IMBA и ICO накладываются при помощи стандартных методов осаждения.

Чтобы создать полусферические формы в подложке из гибких полимеров таких как полиметилметакрилат применяется одна из трех технологий:

- Метод термического оплавления;
- Метод литографии в оттенках серого;
- Метод наносферной литографии с двумя этапами литья и реактивного ионного травления.

Метод термического оплавления представляет собой изменение строения материала при нагреве выше температуры стеклования, вызванное поверхностным натяжением. С помощью метода термического оплавления можно превратить цилиндрическую форму в часть сферы. Одним из ключевых моментов в использовании этого метода для предлагаемой конструкции является управление углом контакта сферической формы. С помощью современных технологий можно получить угол контакта от 85 до 130 градусов. На первом этапе наносятся частицы никеля на полиимидную

подложку. Полиимид выбран в качестве подложки по причине повышенной температуры стеклования (300-330 °С) по сравнению с полиметилметакрилатом (90-120 °С), в целях не допуска сильной деформации ПММА при процессе термического оплавления. Вторым этапом является формированием полусфер из ПММА при помощи литографии. Это может выполняться как при помощи ультрафиолетового луча, электронного луча или рентгеновского излучения. Третьим этапом идет процесс термического оплавления. Для получения нужных характеристик угол контакта ПММА регулируется по температуре оплавления, времени оплавления и размерам никелевых стоек. Метод изготовления подложки из ПММА с полусферическими формами при помощи метода типового оплавления изображен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Метод изготовления подложки из ПММА при помощи метода типового оплавления

При методе литографии в оттенках серого пространственное изменение количества дозы может привести к получению контролируемых трехмерных (3D) форм после проявки. В зависимости от материала резиста, используемого в литографии, и формы, достижимой с помощью литографии, узорчатый резист может быть использован как часть подложки или в качестве маски для травления для последующего процесса реактивного ионного травления. Если включен процесс реактивного ионного травления, он останавливается после того, как будут израсходованы все маски сопротивления. Необходимы усилия по поиску оптимального соотношения скоростей травления между резистом и ПММА, чтобы в подложке формировалась правильная форма полусферы. Если в результате процесса реактивного ионного травления образуется

шероховатая поверхность, ее можно сгладить с помощью умеренного процесса термического оплавления. Метод литографии в оттенках серого изображён на рисунке 23.



Рисунок 23 – Метод литографии в оттенках серого

Согласно предварительным результатам, усиление поглощения предложенной структуры составит от 36% и до 66% (в зависимости от поляризации света) соответственно по сравнению с устройством с плоской структурой. Также обнаружено, что при больших углах падения солнечных лучей поглощение и угловое покрытие устройств с полусферической оболочкой значительно выше в сравнении с панелями с плоской оболочкой, и с экспериментальным образцом солнечной панели с цилиндрической оболочкой. Высокий уровень поглощения солнечного потока оставался при углах 80 градусов, в тоже время, когда у панели с цилиндрической оболочкой уровень поглощения стал значительно снижаться уже при 74 градусах, а у панели с плоской оболочкой при 55 градусах. Улучшение поглощения и углового покрытия связано с улучшенным проведением света в активном слое.

Предложенный вариант солнечной панели идеально подойдет для размещения в тех местах, где установка устройств поворота затруднительна, а также для переносных устройств, питающихся от солнечной панели.

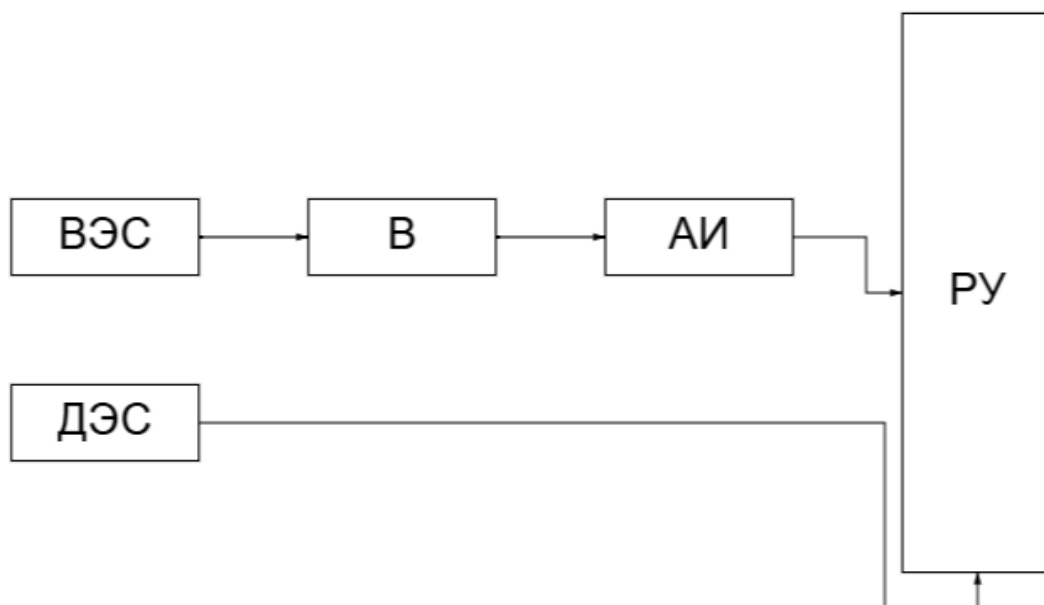
3.3 Внедрение индукторного генератора в состав ВЭУ и применение комбинированной ветродизельной установки

Как говорилось в предыдущей главе «основным и наиболее дорогостоящим элементом ветроэнергоустановки является генератор, который служит для преобразования механической энергии вращения ротора ветрогенератора в электрическую» [27]. В настоящее время применяются несколько различных видов ветрогенераторов. На данный момент в современных ВЭУ используются синхронные с постоянными магнитами и асинхронные генераторы. Эти генераторы обладают рядом достоинств таких как небольшие массогабаритные показатели и высокий КПД. Но также имеют и недостатки такие как: сложность регулирования параметров, трудности в обслуживании, высокую стоимость и наличие скользящего контакта у некоторых моделей.

Некоторые из этих недостатков не важны если ВЭУ располагается вблизи крупных городов с развитой логистикой, но при установке в автономных изолированных регионах где отсутствует возможность быстрой доставки запчастей, или оперативного прибытия ремонтной бригады на первый план выходит надежность электрогенератора. В этом плане применение в качестве электрогенератора индукторного генератора является эффективным решением. Индукторный генератор (ИГ) обладает высокой надежностью за счет электрической и магнитной независимости каждой из фаз, отсутствия на роторе обмоток или коллекторных узлов, ротор состоит только из листов шихтованной электротехнической стали, в некоторых вариациях индукторного генератора обмотки статора могут быть заменяемыми [1]. Так как в его конструкции отсутствуют дорогие постоянные магниты из редкоземельных материалов, стоимость такого генератора будет ниже. Слабыми местами индукторного генератора являются, высокие пульсации и невысокий КПД. Индукторный генератор несмотря на свои недостатки является хорошим выбором в качестве электрогенератора в ВЭУ

расположенной в труднодоступном районе, ввиду своей высокой надежности и простоты конструкции.

Для повышения надежности электроснабжения, а также технико-экономических характеристик, все больше устанавливаются комбинированные энергокомплексы состоящие из ветроэлектростанции (ВЭС) и дизель-генераторной установки (ДГУ). Дизельная электростанция сможет взять на себя часть нагрузки или даже всю нагрузку во время опасных для работы ВЭС высокоскоростных порывов ветра или во время безветрия, тем самым решая главную проблему ВЭС непостоянства выработки электроэнергии. В тоже время в периоды малой нагрузки, которую может полностью покрыть ВЭС, ДГУ не используется, что значительно экономит топливо. Вариант структурной схемы ветродизельной электростанции мощностью до 100 кВт изображен на рисунке 24.



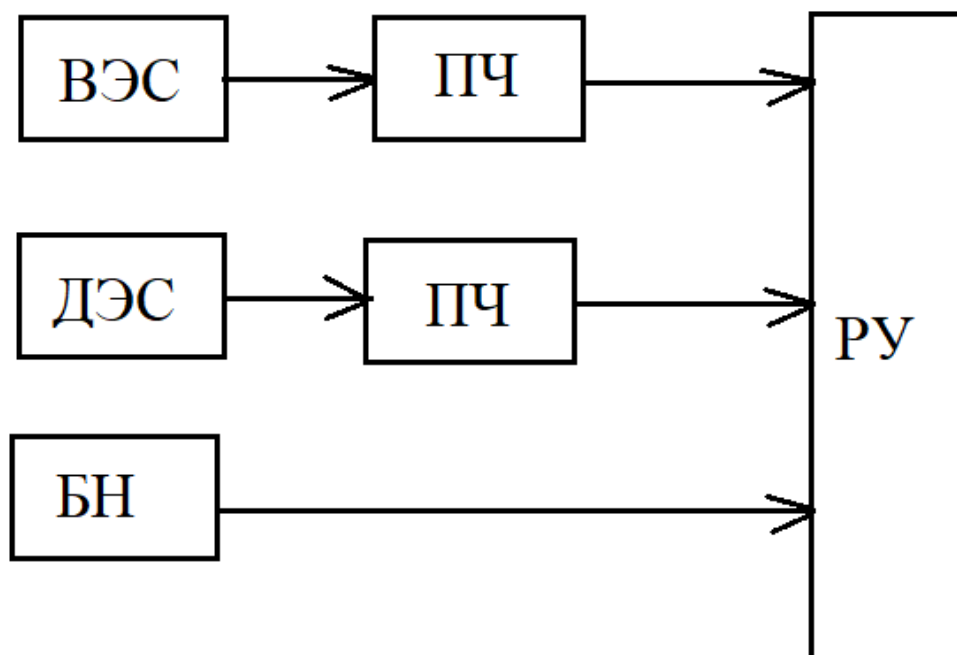
ДЭС – дизельная электростанция; ВЭС – ветровая электростанция; В – выпрямитель; АИ – автономный инвертор; РУ – распределительное устройство; Н – нагрузка

Рисунок 24 – Структурная схема ветродизельной электростанции

Данная схема ветродизельной электростанции предусматривает объединение электроустановок на шинах переменного тока. В данной схеме

ДЭС электростанция выполняет роль резервного источника энергии. В периоды благоприятных для работы ВЭУ условий ДЭС не задействуется. Если происходит снижение выработки электроэнергии ВЭУ, то ДЭС дополняет недостающую часть мощности и энергии, необходимые для потребителя в соответствии с его графиком нагрузки. В зависимости от соотношения генерируемых мощностей ДГУ и ВЭУ, могут предполагаться как отдельные режимы работы каждой из групп энергоисточников, так и параллельная работа всех установок на общую нагрузку в зависимости от графика потребления мощности. Доля электроэнергии, генерируемой ВЭУ в составе гибридных электростанций должна составлять не менее 50% от полной генерируемой мощности.

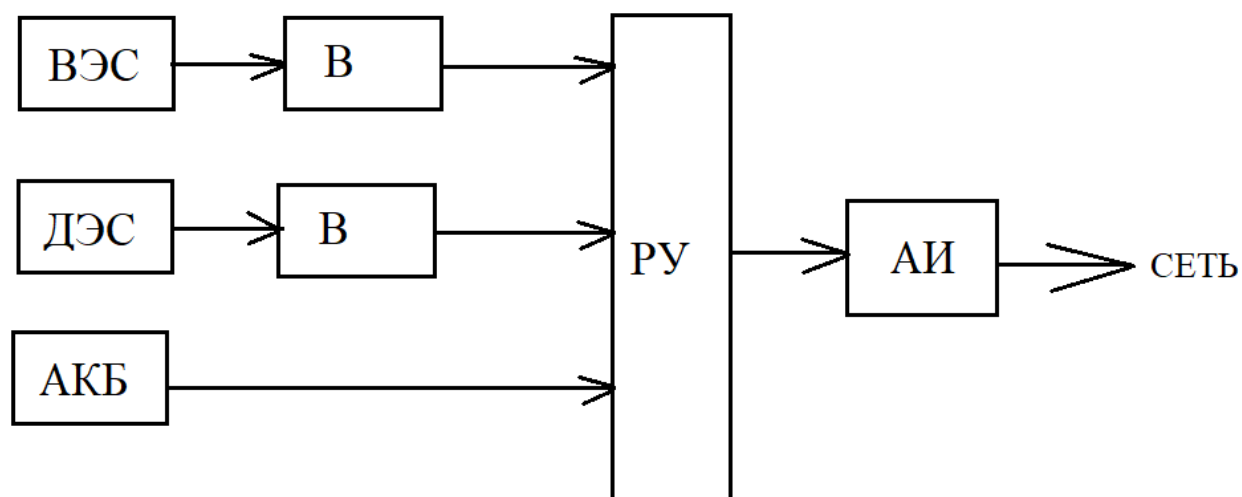
Помимо основных элементов в составе комбинированной электростанции могут оснащаться буферными накопителями с установленными внутри аккумуляторными батареями, а также преобразователями частоты установленных в составе как ДЭС, так и современных ВЭС. Структурная схема гибридной электростанции с применением преобразователей частоты изображена на рисунке 25.



ВЭС – Ветроэлектрическая станция, ДЭС – Дизельная электростанция, ПЧ – преобразователь частоты, БН – буферный накопитель, РУ – Распределительное устройство

Рисунок 25 – Структурная схема гибридной электростанции с применением преобразователей частоты

Также одним из структурных вариантов гибридной электростанции является ВДЭС в котором для объединения работы всех энергоустановок используется постоянный ток. Структурная схема гибридной электростанции с общей шиной постоянного тока изображена на рисунке 26.



ВЭС – Ветроэлектрическая станция, ДЭС – Дизельная электростанция, В – выпрямитель, АКБ – аккумуляторная батарея, РУ – Распределительное устройство постоянного тока, АИ – автономный инвертор

Рисунок 26 – Структурная схема гибридной электростанции с общей РУ постоянного тока

В данной вариации генераторы подключаются к общим шинам постоянного тока через выпрямительные устройства. РУ постоянного тока подключается к общему автономному инвертору, который преобразует постоянный ток, в переменный ток необходимой частоты.

В данном варианте гибридной электростанции ветровая и дизельная энергоустановки работают в режимах переменной частоты вращения и, соответственно, переменной генерируемой мощности. «Для ВЭС это позволяет реализовать режим максимального использования энергии ветра. Для ДЭС – возможность снижать частоту вращения агрегата с уменьшением необходимой генерируемой мощности, что позволяет снижать расход топлива. Логика работы схемы строится на максимальном использовании энергии ВЭС с целью экономии топлива ДЭС, генерирующей недостающую мощность для обеспечения потребителей. Режим работы ДЭС с переменными оборотами более эффективен, поскольку не требует расхода топлива на поддержание постоянной частоты вращения дизель-генератора (ДГ). Кроме экономии топлива, режим двигателя обеспечивает увеличение его ресурса» [31].

Также исчезает проблема синхронизации ДГУ и ВЭС в общую сеть, что также открывает возможность более простого наращивания генерирующих мощностей. Однако вместе с тем использование дорогих выпрямительных устройств, а также инвертора способного преобразовать большие мощности, значительно удорожает стоимость такой электростанции.

3.4 Внедрение системы рециркуляции для повышения производительности топливного элемента с улавливанием углекислого газа

Основным топливом, применяемым для работы топливного элемента, является водород. Водород может как подвозиться отдельно, так и вырабатываться рядом или на небольшом удалении от энергоустановки. Наиболее популярным способом выработки водорода, для работы топливного элемента, является способ риформинга углеводородного топлива. Риформинг – это процесс «получения чистого водорода из лёгких углеводородов путём каталитической конверсии углеводородов в присутствии водяного пара. Процесс риформинга состоит из нескольких этапов:

- предварительная очистка углеводородного сырья от каталитических ядов;
- смешивание очищенного сырья с водяным паром в необходимом для оптимальной реакции соотношении;
- подача в змеевик-подогреватель трубчатой печи сырья риформинга, где смесь подогревается до требуемой температуры и поступает в реакционные трубы реактора паровой конверсии, заполненные никелевым или иным катализатором, нанесённым на алюминиевую подложку;
- продукты конверсии после РПК проходят через рекуператор в шифт-реактор, отдавая свою теплоту;

- в шифт-реакторе оксид углерода (СО) в присутствии катализатора, вступая в обратимую экзотермическую реакцию с водяным паром, образует СО₂ и водород» [19].

Установки риформинга могут устанавливаться как внутри, так и вне топливного элемента. Для риформинга углеводородов, выполняемого вне топливного элемента, связанная с ним внешняя установка риформинга может быть расположена на удалении от топливного элемента или рядом с топливным элементом.

На данный момент всё активнее появляются установки, в которых процесс парового риформинга для получения топлива объединен с работой топливного элемента. Наиболее часто этот метод применяется с твердооксидными топливными элементами (ТОТЭ) в которых размещенный на электроде никелевый катализатор и нужный для поддержания химической реакции может также использоваться для инициации химического процесса риформинга углеводородного топлива. При таком процессе выделяется водород и монооксид углерода. Рабочая температура ТОТЭ схожа с рабочей температурой процесса парового риформинга (около 800°С), а также в качестве побочного продукта работы ТОТЭ выделяется водяной пар, необходимый для риформинга.

Пар присутствующий в ТОТЭ снижает осаждения молекул углерода на электродах топливного элемента. Однако технически тяжело поддерживать высокое отношение водяного пара к углероду по всей площади топливного элемента. Особенно эта проблема остро проявляется в области входа, где поступающее топливо испытывает недостаток в паре или жидкой воде (Н₂О) по причине градиента концентрации. Концентрация Н₂О обычно повышается от входа к выходу топливного элемента, что приводит к образованию углерода вблизи входа, так как именно здесь концентрация Н₂О минимальна. По этой причине на электродах образуются осаждения углерода, которые нарушают процессы теплового и массового обмена и впоследствии могут привести к выходу из строя топливного элемента.

Осаждения молекул углерода может создать определенные проблемы в поддержании длительной работы ТЭ. Возникает необходимость в периодическом отключении оборудования, замене ячеек ТЭ, техническом обслуживании систем риформинга, что приводит к увеличению затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Поэтому для решения данной проблемы необходимо повысить коэффициент использования топлива, с дополнительным отделением из топлива потока двуокиси углерода.

«Система рециркуляции на основе топливного элемента представляет собой:

- топливный элемент, включающий анод, выполненный с возможностью образования горячего отходящего потока анода, причем анод включает вход и выход;
- цикл рекуперации отходящего тепла, выполненный с возможностью выработки энергии из охлаждения горячего анода;
- компрессор, выполненный с возможностью сжатия отходящего газа, охлажденного посредством цикла рекуперации отходящего тепла;
- расширитель, выполненный с возможностью расширения и охлаждения сжатого отходящего газа» [19].

Одним из главных элементов является теплообменная система, рассчитанная на:

- прием части объема расширенного газа, предварительное охлаждение сжатого отходящего газа цикла рекуперации отходящего тепла, а также дополнительное охлаждение посредством расширителя;
- удаления посредством фазового перехода воды (H_2O) и диоксида углерода (CO_2) из отходящего газа, проходящего через цикл рекуперации отходящего тепла;
- возможность образования потока топлива, возвращающегося на вход анода топливного элемента, с более высокой молярной концентрацией

монооксида углерода (CO) и водорода (H_2) в топливе, чем изначально присутствовала в отходящем газе анода топливного элемента.

Принципиальная схема системы рециркуляции представлена на рисунке 27.

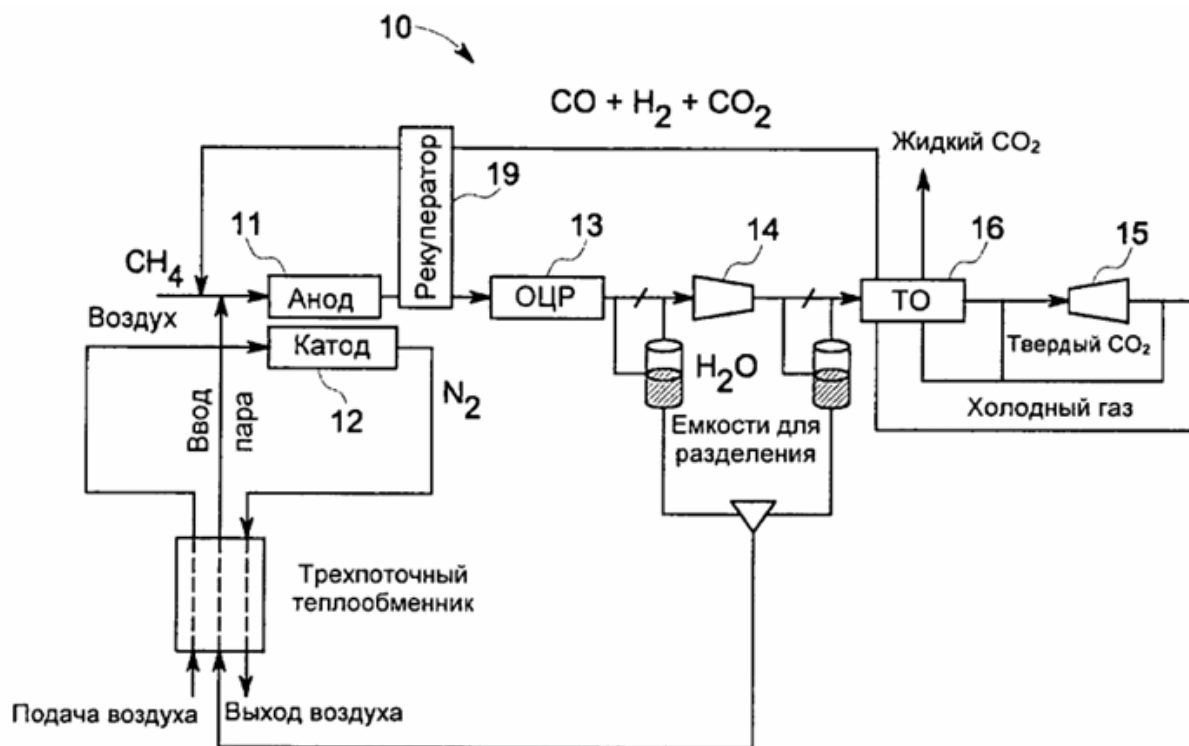


Рисунок 27 – Принципиальная схема системы рециркуляции

Система рециркуляции на основе твердооксидного топливного элемента, включающего анод 11 и катод 12. Тепловая энергия от отходящего анода приводит в действие органический цикл Ренкина 13, для выработки энергии. После происходит процесс удаления части конденсированной воды, при значениях температуры и давления близких к значению окружающей среды. Затем отходящий газ цикла Ренкина подаётся в компрессор 14, «необходимый для сжатия газа, в целях дополнительного удаления оставшейся части конденсированной воды, посредством охлаждения отходящего газа до температуры окружающей среды под высоким давлением. После процесса сжатия отходящий газ дополнительно охлаждается через расширитель 15 и посредством цикла предварительного расширения, в

котором сжатый отходящий газ ОЦР контактирует с теплообменником 16» [3]. После контакта с теплообменником расширенный и охлажденный газовый поток проходит через рекуператор 19 и возвращается на анод со значительно высокой концентрацией водорода и монооксида углерода.

Данная система рециркуляции позволит значительно улучшить качество топлива подаваемого на анод топливного элемента, что повысит КПД твелооксидного топливного элемента до 65%, и снизит количество углеродных отложений, осаждаемых на электродах ТОТЭ, что продлит срок эксплуатации топливных элементов.

Вывод по третьей главе: в данной главе приведены перспективные способы улучшения показателей эффективности систем электроснабжения малой мощности.

Внедрение микропроцессорной системы управления дизельной электростанцией значительно снизит удельный расход топлива в при изменяющемся графике потребления.

Внедрение новых фотоэлектрических панелей с полусферической оболочкой показывает значительный рост производительности по сравнению с обычной плоской панелью. Согласно предварительным результатам, усиление поглощения предложенной структуры составит от 36% и до 66% по сравнению с устройством с плоской структурой. Максимальный угол поглощения при этом достигает до 80 градусов.

Использование индукторного генератора в составе ветроэлектростанции позволит значительно повысить надежность электрической части, за счёт своей надежности и простоты конструкции. А совмещение ВЭС И ДЭС в одну общую систему позволит экономить топливо, а также позволит сохранить электроснабжение во время неблагоприятных для ВЭУ погодных условий.

Внедрение системы рециркуляции позволит повысить КПД повысит КПД твелооксидного топливного элемента до 65%, снизить отложения углерода на электродах ТЭ, что позволит повысить срок службы топливного элемента и снизит эксплуатационные расходы.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассматривались способы повышения эффективности систем электроснабжения малой мощности.

В первой главе проведен анализ состояния проблемы энергоэффективности систем электроснабжения малой мощности. Выявлены предпосылки для развития малой энергетики России, преимущества малой генерации, а также существующие недостатки, мешающие развитию малой энергетики в России. Приведена общая информация об основных видах энергообъектов малой генерации: Дизельные электростанции, солнечные электростанции, ветровые электростанции, и перспективные электростанции, работающие на топливных элементах. Рассмотрена их конструкция, принцип действия, классификации, достоинства и недостатки. Разработаны структурные схемы основных видов энергообъектов малой генерации, рассмотрены основные конструктивные элементы, входящие в состав каждой из рассматриваемых электростанций малой энергетики и описаны внедренные меры по повышению эффективности объектов малой энергетики.

Во второй главе проведен анализ конструктивных особенностей элементов электростанций малой мощности, проведен анализ характеристик и проведен выбор наиболее перспективных из тех, что представлены на сегодняшнем рынке. Среди аккумуляторных батарей для буферных накопителей, представленных на сегодняшнем рынке самыми перспективными являются литий-ионные за счёт своей высокой плотности заряда, долговечности и низкой скорости саморазряда. Лучшими на рынке солнечных батарей являются солнечные панели на основе монокристаллических кристаллов кремния. Так как они имеют хороший КПД за свою цену, они не сильно подвержены деградации со временем и имеют высокий срок службы. В качестве ветрогенераторов лучшими являются трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения, так они имеют высокий

КПД относительно моделей с вертикальной осью вращения, а также трехлопастное исполнение является самым сбалансированным с точки зрения скорости вращения и крутящего момента. Среди электрогенераторов, рассмотренных в данной главе лучшими являются синхронные генераторы с постоянными магнитами и вентильно-индукторные генераторы, так обе модели имеют простую, надежную конструкцию, а также имеют высокую ремонтпригодность, что позволит минимизировать простои оборудования, особенно в условиях децентрализованного электроснабжения. Среди топливных элементов не существует однозначно лучшей модели, каждая имеет свои достоинства и недостатки. Однако одним из самых перспективных считаются твердооксидные топливные элементы. Однако на данный момент самыми популярными топливными элементами являются твердооксидные ТЭ за счет своего высокого КПД (60-75%) и высокой рабочей температуры, позволяющей осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии.

Вывод по третьей главе: в данной главе рассмотрены дальнейшие перспективные методы повышения эффективности систем электроснабжения малой мощности.

Внедрение в дизельную электростанцию микропроцессорной системы управления, которая в зависимости от графика мощности, атмосферных факторов, состояния износа деталей ДЭС, регулирует скорость вращения вала ДВС таким образом, чтобы он работал в области минимального расхода топлива. Данная система управления позволит значительно сэкономить топливо при низких нагрузках, что в свою очередь повысит время работы при низких нагрузках, улучшить экологические характеристики оборудования, а также позволит генерировать качественную электроэнергию, отвечающую всем требованиям ГОСТ 32144-2013.

Внедрение фотоэлектрических панелей с полусферической оболочкой, состоящей из органических элементов согласно расчетам, имеет значительный рост производительности по сравнению с обычной плоской панелью.

Согласно предварительным результатам, усиление поглощения предложенной структуры составит от 36% и до 66% по сравнению с устройством с плоской структурой. Максимальный угол поглощения при этом достигает до 80 градусов.

Использование индукторного генератора в составе ветроэлектростанции позволит значительно повысить надежность электрической части, за счёт своей надежности и простоты конструкции. А совмещение ВЭС И ДЭС в общую комбинированную установку обеспечит дизельной электростанции дополнительную экономию топлива в периоды минимальных электрических, которую возьмет на себя ВЭУ. Для ВЭУ дизельная электростанция играет роль резерва, который берет на себя основную нагрузку, в периоды безветрия или в периоды ураганов.

Внедрение системы рециркуляции анодных газов, для твелооксидного топливного элемента с одновременным удалением углекислого газа, позволит повысить КПД повысит КПД ТОТЭ до 65%, за счёт потока топлива с более высокой молярной концентрацией водорода, возвращаемого на вход анода. Снижаются углеродные отложения электродах ТЭ, за счет этого повышается долговечность и срок эксплуатации ТЭ, снижаются эксплуатационные расходы на ремонт или замену ячеек топливных элементов.

Список используемых источников

1. Альпер Н.Я, Терзян А.А. Индукторные генераторы. М. «Энергия». 2021. 192 с.
2. Амангалиев Е. З., Тлеугали У. К. Вентильно-индукторный двигатель и его особенности // Архивариус. 2020. №5 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ventilno-induktornyy-dvigatel-i-ego-osobennosti> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Ахмедзянов, Д. А. Особенности использования газотурбинных установок в качестве источника электроэнергии и тепла / Д. А. Ахмедзянов, Р. Р. Ямалиев, А. И. Каменский. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 9 (20). — С. 52-54. — URL: <https://moluch.ru/archive/20/2028/> (дата обращения: 25.05.2025).
4. Безруких, П. П. Ветроэнергетика. М. : Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2022. 304 с.
5. Безруких, П. П. Ветроэнергетика. М. : Энергия, 2024. 665 с.
6. Бурмистров А. А., Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии : учеб. пособие. М. : МЭИ, 2021. 144 с.
7. Виды и различия солнечных батарей // Технолайн URL: <https://e-solarpower.ru/stati/vidy-i-razlichiya-solnechnyh-batarej/?ysclid=mb3pk9t1cj611020015> (дата обращения: 20.05.2025).
8. Выбор электрогенераторов для ветроэнергетических установок / Ералы Ертайулы Нурахмет, А. А. Гафаров, М. С. Бенке [и др.]. URL: <https://moluch.ru/archive/132/36983/> (дата обращения: 06.01.2025)
9. Григораш Олег Владимирович, Евтушенко Иван Викторович, Попучиева Мария Александровна. Классификация и основные способы построения солнечных электростанций // Научный журнал КубГАУ. 2023. №124. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-osnovnye-sposoby-postroeniya-solnechnyh-elektrostantsiy> (дата обращения: 25.05.2025).

10. Дизельный генератор: принцип работы и устройство [Электронный ресурс] : ДИЗЕЛЬ КОМПАНИЯ. URL: https://www.comd.ru/about_company/press-center/articles/dizelnyy-generator-printsip-raboty-i-ustroystvo/ (дата обращения 14.01.2024).

11. Завалишин Вячеслав Владимирович Экономия топлива при генерации электроэнергии дизель-генераторной установкой с переменной частотой вращения дизеля // Вестник СГТУ. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomiya-topliva-pri-generatsii-elektroenergii-dizel-generatornoy-ustanovkoj-s-peremennoy-chastotoj-vrascheniya-dizelya> (дата обращения: 25.05.2025).

12. Казаков Д.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ // Студенческий: электрон. научн. журн. 2025. № 2(298). URL: <https://sibac.info/journal/student/298/358241> (дата обращения: 25.05.2025).

13. Казаков Д.А. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ К ЦС АЧРМ // Студенческий: электрон. научн. журн. 2025. № 4(300). URL: <https://sibac.info/journal/student/300/360511> (дата обращения: 25.05.2025).

14. Киушкина, В. Р. Возобновляемые источники энергии в распределенной генерации малой энергетики / В. Р. Киушкина. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 26 (130). — С. 45-47. — URL: <https://moluch.ru/archive/130/35925/> (дата обращения: 25.05.2025).

15. Королев В. И. Вентильно-индукторный генератор // E-Scio. 2019. №8 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ventilno-induktornyy-generator> (дата обращения: 25.05.2025).

16. Королева, Д. А. Солнечная энергетика - учебное пособие / Д.А. Королева, В.В. Шайдаков, В. А. Целищев ; под общ. ред. проф. В. В. Шайдакова. Москва ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. — 140. - ил. табл.

17. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное

пособие/ Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. —128.

18. Полное руководство по различным типам солнечных элементов // RealSolar URL: <https://realsolar.ru/blog-ru/blog-o-solar-panel/polnoe-rukovodstvo-po-razlichnym-tipam-solnechnyh-elementov/?ysclid=mb3pvd07iw840038102> (дата обращения: 09.05.2025).

19. СИСТЕМА РЕЦИРКУЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С УЛАВЛИВАНИЕМ CO₂ // Яндекс-Патенты URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2589884C2_20160710?ysclid=mb3q9sn2a0204024348 (дата обращения: 25.05.2025).

20. Сравнение различных типов аккумуляторных батарей // Азимут URL: <https://ess-asimut.ru/upload/iblock/4a9/4a9febfa61b389513f277fc7b0d6b32f.pdf> (дата обращения: 25.04.25).

21. Степанов В.М. Анализ основных характеристик вентильно-реактивного электродвигателя, работающего в режиме генератора/ Степанов В.М., Авдо шин В.С. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки выпуск №8 – 2025 – С.181-183

22. Томашевский, Д. Н. Автономные инверторы: учебное пособие / Д. Н. Томашевский. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2024. — 120с

23. Топливные (водородные) элементы/ячейки // ИНТЕХ ГмБХ URL: https://intech-gmbh.ru/energy_units/?ysclid=mb3p97i769528323115 (дата обращения: 25.05.25).

24. Топливные элементы. Электрохимические генераторы. Применение [Электронный ресурс] : Электросам.РУ. <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie/toplivnye-elementy-elektrokhimicheskie-generatory/?ysclid=lrcin8cde0677404381> дата обращения 14.01.2025).

25. Топливный элемент // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82#%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%B8%D1%8F (дата обращения: 25.05.24).

26. Третьяков, И. А. Краткий аналитический обзор водородной промышленности и видов топливных элементов / И. А. Третьяков. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 14 (409). — С. 25-28. — URL: <https://moluch.ru/archive/409/89997/> (дата обращения: 25.05.2025).

27. Устройство ветрогенератора, типы ветряных электростанций [Электронный ресурс] : Altenergetika URL: <https://altenergetika.ru/ustroystvovetrogeneratora/?ysclid=lrcik74j5194653425> (дата обращения 14.01.2024).

28. Устройство и принцип работы дизель-генератора [Электронный ресурс] : АБ ИНЖИНИРИНГ. URL: <https://abespb.ru/press/articles/ustroystvo-i-printsip-raboty-dizel-generatora/?ysclid=lrci9vhrfi99440824> (дата обращения 14.01.2024).

29. Фатыхов Ранис Радикович, Хантимеров Сергей Мансурович, Сулейманов Наиль Муратович Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // Вестник КГЭУ. 2022. №4 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-litii-ionnyh-akkumulyatorov-v-kachestve-rezervnyh-istochnikov-pitaniya-na-elektricheskikh-stantsiyah> (дата обращения: 25.05.2025).

30. Bonsa R.H., Abraham D.W. 3D printing and solar cell fabrication methods: A review of challenges, opportunities, and future prospects [Электронный ресурс] // Results in Optics. 2023. Vol. 11. PP. 1-11. URL.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666950123000378> (дата обращения 20.04.2025)

31. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. - New York City: McGraw-Hill Education, 2023. - 1712 p.
32. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2021. 388 p.
33. Electrical network protection devices [Электронный ресурс]: URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012201/meta> (дата обращения 27.04.2025).
34. Mahendra S., Deepak S., Piyush P., Sunita S., Dhananjay S., Balendu S.G. Synthesis and performance evaluation of Beta vulgaris based dye-sensitized organic solar cell [Электронный ресурс] // Environmental Technology & Innovation. 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218642300216X> (дата обращения 29.03.2025)