

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)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Разработка предложений по построению интеллектуальной системы
электроснабжения фермерского хозяйства»

Студент

М.А. Мавлоназаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Проблемы создания и факторы эффективности интеллектуальных систем электроснабжения	8
1.1 Основные понятия и определения интеллектуальных систем электроснабжения	8
1.2 Основные концептуальные положения интеллектуальных систем электроснабжения	14
1.3 Предпосылки возникновения интеллектуальных сетей	15
1.4 Основные подходы к проектированию интеллектуальных систем электроснабжения	16
1.5 Вопросы безопасности интеллектуальных систем электроснабжения	19
1.6 Преимущества использования технологии Smart grids	21
2 Предложения по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства	24
2.1 Описание объекта электроснабжения.....	24
2.2 Внешнее электроснабжения.....	28
2.3 Разработка методологии применения гибридных систем электроснабжения фермерского хозяйства	30
2.4 Разработка структурной схемы гибридной электростанции и выбор генерирующих устройств	42
2.5 Выбор компонентов информационной системы	64
3 Экономическое обоснование построения интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства	85
Заключение	89
Список используемых источников.....	91

Введение

Интеллектуальные системы электроснабжения предоставляют пользователям инструменты для горизонтальной и вертикальной интеграции генерирующих мощностей с целью сделать процесс производства, передачи и потребления электрической энергии более стабильным, надежным, децентрализованным. Для этого привлекаются информационные и цифровые технологии, без которых создание подобных систем просто невозможно.

На базе цифровых технологий создаются цифровые приборы телемеханического контроля и управления, формируются информационные каналы обмена данными, новые интеллектуальные блоки управления и контроля и т.д. Проектирование, монтаж и эксплуатация цифровых подстанций является только первым шагом в деле цифровизации энергообъектов и созданию цифровых энергокомплексов. В настоящее время цифровые технологии прочно заняли своё место в системах диспетчеризации, в системах управления режимами электропотребления. Приобретенный опыт эксплуатации подобных систем обязательно приведет к более глобальному применению цифровых технологий в энергосфере [7].

Во многих регионах Российской Федерации развиваются малые сельские хозяйства – крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели, занимающиеся сельскохозяйственным производством, малые сельскохозяйственные кооперативы или организации, с численностью работников менее 100 человек.

Особенностью обеспечения фермерских хозяйств электрической энергией является большая удаленность объектов их инфраструктуры от существующих сетей (более трех километров). Иногда потребители электроэнергии находятся в труднодоступных местах, относительно имеющихся линий электропередач. При этом, электропотребление подобных объектов фермерского хозяйства (ФХ) бывает минимальным, что не дает

существенного прироста полезного отпуска электроэнергии. Однако отсутствие электроснабжения значительно осложняет существование объектов ФХ, снижает их возможности и препятствует их дальнейшему развитию [8].

Для решение данной проблемы можно пойти двумя направлениями [6]. Первое, провести до объекта линию электропередачи (ЛЭП) от существующей сети. Второе – обзавестись собственной электрической станцией (генерирующей мощностью). Рассмотрим первый путь решения проблемы.

Строительство новой линии электропередач для обеспечения электроснабжения ФХ вызовет значительный рост тарифов на поставку электроэнергии и повышение конечной стоимости за единицу потребленной электроэнергии. Кроме самого строительства ЛЭП, добавляются операционные эксплуатационные расходы по её обслуживанию, которые также будет оплачиваться ФХ. В противном случае проект просто не будет рассмотрен и удовлетворен. Высокие цены на энергоресурсы отрицательно скажутся на себестоимости производимой сельскохозяйственной продукции.

Следующей проблемой, возникающей после прокладки новой ЛЭП до ФХ, являются возможные перебои с подачей электроэнергии. Причем неисправности могут возникнуть как в центральной сети, так и в отводящей к ФХ линии. Так как ФХ относятся только к третьей группе электроснабжения, то и восстанавливать электроснабжение ФХ будут в последнюю очередь. При возникновении форс-мажорных обстоятельств, таких как обрыв при сильном ветре или снегопаде, кража провода и т.д. восстановление линии электроснабжения может продолжаться значительное время.

Большая протяженность ЛЭП до ФХ отрицательно скажется на качестве поставляемой электроэнергии, ведь чем длиннее провод, тем больше в нем потерь, уровень напряжения начинает снижаться и при определенных обстоятельствах может опуститься ниже критического

значения. Из-за этого возможны поломки электротехнического оборудования. Кроме больших потерь в ЛЭП, к проблемам электроснабжения ФХ относятся такие более традиционные неприятности как перепады уровня (скачки) напряжения, завышенный или заниженный его уровень [18].

Альтернативой первому пути решения проблемы является применение альтернативных источников энергии – ветрогенератор, фотоэлементы, дизельная электростанция. Каждый из данных источников связан и с электросетью ФХ и с блоком аккумуляторов. Распределением потоков электроэнергии руководит контроллер. Когда есть ветер, электричество вырабатывает ветрогенератор. Когда заканчивается ветер электричество вырабатывается солнечными панелями. Когда становится темно, в дело вступает дизельная установка. При её отключении потребитель получает электроэнергию, накопленную за время работы генерирующих мощностей в аккумуляторных батареях [9].

Актуальность работы.

Развитие энергетической отрасли идет в направлении решения двух основных проблем – повышения надежности энергосистем и снижение вредного воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. Применительно к фермерским хозяйствам, для решения обеих проблем можно применить различные альтернативные источники энергии, использующие возобновляемые виды энергии, такие как энергия ветра, солнца, приливов, термальных источников. Для интеграции этих новых источников электроэнергии в существующие электрические сети и предназначены технологии Smart grid.

Таким образом, разработка предложений по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства является актуальной задачей.

Цель работы.

Целью данной работы является разработка предложений по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства.

Объектом исследования является фермерское хозяйство.

Предметом исследования является интеллектуальная система электроснабжения фермерского хозяйства.

Задачи исследования.

1. Проанализировать техническую и экономическую сторону применения технологии Smart grid для электроснабжения локального объекта на примере фермерского хозяйства.

2. Разработать предложения по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства.

Практическая значимость работы состоит в приобретении необходимых навыков и знаний в области интеллектуальных систем электроснабжения.

Разработанные предложения по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства позволяют провести грамотный выбор комплектующих, обеспечивающих максимальную эффективность при минимуме затрат.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Предложения по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства.

Новизна магистерской диссертации.

1. Новизна работы заключается в рекомендациях по применению технологии Smart grid для электроснабжения фермерского хозяйства.

Разработке электростанций с использованием альтернативных источников энергии большое внимание уделяется у таких отечественных авторов научных работ как Черкасова Н.И., Козюков Д.А., Мартьянов А.С., Лукутин Б.В., Охоткин Г.П., Кобец Б.Б., Мясоедов Ю.В., Германовича В.В.,

Турилина А.Л. и др.

Из электронных ресурсов можно выделить информационные порталы So-ups.ru, Universum.ru, Solarhome.ru, Elektrik Info.ru, Rentechno.ru, gigavat.com, EpRussia.ru, Cleanenergo.ru, Mgimo.ru, Atmosfera.ua, Helios-house.ru и др.

Издаются периодические издания: журналы «Альтернативная энергетика и экология» «Энергосбережение», «Энергоэффективность и энергосбережение», «Мировая энергетика», «Энергетическая стратегия», «Новости электротехники», «PRO электричество», «Энергетика и ТЭК», «Энергия и менеджмент» и др.

Структура и объём работы.

Структура: введение, 3 раздела, заключение, список использованной литературы.

Пояснительная записка содержит 95 страниц машинописного текста.

1 Проблемы создания и факторы эффективности интеллектуальных систем электроснабжения

1.1 Основные понятия и определения интеллектуальных систем электроснабжения

Интеллектуальные системы электроснабжения (ИСЭ) ассоциируются в первую очередь с использованием возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭ). Интеграция ВИЭ в современное энергетическое хозяйство показано на рисунке 1.

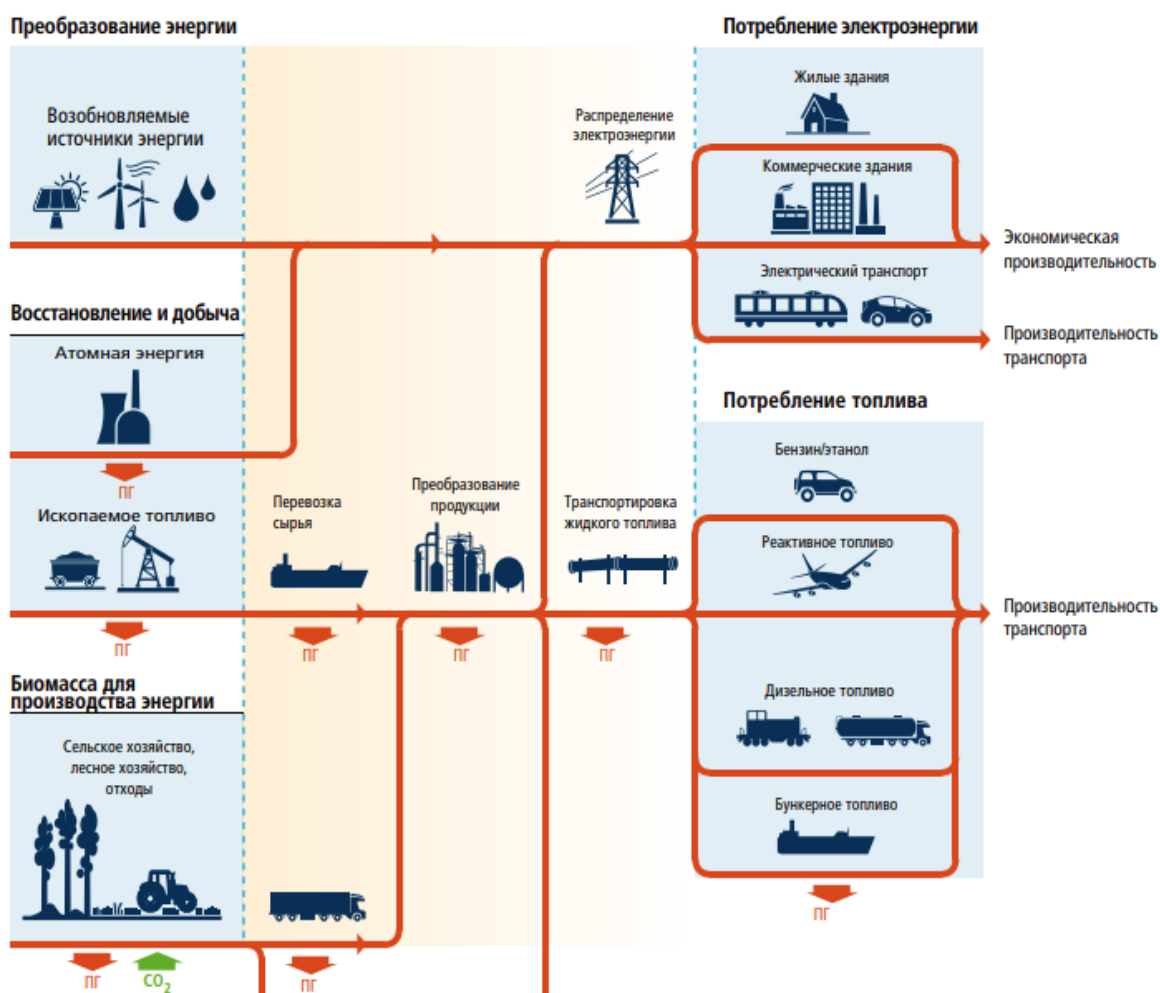


Рисунок 1– Роль и место ВИЭ в современном энергохозяйстве

Концепция использования фотоэлектрической энергии.

Наибольшее распространение на сегодняшний день получила технология получения электроэнергии от энергии солнца. На первый взгляд солнечная энергия более недоступна, но при этом её объём гораздо выше, чем энергии ветра [19]. Это связано с тем что без применения высоких современных технологий невозможно её преобразовать в электрическую. Первые коммерческие электростанции начали вырабатывать электрическую энергию в 1985 году. Они появились в наиболее развитой стране мира на тот момент, к тому же имеющей область, в которой практически всегда светит солнце, а именно штат Калифорния. Первые построенные в период с 1985 по 1990 год солнечные электростанции суммарно вырабатывали 354 МВт электрической энергии [10]. Большинство из тех первых фотоэлектрических станций работают и по сегодняшний день, что подтверждает возможность широкого использования фотоэлектрических станций, а также их высокую надежность и длительный ресурс эксплуатации. Значительный рост количества построенных автостанций приходится уже на XXI век. Начиная примерно с 2005 года, во многих странах мира начали активно строиться солнечные электростанции. Их установленная мощность уже достигает порядка 2 гигаватт. При этом развитие технологии постоянно повышает коэффициент полезного действия фотоэлектрических преобразователей а значит снижает себестоимость производимой электрической энергии. Для концентрации лучистой энергии в фотоэлектрических преобразователях применяются технологии параболацилиндрических коллекторов, тарелок Стирлинга и центрального собирающего приёмника. Развитие коммерческого сектора фотоэлектрических станций показано на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, уже к 2015 году Соединенные Штаты Америки были опережены многими странами, среди которых Испания, Израиль, Объединённые Арабские Эмираты, Китай [36.].

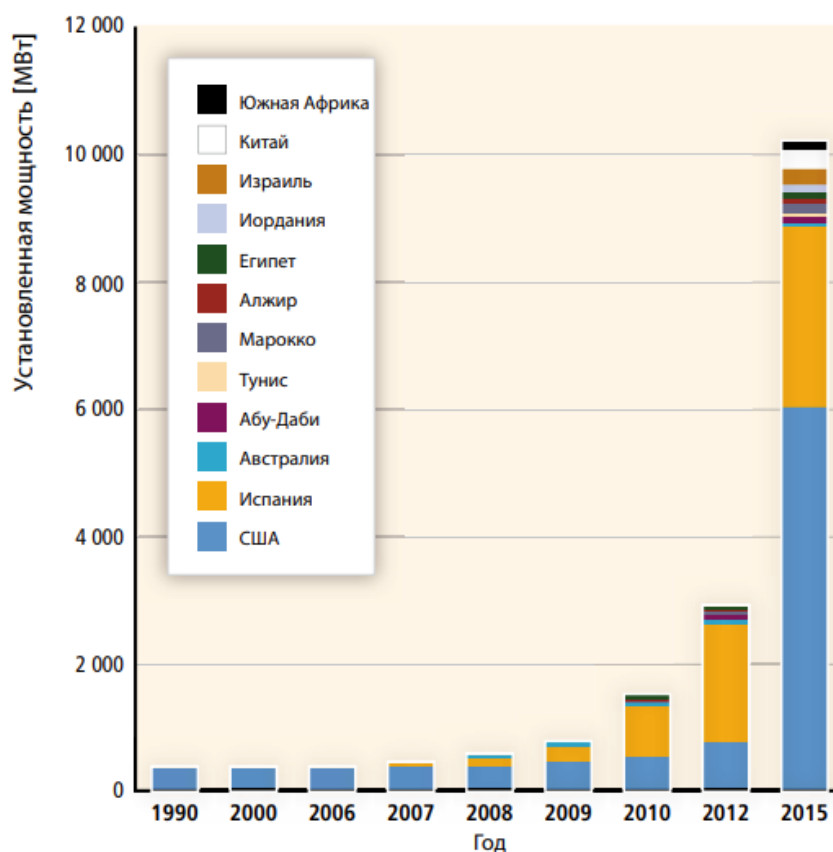


Рисунок 2– Развитие коммерческого сектора фотоэлектрических станций

Концепция использования ветряной энергии.

Если считать энергетику отраслью народного хозяйства, которая занимается преобразование различных видов энергии, то ветроэнергетика по праву считается одной из первых энергетических технологий [20]. Конечно это не касается преобразование механической энергии в электрическую но затрагивает очень важные научные достижения актуальные для своего исторического этапа развития. В первую очередь, это конечно же преобразование энергии ветра в поступательное движение кораблей за счёт паруса. Во вторую, передача вращения жерновом мельниц от ветряных колёс. Как только появилась электрическая машина способная преобразовывать вращательное движение в электрическую энергию, сразу же были приняты попытки использовать для вращения вала ветряные колёса [11]. С тех пор

ветроэнергетика сделала значительный шаг в своём развитии. В настоящее время ветроэнергетика активно развивается почти во всех странах мира и генераторы, вращающиеся от силы ветра, вырабатывают порядка 550 ГВт электрической энергии.

Технический потенциал ветровой энергии в России оценивается свыше 50 000 млрд. кВт·ч/год. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд. кВт·ч/год, то есть около 30 процентов производства электроэнергии всеми электростанциями России.

Энергетические ветровые зоны в России расположены, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки, в районах Нижней и Средней Волги и Дона, побережье Каспийского, Охотского, Баренцева, Балтийского, Чёрного и Азовского морей. Отдельные ветровые зоны расположены в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале [21].

Максимальная средняя скорость ветра в этих районах приходится на осенне-зимний период — период наибольшей потребности в электроэнергии и тепле. Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % — в Северном экономическом районе, около 16 % — в Западной и Восточной Сибири.

Суммарная установленная мощность ветровых электростанций в стране на 2019 год составляет 17-18 МВт.

«Самые крупные ветроэлектростанции на территории России находятся в Крыму:

- Донузлавская, суммарная мощность 18,7 МВт;
- Останинская, 26 МВт;
- Тарханкутская, 15,9 МВт;
- Восточно-Крымская.

В общей сложности они располагают 522 ветроагрегатами мощностью 59 МВт.

Ещё одна крупная ветроэлектростанция России (5,1 МВт) расположена в районе посёлка Куликово в Калининградской области. Станция состоит из 21 установки датской компании SEAS Energi Service A.S [39].

На Чукотке действует Анадырская ВЭС мощностью 2,5 МВт (10 ветроагрегатов по 250 кВт)» [1].

Если есть и развиваются ВЭИ, то возникла необходимость в управлении их работой, как автономной, так и в составе какой-то системы электроснабжения. Системы, предназначенные для управления ВЭИ назвали умными или интеллектуальными сетями, а в англоязычном варианте Smart grids.

Концепция использования Smart grids [38].

Массовое упоминание об умных электросетях приходится на 2002 год. В настоящее время существует несколько названий этого перспективного направления развития энергетики:

- умная сеть;
- сильная сеть;
- интеллектуальная сеть;
- активно-адаптивная сеть.

В самом общем виде им можно дать следующее определение. «Это комплекс технических средств, которые в автоматическом режиме выявляют наиболее слабые и аварийно-опасные участки сети, а затем изменяют ее характеристики и схему с целью предотвращения поломки и снижения потерь.

То есть данная система должна обладать функциями самодиагностики и самовосстановления и использовать передовые технологии для повышения эффективности передачи и распределения энергии. Исходя из этого, понятие Smart grids включает в себя быстрорастущий комплекс процессов, устройств и приложений, призванных создать электронные коммуникации нового поколения. Возможности широкой интеграции цифровых технологий, сети

информационных потоков для контроля над процессами и системами являются ключевыми составляющими при разработке умных сетей.

Наиболее полным определением Smart grids, по моему мнению, является следующее: это электрические сети, которые способны объединять деятельность всех вовлеченных участников (производителей, потребителей и выполняющих обе функции субъектов) для обеспечения устойчивости, экономичности и надежности поставок электроэнергии. Smart grids применяют информационные и коммуникационные технологии для сбора данных о генерировании и использовании электричества и позволяют автоматически повышать экономическую выгоду» [2].

Обобщая определение умной электросети, можно сформировать такое определение – высокоразвитая технологическая система объединяющая в себе всех участников энергетического рынка и функционирующая по законам этого рынка с минимальным участием человека [12].

Сегодня электрические сети Smart grid в России представлена в качестве активной самонастраивающейся сети, которую имеется возможность отличить по ее характерным признакам [22]:

- насыщенность системы активными элементами, специализированными на изменении структуры сети;
- большой объем измерительных устройств;
- присутствие системы воздействия на активные элементы системы;
- наличие автоматизированного способа сбора, передачи и обработки данных.

Полная автоматизация – это не только решение автоматизации опроса контрольного оборудования, но и обеспечения информационной трансляции между компонентами предмета энергоучета, и вдобавок оперативной обработки сведений об энергопотреблении. Это привело к совершенствованию автоматизированных систем промышленного учета

электроэнергии (АСКУЭ), которые предназначены для решения этих проблем.

1.2 Основные концептуальные положения интеллектуальных систем электроснабжения

Своим появлением интеллектуальные системы электроснабжения обязаны научно-техническому прогрессу, который сделал технологии получение электрической энергии от солнечных лучей и силы ветра доступными широкому кругу потребителей. Наиболее экономически выгодными с точки зрения себестоимости производимого электричества, является средние по мощности ветряные и фотоэлектрические станции. Небольшие бытовые ветряки и солнечные панели, вырабатывающие до 10 кВт электроэнергии в сутки, наиболее актуальны для мест, где нет доступа к стандартным электрическим сетям и рассматривать их как альтернативу единого энергохозяйства не стоит [23]. Средняя же по мощности электростанция удовлетворяют потребности организаций или частных лиц, которые их применили у себя в частном порядке, и кроме того, в определённые моменты вырабатывают невостребованную электроэнергия. Появление излишек вырабатываемой электроэнергии частными генерирующими мощностями, поставила вопрос об их сотрудничестве с традиционными электрическими сетями. Если вначале речь шла только об изменении тарифной политики и предоставленных мощностей, то с развитием электронной и компьютерной техники сотрудничество стало полноценным и двунаправленным. Главным стало то, что частные производители электрической энергии получили возможности её продажи через традиционные электрические сети. И это событие безусловно кардинальным образом поменяло все устои, сложившиеся в электроэнергетической отрасли. Разработанные технологии взаимодействие

получили название интеллектуальные сети или в английской транскрипции Smart grids [37].

Рассмотрим их основное отличие от традиционного подхода при взаимодействии поставщика и потребителя электрической энергии [24]:

- тесное взаимодействие силовых и сетевых (проводная и беспроводная передача информации) технологий;
- повышение надежности электрических сетей для конечного потребителя, за счёт более своевременного и, главное, "правильного" вмешательства в работу системы;
- совместное развитие энергосберегающих технологий;
- совершенствование систем автономного электроснабжения;
- перераспределение финансовых потоков, в том числе изменение функций сетевых компаний, корректирование плана по развитию энергетических систем в сторону большего присутствия в ней, а значит их строительства и введения в эксплуатацию) автономных генерирующих мощностей.

Безусловно, такое совместное взаимодействие является очень сложным. Чтобы учесть интересы всех участников энергетического рынка необходимо проделать огромную работу абсолютно на всех уровнях, начиная от единого центра управления энергосистемой государства и заканчивая конечными потребителями (дома, частные хозяйства, предприятия). Должна быть создана не только элементная база, но и информационные технологии, с помощью которых реализовывались бы новые законы управления работой энергосети.

1.3 Предпосылки возникновения интеллектуальных сетей

Как уже было сказано выше, основными предпосылками возникновения интеллектуальных сетей, является с одной стороны развитие

и применение автономных генераторов электрической энергии, а с другой стороны желание их хозяев заработать на продаже электричества. А поскольку более половины автономных генераторов используют в своей работе энергию Солнца или ветра, то речь идёт об альтернативных или возобновляемых источниках энергии. То есть появление интеллектуальных сетей не только развивает энергетику, но и позволяет экономить не возобновляемые источники энергии, например, углеводородное топливо. Появление относительно небольших генерирующих мощностей значительно влияет на топологии электрических сетей [25]. В пределах государства, топология электросетей направлена на передачу электрической энергии из точки её производства, в точку её потребления, образуя единую энергосистему, благодаря которой, электрическая энергия из одной точки в другую, может попасть по нескольким путям, тем самым многократно повышая надёжность электроснабжения. Появление большого количества автономных генерирующих мощностей несомненно вносит большие изменения в существующие электрические сети дополняя её большим количеством локальных сетей (например, несколько населённых пунктов, могут создать одну на всех солнечную электростанцию и за счёт нее решить свои проблемы по электроснабжению). Единый центр уже будет не в состоянии управлять работой таких локальных участков электрических сетей и необходим новый механизм, который бы взял на себя функции управления. Причём он должен это делать без участия человека. Только в этом случае внедрение автономных источников энергии может принести действительно высокий экономический эффект от их внедрения.

1.4 Основные подходы к проектированию интеллектуальных систем электроснабжения

Основным подходом проектирования интеллектуальных систем

электроснабжения можно назвать следующее: "Используя всё самое лучшее, что было в традиционных электрических сетях (надежность, взаимозаменяемость), дополнить их новыми технологиями (Smart grid, солнечные и ветряные электростанции) и получить новую, современную энергосистему, удовлетворяющую запросам всех ее участников. Если бы постоянно был ветер, светило солнце ресурс аккумуляторных батарей был очень значительным то возможно и интеллектуальные сети выглядели бы проще [26]. Но так как это не представляется возможным то нам необходимо управлять тремя основными технологическими процессами:

- производством электроэнергии;
- потреблением электроэнергии;
- защита автономных сетей от нештатных режимов работы (КЗ, перегрузка).

Управление производством электрической энергии заключается в следующем:

- обеспечить такое расположение ветряного колеса в пространстве, чтобы оно вращалось с максимальной частотой;
- обеспечить такой наклон солнечных панелей их ориентацию на солнце чтобы КПД фотоэлементов была максимальной;
- обеспечить максимальный заряд буферных емкостных накопителей энергии и т.д.

Управление потреблением электрической энергии заключается в следующем [13]:

- выбор канала передачи электрической энергии;
- подключение потребителя к источнику электроэнергии (ветряк, солнечная панель, бензогенератор, традиционная электросеть) использование которого в данный момент обеспечивает минимальные потери электроэнергии;
- выбирать момент включения постоянных электроприемников

(электронагреватель, скважинный насос и т.д.) в зависимости от времени суток, пиков нагрузки, для оптимизации загрузки генераторов;

- подключение емкостного накопителя энергии, если мощности основного источника энергии будет недостаточно и т.д.

При возникновении аварийной ситуации управляющие элементы сети должны своевременно отключать аварийный участок от локальной электрической сети, тем самым исключая её повреждение, а питание потребителя переводить на другой источник энергии [27].

Без тесного общения между потребителем и поставщиком электрической энергии, для выполнения перечисленных функций не бойтесь. Нужны счётчики электрической энергии, датчики тока и напряжения с возможностью передачи информации онлайн и оффлайн, нужны переключающие устройства с возможностью дистанционного управления. И главное, конечно, это центральное обрабатывающее устройство (компьютер) с записанными управляющими программами.

«Согласно анализу международной исследовательской группы Gartner, основными технологическими трендами применения ИТ в энергетике являются:

- ориентация ИТ-поставщиков на формирование добавленной стоимости для клиентов;
- системы анализа и принятия решений;
- веб-сервисы и Web 2.0;
- мобильные технологии;
- предоставление бизнес-приложений как сервисов;
- инфраструктура интеллектуальных счетчиков;
- единое управление информацией в масштабах всего предприятия»

Только за счет этого, как свидетельствует опыт США, Канады, Японии и европейских стран, можно сэкономить 10–20% ресурсов» [3].

Практически каждый конечный потребитель найдёт для себя пользу от применения интеллектуальных систем электроснабжения. Например, если это малое предприятие, то руководство получает инструмент непрерывного контроля расхода электроэнергии (перерасход энергии, воровство), а статистика по суточному расходу позволит сократить издержки на электроэнергию. Если это частное домовладение, автоматизируется процесс передачи данных с электросчетчика в сетевой компанию что очень удобно при использовании нескольких тарифов [14].

1.5 Вопросы безопасности интеллектуальных систем электроснабжения

Появление в энергетике интеллектуальных систем электроснабжения принесёт не только определённые положительные моменты, но и поставит перед отраслью новые задачи. Одна из таких очень важных задач - обеспечение информационной безопасности и устойчивости.

Уже с появлением первого такого прибора, а именно интеллектуального счётчика электроэнергии, который всего-навсего передаёт показания от точки установки до диспетчерской, возникли вопросы точности и достоверности получаемой информации [28]. Любой сбой приводит к возникновению конфликтной ситуации, для урегулирования которой потребуется затратить значительные усилия обеих сторон конфликта. А ведь кроме передачи информации, её ещё нужно обработать, хранить, передавать информацию клиентам и в вышестоящие инстанции и так далее. На каждом этапе существует возможность нарушение безопасности информационных действий, а значит и стоит вопрос о защите информации. Если раньше до масштабных компьютеризации, например, показания счётчиков передавались в бумажном виде в ящик для сбора данных и нам было достаточно не допустить проникновение в ящик посторонних лиц для сохранности

информации, то с выходом показаний счетчика в сеть Интернет, вопросы защиты информации многократно усложнились.

«Интеграция ИТ-решений в автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) привела к тому, что промышленные системы, казавшиеся до этого безопасными, оказались под угрозой целенаправленных кибератак. Инциденты с использованием специализированных вирусов, таких как Stuxnet, Flame, BlackEnergy, найденных на компьютерах крупных промышленных систем, уже несколько лет являются одной из самых обсуждаемых тем на мероприятиях, посвященных информационной безопасности. Большое количество компаний, предоставляющих средства защиты информации, аудит безопасности, расследование инцидентов, открывает для себя новый рынок промышленной кибербезопасности. Эксперты также признают, что риски целенаправленных атак на АСУ ТП критически важных объектов промышленности (КВО) возрастают с каждым годом» [4].

Частных потребителей электроэнергии с использованием технологии интеллектуальных систем, в первую очередь конечно заботят безопасность их персональных данных и точность начисления абонентской платы. Это конечно важно, но не причинит вред электросетям в случае утечки персональных данных в сеть или не точности данных о начислении. Гораздо серьезнее информационная безопасность сказывается на более высоком уровне, на котором можно управлять работой электрической подстанции в результате чего может произойти авария уже со значительным экономическим ущербом. Подавая правильные цифры расхода энергии можно замаскировать крупное хищение электроэнергии и т.д [29].

Для информационной безопасности таких систем развивается «стандарт МЭК 61850, регламентирующий обмен данными между элементами подстанций. В задачах, связанных с обеспечением безопасности информационного обмена, стандарт отсылается к документу МЭК 62351,

который, в свою очередь, описывает механизмы защиты, в том числе таких протоколов, как МЭК 60870-5, МЭК 61850-8-1 (GOOSE). Но несмотря на наличие защищенных протоколов, многие АСКУЭ используют небезопасные протоколы сетевого обмена полевых устройств: либо ModBus, либо проприетарные протоколы на основе ModBus от производителя электросчетчика» [5].

Учитывая другую специфику данной проблемы, более подробно информационная безопасность не будет рассматриваться в данной работе.

1.6 Преимущества использования технологии Smart grids

Компания поставщик электроэнергии от создания на территории крестьянского хозяйства технологии Smart grid получит возможные преимущества [15]:

- снижение затрат энергоресурсов;
- снижение просрочек платежей и полноты платежей за потребляемую электрическую энергию;
- управление неравномерностью потребления электрической нагрузки;
- увеличение качества интеграции электростанций возобновляемой генерации и распределенной генерации в энергосистему;
- повышение устойчивости функционирования энергосистемы в случае возникновения нештатных ситуаций, таких как выход из строя одного из генерирующих устройств, замыкание в каком-нибудь контуре вызвавшее неисправность части электрооборудования;
- повышение наглядности работы объектов сетевой инфраструктуры.

Фермерское предприятие от внедрения на своей территории системы Smart grid приобретет следующие преимущества:

- компьютеризированная сеть генерации, поставки и потребления электроресурсов – минимальное влияние человека на процессы, происходящие в энергосистеме;

- получение максимальной информации о сгенерированной и переданной электроэнергии в любом контексте: эффективности, потерь или экономической выгоды;

- повышение надежности электроснабжения, за счет обеспечения скрытого от потребителя перевода нагрузки на другую генерирующую мощность при отказе главного питания. Использование резервных линий питания повышает бесперебойность подачи электроэнергии, что снижает вероятность его выхода из строя при броске пускового тока;

- повышение "эффективности" сети в целом благодаря уменьшению потерь в проводах и более оптимизированному распределению нагрузки, выбирая для крупных электроприемников эффективные (меньшей длины) маршруты подключения;

- реализация современного интерфейса обмена информацией потребителей энергии с ее поставщиками;

- увеличение качества энергоресурсов;

- вероятность для потребителя являться в качестве равноценного участника энергетического рынка;

- расширенные возможности для потребителей по регулированию энергопотреблением и уменьшением уровня платежей за потребленные энергоресурсы от внешнего электроснабжения.

Выводы по разделу

Анализ информационных источников показал, что в настоящее время использование возобновляемых элементов энергии в обстановке фермерских хозяйств практически отсутствует. Эти сельскохозяйственные предприятия

вынуждены использовать наиболее распространенные способы получения электрической энергии. Использование лучистой энергии для повышения температуры воды имеет простейший вид, т.е. используются самодельные емкости, окрашенные в черный цвет. Также нередко отсутствует использование холодильников и морозильных камер для хранения производимой продукции или для охлаждения молока. Не используется у фермеров и парниковое хозяйство из-за низкой степени применения возобновляемых источников получения электричества. А при пастбищном содержании крупного рогатого скота, жизнедеятельность фермерских предприятий может протекать без какого-либо энергоснабжения, при этом использование технологических машин для ускорения выполнения технологических процессов невозможно. Поэтому развитие альтернативных технологий получения электроэнергии имеет большое значение для фермерских хозяйств.

2 Предложения по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства

2.1 Описание объекта электроснабжения

В моей работе объектом электроснабжения является фермерское хозяйство. Потребители электроэнергии смешанные, это и жилые (бытовые) помещения (см. таблицу 1, рисунок 3), и производственно-складские (см. таблицу 2, рисунок 4).

Таблица 1– Нагрузки основных электропотребителей жилых (бытовых) помещений

Название электроприемника	Количество, шт	Номинальная мощность кВт	Продолжительность времени работы, ч	Суммарная мощность одновременной работы, кВт	Расход энергии за сутки
Холодильник Indesit DF 6181X, 295 л	1	0,13	7	0,13	0,91
Освещение светильниками с энергосберегающими лампами	3	0,039	9	0,09	1,1
Освещение светильниками с энергосберегающими лампами	3	0,012	11	0,05	0,54
Кондиционер Ballu BSD-07 HN1	1	1.6	С мая по сентябрь, по 4 часа	1,6	6,4
Зарядное устройство для аккумуляторного стриммера	1	0,22	5	0,22	1,1

Продолжение таблицы 1

Название электроприемника	Количество, шт	Номинальная мощность кВт	Продолжительность времени работы, ч	Суммарная мощность одновременной работы, кВт	Расход энергии за сутки
Насос погружной	1	0,35	Днем/1,5 ч	0,35	0,53
Освещение территории перед домом – светодиодным уличным светильником	2	0,06	10	0,12	1,2
Итого					
Потребление среднесуточное				2,56	11,78
Из них за зимний период				0,91	4,87

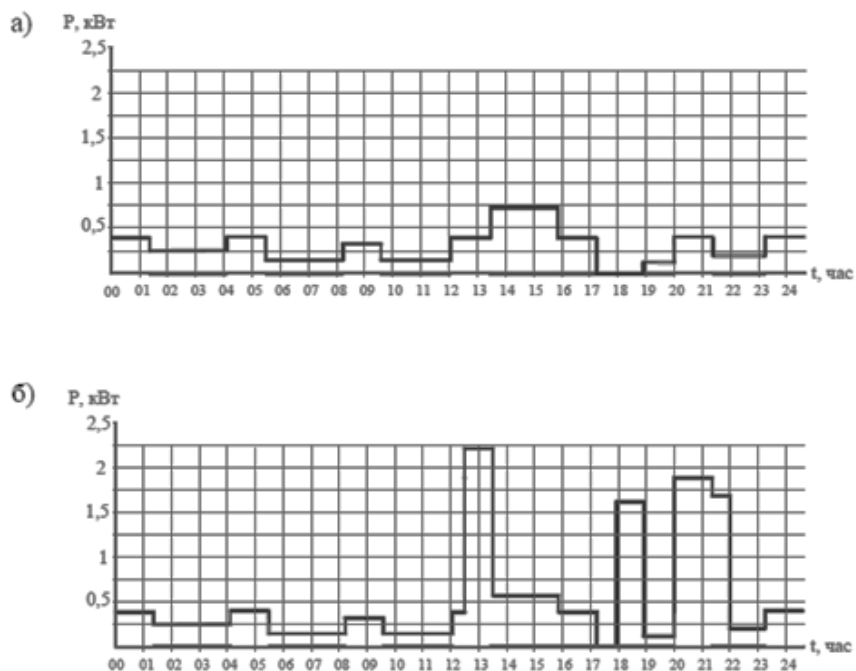


Рисунок 3– Распределение потребления электроэнергии бытовыми потребителями в течении суток: а) зимой; б) летом

Таблица 2– Нагрузки основных производственно-складских помещений

Название электроприемника	Количество, шт	Номинальная мощность, кВт	Продолжительность времени работы, ч	Суммарная мощность одновременной работы, кВт	Расход энергии за сутки
Обогреватель	2	4	ноябрь-апрель/24	8	192
Кормораздатчик	9	0,7	не разом	2,8	67,2
Автоматическая поилка	1	1,6	24	1,6	38,4
Доильные установки	1	3,2	6	0,8	19,2
Холодильные установки для хранения молока	2	0,3	24	0,6	14,4
Система вентиляции	2	0,7	24	1,4	33,6
Установка бактерицидного обеззараживания	1	0,1	24	0,1	2,4
Насос дренажный	1	2,8	6	0,7	2,8
Дробилка	1	1,8	днем/1	1,8	1,8
Мясорубка	1	2,2	днем/1	2,2	2,2
Смеситель	1	2	днем/1	2	2
Гранулятор комбикорма	1	2,5	днем/1	2,5	2,5
Насос скваженный	1	5,5	днем/1,5	5,5	8,25
Инкубационные аппараты	8	0,3	зимнее время/24	2,4	57,6
Освещение инкубатора	2	0,4	12	0,8	9,6
Освещение основного животноводческого корпуса	20	0,2	12	1,5-2,0	48
Итого				32,4	501,95

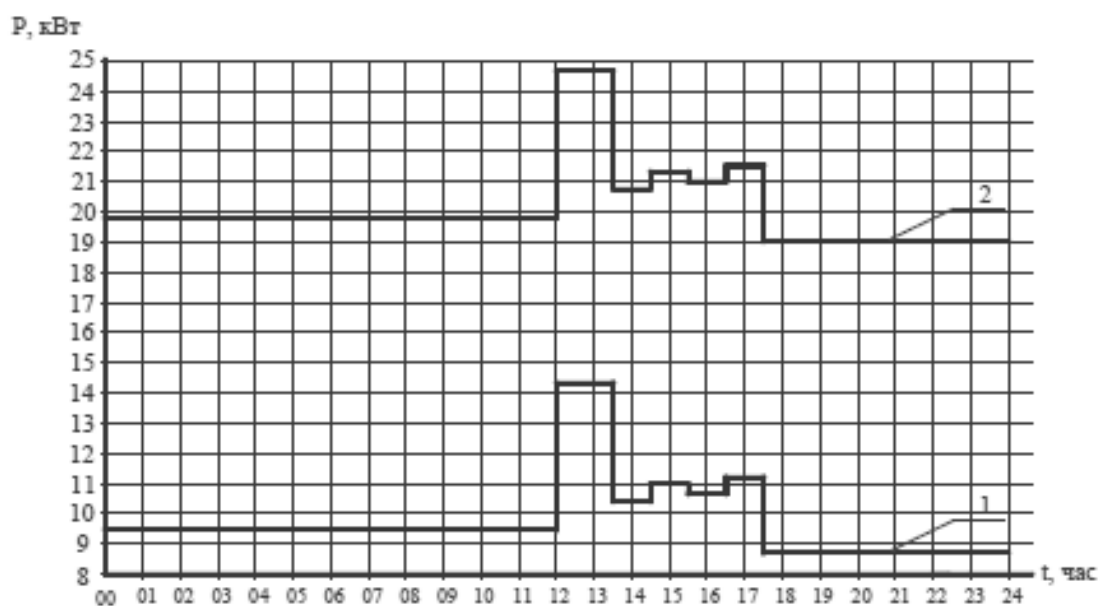


Рисунок 4 – Распределение потребления электроэнергии производственно-складских помещений: 1 – летом; 2 – зимой

Результаты анализа основных электрических нагрузок по основным характеристикам сведены в табл. 3

Таблица 3– Результаты анализа графиков электрических нагрузок

Показатель	Фермерское хозяйство			
	Бытовые потребители		Производственно-складские помещения	
	Лето	Зима	Весна/лето	Осень/зима
1. Максимальный диапазон изменения нагрузки $DP_{п}$, кВт	1	0,75	3,5	3,5
2. Пределы изменения нагрузок $DP_{макс}$, кВт	2,4	1,0	5,5	5,5
3. Коэффициент неравномерности, a	0.1	0.25	0.63	0.76
5. Коэффициент заполнения, b	0,18	0,21	0,69	0,86

Продолжение таблицы 3

Показатель	Фермерское хозяйство			
	Бытовые потребители		Производственно-складские помещения	
	Лето	Зима	Весна/лето	Осень/зима
4. Полупиковые пределы изменения нагрузок ДРпп, кВт	0,75	1,55	3	3
6. Продолжительность пиковой нагрузки, Т _{макс} , ч	3504		5475	
7. Величина предельной резервируемой мощности для потребителей повышенной надежности, кВт	0,5		8	

Показатели, представленные в таблице 3, показывают на достаточную равномерность суточной загрузки производственно-складских потребителей. Также данные таблицы 3 будут в дальнейшем использованы для расчета и подбора элементов интеллектуальной системы электроснабжения.

Фермерские хозяйства по надежности электроснабжения относятся к потребителям III категории, что плохо, так как продолжительное отсутствие электрической энергии отрицательно сказывается на хранении молочных продуктов и отоплении в зимнее время.

2.2 Внешнее электроснабжения

По роду тока в здании производственного фермерского комплекса применяются потребители, работающие от линии переменного тока.

Подключение комплектной трансформаторной подстанции к действующим электрическим линиям 10 кВ выполнено алюминиевыми неизолированными проводами. На стороне низкого напряжения использованы самонесущие изолированные провода. Для защиты от импульсных перенапряжений, вызванных атмосферными явлениями, на комплектной трансформаторной подстанции расположены со стороны высокого напряжения вентильные разрядники 10 кВ, а со стороны низкого напряжения – вентильные разрядники 0,4 кВ. Входные и выходные линии распределительных устройств высокого и низкого напряжения защищены высоковольтными предохранителями.

Для защиты оборудования подстанции от возможных аварийных режимов работы (короткое замыкание, перегрузка) РУНН оснащено на стороне 0,38 кВ автоматическими выключателями с токовым реле в нулевом проводе и плавкими предохранителями. Для полного отключения нагрузки предусмотрен рубильник.

В РУНН также находится оборудование для управления уличным освещением – контактор, управляемый по сигналу от фотодатчика. Также предусматривается возможность принудительного включения освещения воздушным автоматом.

Так как фермерское хозяйство значительно удалено от действующей линии 10 кВ, то целесообразно использовать собственную КТП. Альтернативой является сооружение столбовой подстанции – реализация транзитной схемы подключения. Транзитная схема предусматривает присоединение однофазных трансформаторов для электроснабжения небольших хозяйств. К однофазной сети кроме однофазных нагрузок можно подключать и трехфазные, например, асинхронные электродвигатели по специальным схемам присоединения. Данная схема представляет собой трехфазно-однофазную систему распределения электроэнергии в сельской местности.

«Система электроснабжения потребителей в сельской местности без строительства ВЛ 0,38 кВ более эффективна и для электрификации фермерских хозяйств в том числе.

Организация электрификации фермерского хозяйства включает три стадии: проектирование, строительные-монтажные работы и техническая эксплуатация электроустановок

При оптимизации внешнего электроснабжения выявляют области сочетаний электрических нагрузок хозяйства и его удаленности от источника питания, рассматривая несколько вариантов присоединения к электрической сети, из которых выбирается оптимальный:

- присоединение к концу или магистрали действующей ВЛ 0,38 кВ, проходящей по данному населенному пункту;

- присоединение через отдельно сооружаемую ВЛ 0,38 кВ, запитываемую от действующей ТП 10/0,4 кВ без замены или с заменой трансформатора на большую мощность;

- присоединение через сооруженные ТП 10/0,4 кВ и ВЛ 10 кВ (можно по смешанной трехфазно-однофазной системе распределения энергии, рассмотренной выше), подключенную к действующей ВЛ 10 кВ, наиболее близко расположенной к ферме или земельному наделу фермера» [6].

2.3 Разработка методологии применения гибридных систем электроснабжения фермерского хозяйства

Энергетические возможности электростанции на фотоэлементах оцениваются формулой

$$P_{\text{CFЭУ}} = P_{\text{ном.СФЭУ}} \cdot f_{\text{CFЭУ}} \cdot \frac{G_{\text{T}}}{G_{\text{н.у}}} \cdot [1 + \alpha_{\text{p}}(T_{\text{c}} - T_{\text{н.у}})], \quad (1)$$

где $P_{\text{ном.СФЭУ}}$ - номинальное количество электроэнергии, вырабатываемое фотоэлементами;

$f_{CFЭУ}$ - поправочный коэффициент, учитывающий снижение количества электроэнергии без применения буферного емкостного накопителя энергии [16];

G_T - количество солнечной энергии достигшей поверхности фотоэлементов, Вт/м²;

$G_{н.у}$ - количество солнечной энергии достигшей поверхности фотоэлементов в идеальных условиях. В расчетах можно принять $G_{н.у}=1000$ Вт/м²;

T_c - температура фотоэлементов в момент выработки электричества, °С [32];

α_p - коэффициент, учитывающий влияние температуры на коэффициент полезного действия фотоэлементов, °С⁻¹;

$T_{н.у}$ - температура, к которой приводится нагрев фотоэлемента. В расчетах принимаем $T_{н.у}=25$ °С.

Количество электроэнергии, вырабатываемое фотоэлектрической станцией

$$E_{CFЭУ} = P_{CFЭУ} \cdot t_{сол}, \quad (2)$$

При использовании буферного накопителя энергии, выходная мощность фотоэлектрической станции уменьшается на величину потерь в накопителе

$$P_{ном. CFЭУ} = \frac{E_{CFЭУ}}{K_{CFЭУ} \cdot t_{пик. осв} \cdot [1 + \alpha_p (T_c - T_{н.у})]}, \quad (3)$$

где $t_{пик. осв}$ - освещенность поверхности фотоэлементов в часы пик (4);

$K_{CFЭУ}$ - суммарный коэффициент потерь на всем пути следования электроэнергии до потребителя (5)

$$t_{\text{пик.осв}} = \frac{G_{\text{Т}}}{G_{\text{н.у}}} \cdot t_{\text{сол}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{сол}}$ - продолжительность светового дня, ч [33].

$$K_{\text{сфэу}} = f_{\text{сфэу}} \cdot \eta_{\text{зу}} \cdot \eta_{\text{акб}}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{зу}}$ - коэффициент потерь в зарядном устройстве;

$\eta_{\text{акб}}$ - коэффициент потерь в буферном емкостном накопителе энергии [34]

Таким образом, итоговая мощность фотоэлектрической станции

$$P_{\text{ном.сфэу}} = \frac{H}{K_{\text{сфэу}} \cdot t_{\text{пик.осв}}}, \quad (6)$$

где H – количество электроэнергии, потребляемое фермерским хозяйством за сутки, Вт·ч/сут.

Энергетические возможности ветроэлектростанции оцениваются усредненным значением мощности на валу ветрогенератора:

$$P_{\text{вэу}} = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho_{\text{воз}} \cdot v_{\text{min}}^3 \cdot p(v) \cdot A_{\text{ом}}, \quad (7)$$

где ξ - коэффициент потерь в ветрогенераторе;

$\rho_{\text{воз}}$ - плотность воздуха в точке его соприкосновения с лопастями ветряка [17], кг/м³;

v_{min} - минимальная скорость ветра в районе установки ветрогенератора за расчетный период, м/с [35];

$p(v)$ - коэффициент распределения силы ветра;

$A_{\text{ом}}$ - ометаемая площадь ветроколеса, м² (10).

Другой способ оценки энергетической возможности ветроэлектростанции использует величину количества электроэнергии, которую генератор должен выработать

$$P_{ВЭУ} = \frac{H}{t_{сут.экс} \cdot K_{ВЭУ}}, \quad (8)$$

где $t_{сут.экс}$ - время работы ветрогенератора за сутки, ч;

$K_{ВЭУ}$ - суммарный коэффициент потерь (9)

$$K_{ВЭУ} = \eta_{ух} \cdot \eta_{з\gamma} \cdot \eta_{АКБ} \cdot \eta_{инв}, \quad (9)$$

где $\eta_{ух}$ - потери, связанные с ухудшением погодных условий;

$\eta_{инв}$ - потери в инвертере.

$$A_{ом} = \frac{H}{Z_{ВЭУ} \cdot v_{мин}^3 \cdot K_{ВЭУ}}, \quad (10)$$

где $Z_{ВЭУ}$ - корректирующий коэффициент, $кг \cdot ч / м^3$ (11)

$$Z_{ВЭУ} = 0,5 \cdot \xi \cdot p(v) \cdot T_{сут} \cdot \rho, \quad (11)$$

Определим корректирующий коэффициент, приняв средневзвешенные значения параметров, входящих в формулу (11): $\xi = 0,25$; $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$; $p(v) = 6/\pi$; $T_{сут} = 24 \text{ ч}$ [36]

$$Z_{ВЭУ} = 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,225 \cdot 24 \cdot \frac{6}{3,14} = 7,03 \text{ кг} \cdot \text{ч} / \text{м}^3.$$

Объединим фотоэлектрическую станцию и ветрогенератор в гибридную электростанцию. Тогда ее минимальная требуемая мощность

$$P_{СФЭУ} = A_{ом} \cdot K_{комб.эс}, \quad (12)$$

где $K_{\text{комб.эс}}$ - коэффициент приведения двух генерирующих мощностей к их объединенному эквиваленту

$$K_{\text{комб.эс}} = Z_{\text{ВЭУ}} \cdot \frac{K_{\text{ВЭУ}}}{K_{\text{СФЭУ}}} \cdot \frac{(v_{\text{мин}}^3 - v_{\text{макс}}^3)}{(t_{\text{пик.осв.1}} - t_{\text{пик.осв.2}})}, \quad (13)$$

где $t_{\text{пик.осв.1}}$ - минимальное количество часов, при которых фотоэлектрические элементы находятся под воздействием солнечных лучей, ч [30];

$t_{\text{пик.осв.2}}$ - максимальное количество часов, при которых фотоэлектрические элементы находятся под воздействием солнечных лучей, ч;

Ометаемая площадь ветроколеса гибридной фотоветроустановки находится по формуле

$$A_{\text{ом}} = \frac{H}{Z_{\text{ВЭУ}} \cdot v_{\text{мах}}^3 \cdot K_{\text{ВЭУ}} \cdot K_{\text{комб.эс}} \cdot E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{СФЭУ}}}. \quad (14)$$

Емкость буферного накопителя энергии для обеспечения бесперебойного электроснабжения:

$$q_{\text{АКБ}} = \frac{H \cdot K_{\text{зз}} \cdot T_{\text{рез}}}{U_{\text{АКБ}} \cdot D_{\text{ур}}}, \quad (15)$$

где $K_{\text{зз}}$ - коэффициент показывающий возможность буферного накопителя запастись энергиею;

$T_{\text{рез}}$ - время, при котором электроприемники питаются от аккумуляторной батареи, ч [31];

$D_{\text{ур}}$ - диапазон допустимого разряда аккумуляторной батареи. Принимаем для расчета от 0,5 до 1,0.

Для резервного питания, в случае серьезных проблем с поставкой электрической энергии (полное продолжительное безветрие, пасмурные дни, возможная авария оборудования) дополнительно дополним нашу альтернативную электрогенерирующую установку жидко-топливной генерирующей мощностью (бензо/дизель генератором). В этом случае её мощность:

$$E_{ЖТЭ.г} = 2 \cdot H_{Г} - (E_{ВЭУ.г} + E_{СФЭУ.г}), \quad (16)$$

где $E_{ВЭУ.г}$ - годовое количество электричества, вырабатываемое ветрогенератором;

$E_{СФЭУ.г}$ - годовое количество электричества, вырабатываемое фотогенератором.

Расход топлива бензо/дизель генератора:

$$F = F_0 + F_1 \cdot P_{ЖТЭ}, \quad (17)$$

где F_0 - затраты топлива при работе без нагрузки, л/ч;

F_1 - средний расход топлива, л/кВт·ч;

$P_{ЖТЭ}$ - номинальная мощность бензо/дизель генератора.

Емкостной буферный накопитель энергии в гибридной схеме электроснабжения играет важную роль, в первую очередь как элемент, от которого питаются электроприемники, то есть он является в данной схеме источником. Как любая другая аккумуляторная батарея, емкостной накопитель электрической энергии характеризуется энергией заряда (18) и энергией разряда (19)

$$E_{АКБ}(t) = E_{АКБ}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) + [E_{СФЭУ}(t) + E_{ВЭУ}(t) - \frac{H(t)}{\eta_{ИНВ}}] \cdot \eta_{АКБ.З}, \quad (18)$$

$$E_{\text{АКБ}}(t) = E_{\text{АКБ}}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) - \left[\frac{H(t)}{\eta_{\text{инв}}} - (E_{\text{СФЭУ}}(t) + E_{\text{ВЭУ}}(t)) \right] \cdot \frac{1}{\eta_{\text{АКБ.З}}} \quad (19)$$

где t - текущий момент времени;

$(t-1)$ – предыдущий момент времени;

$E_{\text{АКБ}}$ - накопленная в буферном накопителе энергии в момент времени t и момент времени $(t-1)$;

σ - коэффициент, показывающий снижение накопленной электроэнергии во времени без нагрузки;

$H(t)$ - суммарная нагрузка гибридной электростанции за время t ;

$\eta_{\text{АКБ.З}}$ - коэффициент полезного действия емкостного накопителя энергии при его заряде;

$\eta_{\text{инв}}$ - коэффициент полезного действия преобразователя переменного напряжения в постоянное.

Под зарядом буферного накопителя энергии подразумевается такой совместный режим работы, при котором электроэнергии, совместно вырабатываемой ветряным и фотоэлектрическим генераторами достаточно для удовлетворения всей подключенной нагрузки. В противном случае, недостающая часть энергии забирается у емкостного накопителя энергии, который переходит в режим разряда.

Режим работы ветрогенератора можно описать системой уравнений:

$$P_{\text{ВЭУ}} = P(v) = \begin{cases} 0, v < v_{\text{мин}}; \\ a_1 \cdot v^3 + a_2 \cdot v^2 + a_3 v + a_4, v_{\text{мин}} \leq v < v_1; \\ b_1 \cdot v^3 + b_2 \cdot v^2 + b_3 v + b_4, v_1 \leq v < v_{\text{макс}}; \\ 0, v > v_{\text{макс}}. \end{cases} \quad (20)$$

где v - среднетекущая скорость ветра на оси ветрогенератора, м/с;

v_1 - скорректированная скорость ветра, м/с;

$a_1, a_2, \dots, b_1, b_2 \dots$ - коэффициенты коррекции, учитывающие конструктивные, температурные, анемометрические свойства генератора и окружающей среды.

Коррекция силы ветра на уровне оси лопастей ветрогенератора производится по выражению

$$v_1 = v_0 \cdot \left[\frac{h_1}{h_0} \right]^m, \quad (21)$$

где h_1 - высота расположения оси лопастей ветрогенератора

относительно уровня моря, м;

h_0 - высота установки измерительного анемометра (обычно располагается ниже оси ветрогенератора), м;

v_0 - скорость ветра на уровне установки измерительного анемометра, м/с;

m - коэффициент приведения силы ветра к друг другу при их измерении на разных высотах. Данный коэффициент является табличной величиной, получен по результатам измерения и сравнения силы ветра в различных районах страны, на разных высотах. Например, для центрально-европейской части России $m=0,2$.

Суммарное количество электрической энергии, которое способна выработать гибридная электростанция:

$$E_{\text{Комб.ЭС}}(t) = E_{\text{СФЭУ}}(t) + E_{\text{ВЭУ}}(t), \quad (22)$$

В случае неполной нагрузки, количество электроэнергии оставшейся неиспользованной определяется:

$$E_{\text{неисп}}(t) = E_{\text{Комб.ЭС}}(t) - \left\{ E_{\text{инв}}(t) + \frac{E_{\text{АКБмакс}}(t) - E_{\text{АКБ}}(t-1)}{\eta_{\text{АКБ.З}}} \right\}, \quad (23)$$

где $E_{\text{инв}}$ - количество электрической энергии проходящей через преобразование в инвертере (24)

$$E_{\text{инв}} = \frac{N}{\eta_{\text{инв}}}, \quad (24)$$

где N - суммарная мощность преобразованная инвертором.

В случае перегрузки, количество недостающей электрической энергии определяется по формуле

$$E_{\text{деф}}(t) = N(t) - \left[(E_{\text{СФЭУ}}(t) + E_{\text{ВЭУ}}(t)) + E_{\text{АКБ}}(t-1) - E_{\text{АКБмин}}(t) \right] \cdot \eta_{\text{ин}}, \quad (25)$$

Возможность недополучения потребителями электрической энергии оценивается выражением

$$L_{\text{деф}} = \frac{\sum_{n=1}^{8760} E_{\text{неисп}}(t)}{\sum_{n=1}^{8760} E_{\text{инв}}}, \quad (26)$$

где 8760 – рекомендуемый шаг рассматриваемых интервалов времени, то есть количество интервалов, на которые делятся сутки.

Оценить эффективность гибридной электростанции можно по двум коэффициентам: обеспечения (27) и неиспользования (28):

$$K_{\text{об}} = 1 - L_{\text{деф}}, \quad (27)$$

$$K_{\text{неисп}} = \frac{\sum_{n=1}^{8760} E_{\text{неисп}}(t)}{\sum_{n=1}^{8760} E_{\text{Комб.ЭС}}(t)}, \quad (28)$$

У эффективной гибридной станции $K_{\text{об}}$ должен стремиться к единице, а $K_{\text{неисп}}$ - к нулю. Если данные коэффициент удовлетворяют потребителя, то

проводится дополнительная проверка по определению себестоимости вырабатываемой электроэнергии C_3 :

$$C_3 = \frac{C_{\text{общ.год}}}{N_{\Gamma}}, \quad (29)$$

где $C_{\text{общ.год}}$ - суммарные вложения в основные фонды при строительстве гибридной электростанции.

Зависимость тока заряда ФЭ номинального напряжения 48 В на 120 и 360 Вт от времени суток для средней полосы РФ представлена на рисунке 5. Зависимость мощности, вырабатываемой ветрогенератором в диапазоне от 0 до 60 кВт при силе ветра от 0 до 12 м/с показана на рисунке 6.

Зависимость стоимости 1 кВт·ч электроэнергии от емкости аккумуляторной батареи приведена на рисунке 7, а зависимость стоимости 1 кВт·ч электроэнергии от мощности фотоэлементов – на рисунке 10.

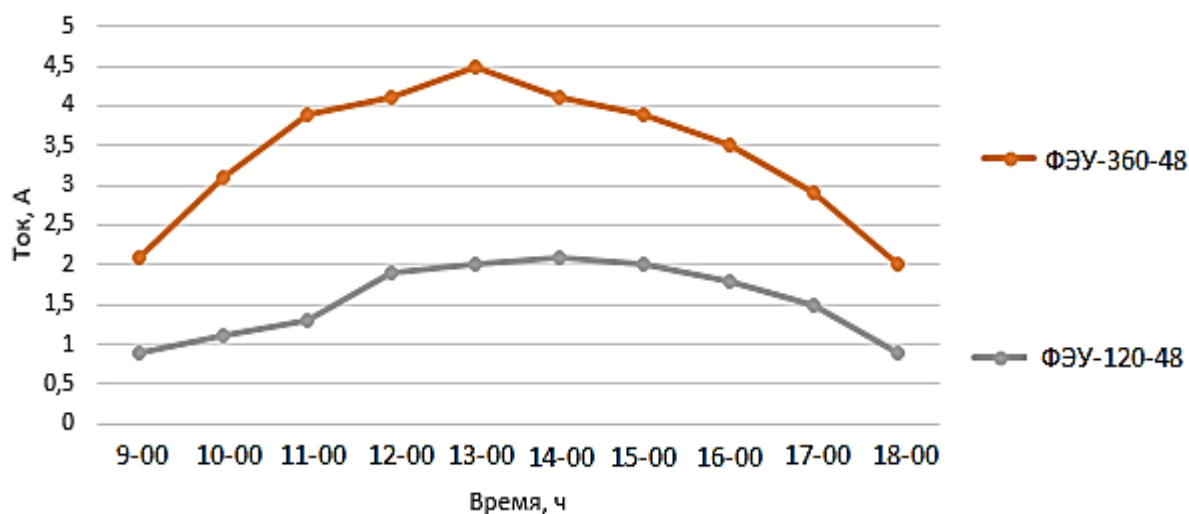


Рисунок 5 – Зависимость тока заряда ФЭ номинального напряжения 48В на 120 и 360 Вт

Если критерии проверки неудовлетворительные, то необходимо оптимизировать создаваемую гибридную станцию по алгоритму рисунка 8.

Для успешного дальнейшего выбора генерирующих устройств и компонентов гибридной электростанции воспользуемся результатами исследования фотостанций и ветрогенераторов [7, 8].

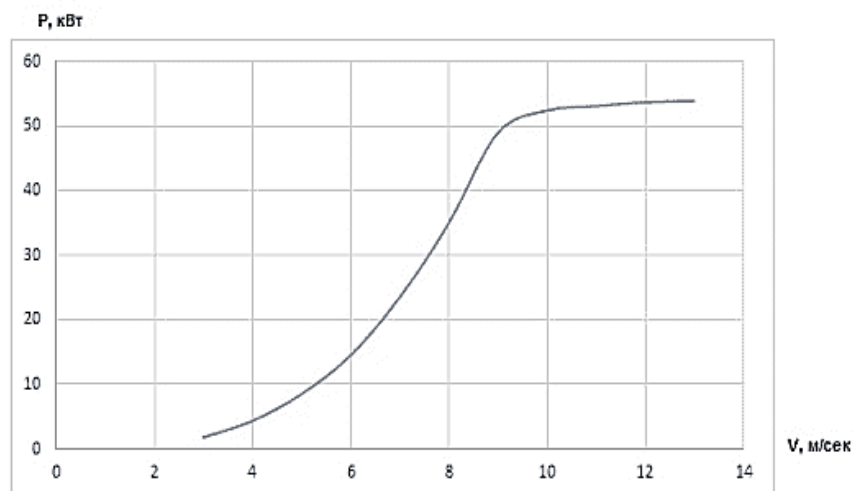


Рисунок 6 – Зависимость мощности, вырабатываемой ветрогенератором в диапазоне от 0 до 60 кВт при силе ветра от 0 до 12 м/с

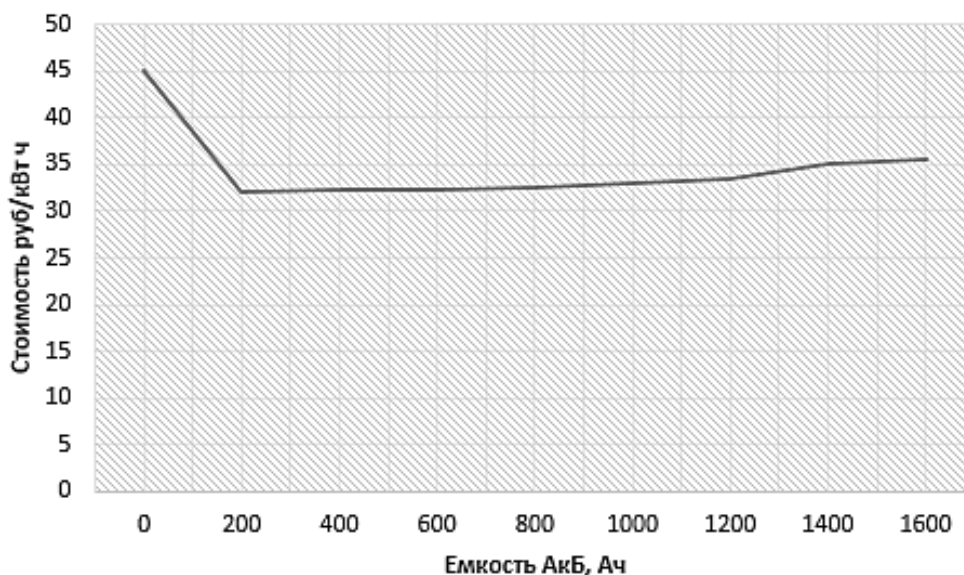


Рисунок 7 – Зависимость стоимости 1 кВт·ч электроэнергии от емкости аккумуляторной батареи

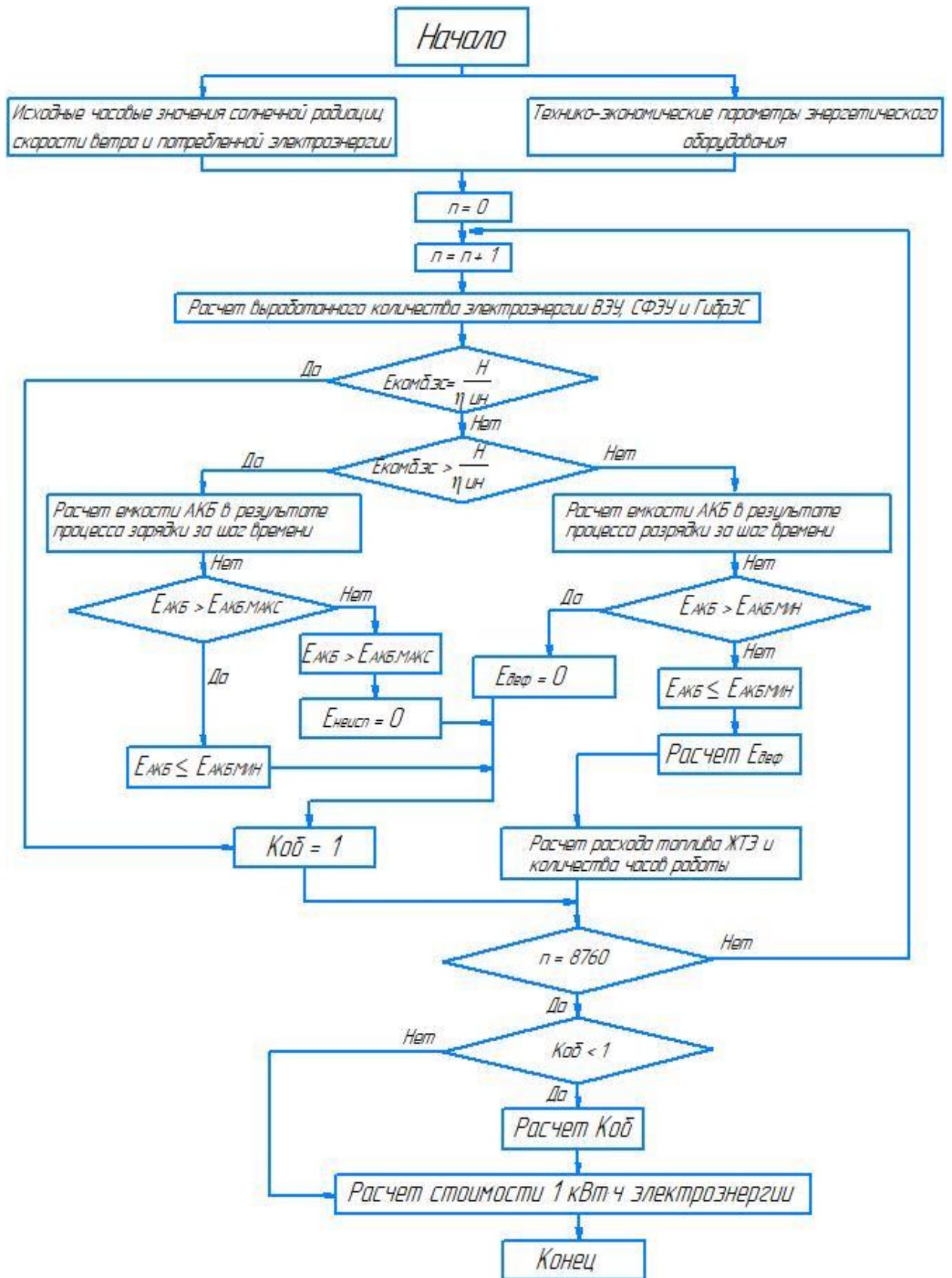


Рисунок 8– Алгоритм оптимизации гибридной электростанции

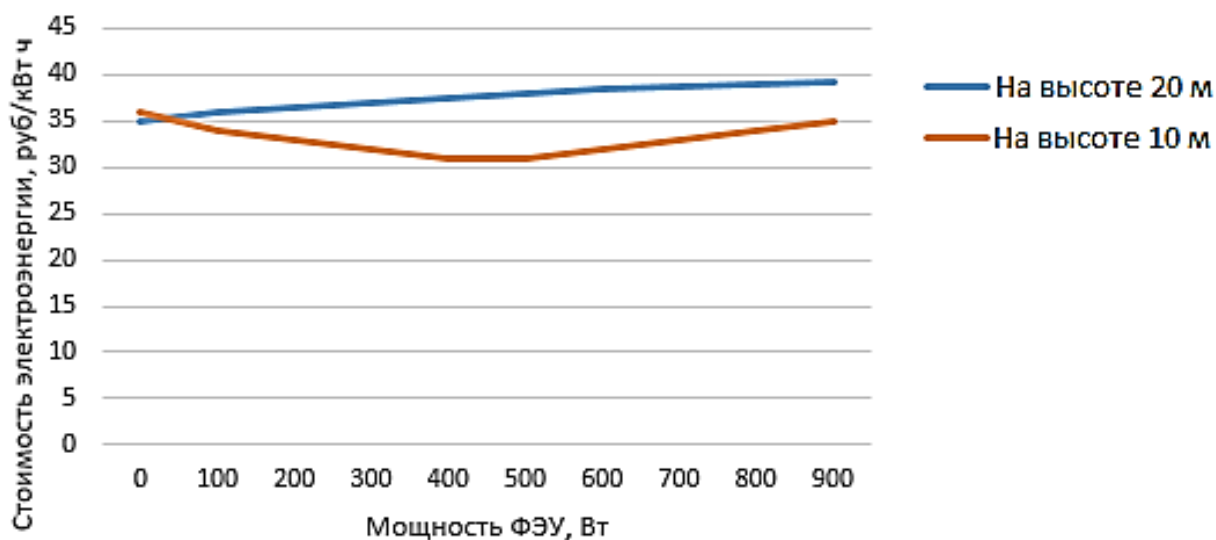


Рисунок 9 – Зависимость стоимости 1 кВт·ч электроэнергии от мощности фотоэлементов

2.4 Разработка структурной схемы гибридной электростанции и выбор генерирующих устройств

При разработке структурной схемы и выборе компонентов гибридной электростанции воспользуемся собственными данными об электрических нагрузках (см. п.п 2.1) и о солнечной и ветряной обстановки в центрально-европейской части России [9]:

- мощность гибридной электростанции 514 кВт/сутки;
- среднегодовая скорость ветра от 3,4 до 4,9 м/с, что соответствует ветряному потенциалу от 45,99 до 92,68 Вт/м²;
- показатель солнечной активности – поток солнечной энергии в солнечный день составляет 700 Вт/м²;
- среднесуточное время освещения солнечного элемента 8 часов.

Предварительно примем мощность потребления для ветрогенератора в 260 кВт, мощность потребления фотоэлементов также в 260 кВт.

2.4.1 Расчет и выбор фотоэлементов

Определим площадь солнечных элементов, если электродвижущая сила одного фотоэлемента равна $V_0=0,5\text{В}$, а эффективность ФЭ $\gamma=2\cdot 10^{-2}$ А/см². Электрический ток, протекающий по ФЭ определяется по формуле

$$I = \gamma \cdot P_{\text{СЭ}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{СЭ}}, \quad (30)$$

где $P_{\text{СЭ}}$ - площадь солнечных элементов.

Подставим ток в формулу определения количества потребленной электроэнергии:

$$P = 260 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{СЭ}} = 260 \cdot 10^3 \text{ Вт}\cdot\text{ч} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{СЭ}}. \quad (31)$$

Отсюда определяем необходимую площадь СЭ:

$$P_{\text{СЭ}} = \frac{260 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2}} = 13000000 \text{ см}^2 = 1300 \text{ м}^2$$

Рабочее напряжение фотоэлектрических элементов всегда кратно 12 В [10]. Это напряжение выбрано из-за того, что аккумуляторные батареи с напряжением 12В являются самыми распространенными. Отсюда используемые рабочие напряжения подавляющего большинства используемых гелиосистем равно 12В, 24В и 48В.

У каждого уровня напряжения есть свои достоинства и недостатки. Так, 48В позволяет уменьшить сечение проводов из-за уменьшения силы протекающего тока, что повышает общую надежность системы. Но с другой стороны 48В получается последовательным соединением 12В

аккумуляторов (см. рисунок 10) и при выходе одного из них из строя вся энергосистема выходит из строя [11].



Рисунок 10– К выбору рабочего напряжения гелиостанции

Поэтому выбираю для проектируемой комбинированной станции уровень напряжения фотоэлектрических панелей 48В.

Для проектируемой станции я выбираю «классическую» компоновку, подробно описанную в [12]. Солнечная батарея преобразовывает энергию солнца в электрическую энергию.

Контроллер предназначен для регулирования уровня заряда аккумуляторов для продления их работоспособности. Как известно, их срок службы сильно зависит от перезаряда (закипания от перезаряда) и от разряда ниже определенного уровня [12].

Роль аккумуляторов, согласно их наименованию, аккумулировать электрическую энергию. В нашем случае, аккумуляторы накапливают энергию днём, когда люди находятся на работе, и отдают её вечером и утром, когда включаются основные потребители энергии [13].

Роль инвертора в преобразовании выработанного электричества напряжением 48В в напряжение, являющееся номинальным для большинства потребителей электрической энергии – 220 В [13].

Мощность, требуемая от проектируемой солнечной батареи, равна суммарной мощности солнечных модулей P_C , Вт, которая определяется по формуле:

$$P_C = \frac{1000 * E_{\text{СУТ}}}{k * C_{\text{ИН}}}, \quad (32)$$

где $E_{\text{СУТ}}$ – общее среднесуточное потребление. Согласно расчетам

$$E_{\text{СУТ}} = 260 \text{ кВт};$$

1000 – принятая светочувствительность фотоэлектрических элементов, кВт/м²;

k – сезонный коэффициент, учитывающий все потери. Принимается равным $k=0,7$ для летнего времени, $k=0,5$ для зимнего времени.

Принимаем k расчету наименее благоприятный вариант $k=0,5$ [13];

$C_{\text{ИН}}$ – табличное значение инсоляции (потока солнечной радиации) при оптимальном наклоне панелей, кВт*ч/м² (см. табл. 4) [13].

Рекомендуемый угол наклона солнечных панелей весной и осенью равен значению широты местности. Принимаем расположение фермерского хозяйства на широте 55°. Летом оптимальный угол уменьшается на 10-15°, зимой наоборот увеличивается на 10-15°. Таким образом оптимальным будет угол наклона в 40° летом и 70° зимой (см. рисунок 11). Исходя из этого оптимальным представляется эксплуатация в двух режимах: «летний» и «зимний», с переходом с одного на другой в середине осени и весны. Если «лень» осуществлять этот переход или это не возможно по техническим причинам, то рекомендуется угол наклона взять равным 55°.

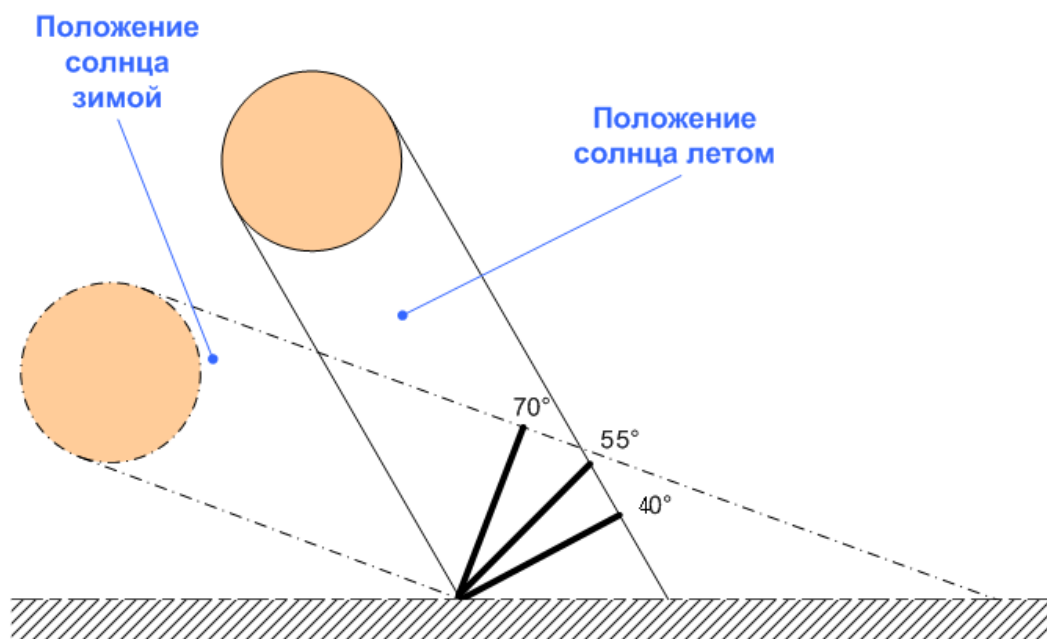


Рисунок 11– Оптимальные углы наклона солнечных модулей

Величины инсоляции по месяцам для средней полосы России показаны в таблице 4.

Таблица 4– Величины инсоляции по месяцам для средней полосы России

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54	3,06

Принимаем к расчету $C_{ин} = 3,06 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

$$P_C = \frac{1000 \cdot 260}{0,5 \cdot 3,06} = 169934 \text{ Вт}$$

Выбираем солнечную батарею 48В 500 Вт (модель SW500), поликристаллическая, стоимостью 6500 руб (панель мощностью 1 Вт стоит в среднем 0,2\$), производство Sunway, Китай (см. таблицу 5, рисунок 12)

[13]. В пользу данного производителя говорит оптимальное соотношение «цена-качество», поддержка гарантийного обслуживания. Количество требуемых солнечных модулей – шесть.

Таблица 5– Характеристики солнечной батареи поликристалл Sunway SW500

Параметр	Величина
Мощность	500 Вт
Номинальное напряжение	48 В
Ток при работе на нагрузку	4,5 А
Ток короткого замыкания	5,6 А
Температура эксплуатации и хранения	-40...+85 °С
Коннекторы	MC4
Класс защиты	IP 67
КПД солнечного модуля	17.3%
КПД солнечного элемента	18.5%
Солнечные элементы	Grade A, поликристалл
Гарантийный срок эксплуатации	25 лет
Габариты	1482x674x35 мм
Вес	19 кг

В общем проектируемая солнечная батарея будет включать: $260\text{кВт}/0,5\text{кВт}= 520$ модулей, которые займут общую площадь $1,48 \cdot 0,62 \cdot 520=477 \text{ м}^2$, общий вес $520 \cdot 19= 9880$ кг.

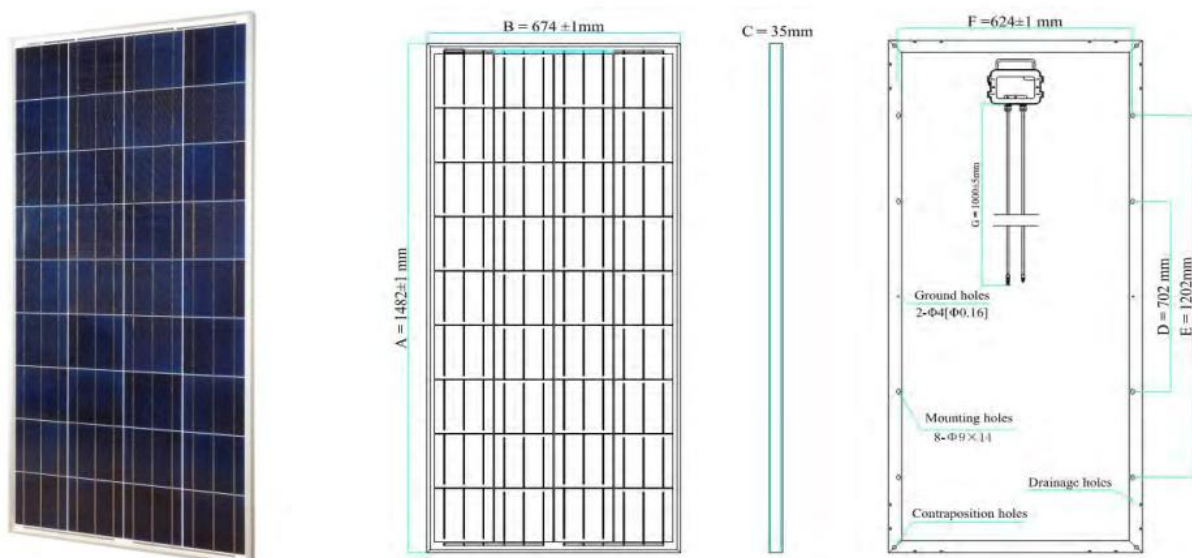


Рисунок 12– Солнечная батарея Sunway SW500

2.4.2 Подбор ветрогенератора

Выбор ветроэлектростанции. Так как ветрогенератор на 250 кВт имеет сложную и дорогостоящую конструкцию с большим объемом строительных работ (в том числе и подземных) то выбираем для установки 5 ВЭС мощностью по 50 кВт. Выбираю Ветрогенератор 50 кВт для дома, Condor Air 50. Ветрогенератор мощностью 50 кВт от фирмы Condor Air 50 - это высокотехнологичный трёхфазный генератор электроэнергии российского производства с горизонтальной осью вращения.

Ветрогенератор Condor Air 50 (см. таблица 6) создан для эксплуатации в регионах с низким и слабым воздушным потоком. Старт ветрогенератора $P_{ном} = 50$ кВт происходит при скорости воздуха от 2.5 м/с, а на мощность в 50 кВт вращается при 9 м. Температурный диапазон работы от -40 до $+50$ °С в обычной комплектации и до -55 в исполнении низких температур. В цену ветряка включена стоимость контроллера заряда и мачта.

Таблица 6 – Основные технические характеристики Condor Air 50

Параметр	Значение
«Диаметр ветроколеса	14,5 м
Высота лопасти	7 м
Номинальное количество оборотов в минуту	25-30
Номинальная мощность	52 кВт
Максимальная мощность	52,5 кВт
Стартовая скорость ветра	2,5 м/сек
Номинальная скорость ветра	9 м/сек
Рабочая скорость ветра	3 - 20 м/сек
Защита от ураганных ветров	Автоматическая
Автоматическое ориентирование на ветер	Да
Высота мачты	18 м
Масса без мачты	2000 кг
Количество лопастей	3
Коэффициент использования энергии ветра	>0,42
Тип генератора	Трёхфазный генератор на постоянных магнитов
Частота генератора	0 - 50 Гц
Ток с генератора	Переменный
Номинальный ток	100 А
Максимальный ток	110 А
Характеристики инвертора	В зависимости от характеристик проекта
Рекомендуемое количество аккумуляторных батарей» [14]	40
«Рекомендованная ёмкость аккумуляторных батарей	200 А час
Эффективность системы преобразования	>0,85
Уровень шума не более	65 Дб
Предельная скорость ветра	35 м/сек

Продолжение таблицы 6

Параметр	Значение
Базовая комплектация	
Мачта	1 шт.
Генератор	1 шт.
Ротор	1 шт.
Лопаст	Комплект
Крепёж	Комплект
Контроллер	1 шт.
Технический паспорт» [14]	1 шт.

Основными узлами генераторной установки являются (см. рисунок 13): 1- генератор, 2- муфта, 3- мультипликатор; 4- тормозная система; 5- вал ротора, 6 – ротор.

Структурная схема показана на рисунке 15.

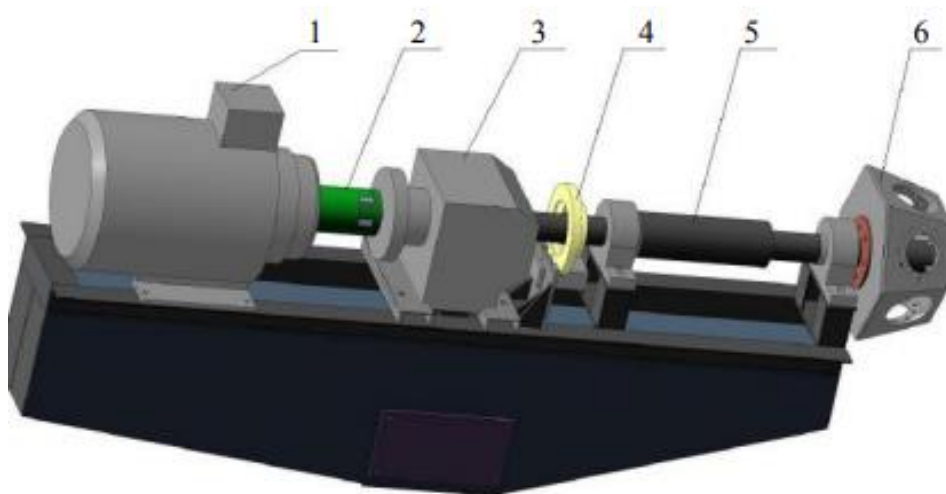
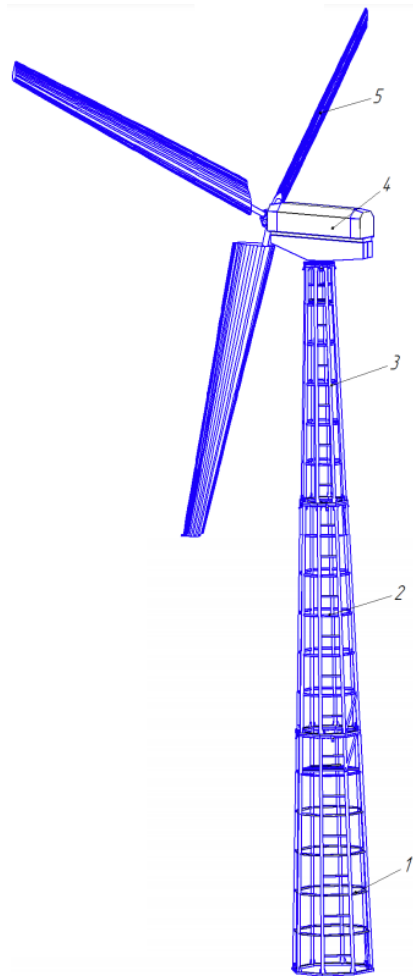


Рисунок 13 – Основные узлы генераторной установки Condor Air 50



1- нижняя ступень мачты; 2- средняя ступень мачты; 3- верхняя ступень мачты; 4 – гондола; 5 – лопасть (3 шт.)

Рисунок 14 – Внешний вид ветроэлектростанции Condor Air 50

2.4.3 Расчет и выбор аккумуляторного энергоблока

При выборе аккумуляторного энергоблока учитывались следующие рекомендации [15]:

- использовать только специализированные аккумуляторные батареи, имеющими маркировку «SOLAR»;
- все аккумуляторы должны иметь одинаковые характеристики, желательно чтобы они были из одной партии (т.е. куплены одновременно);

- аккумуляторы должны обязательно эксплуатироваться в помещении с температурой 25 °С, так как при отрицательной температуре её энергетические характеристики резко падают. Например, при температуре – 5 °С её электрическая емкость снижается на 50%;
- не разряжать аккумуляторные батареи менее 70%, критический разряд, после которого начинаются необратимые процессы разрушения батареи составляют 50%;
- при подборе количества и емкости аккумуляторов избегать недогрузки аккумуляторов, что также снижает их ресурс;
- емкость аккумуляторных батарей должна полностью покрывать нагрузки темного времени суток.

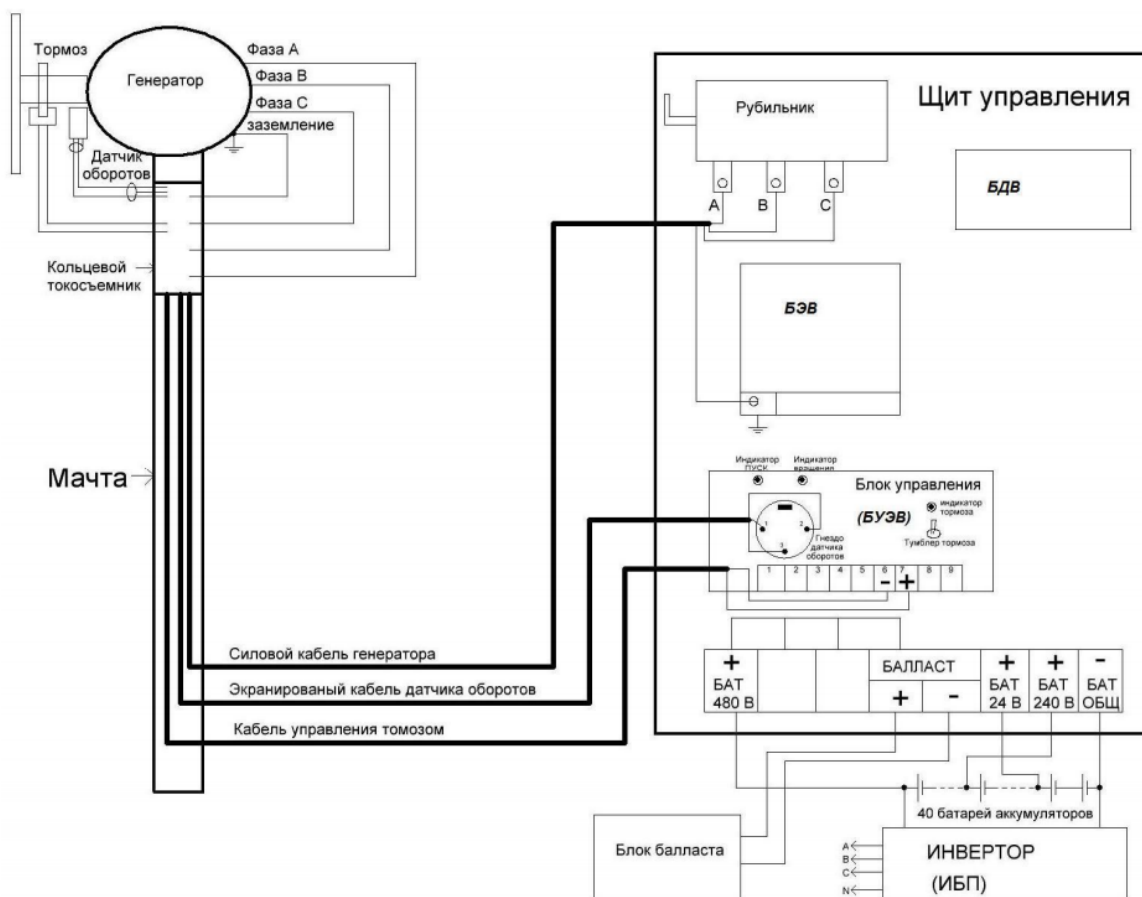


Рисунок 15 – Функциональная схема ветроэлектростанции Condor Air 50

Для определения необходимого количества аккумуляторных батарей определим энергозапас одного аккумулятора. За основу возьмем аккумулятор 48В емкостью 400 А/ч. Если не принимать в расчет его разряд, то за 1 час работы данный аккумулятор передаст потребителю общую мощность $48 \cdot 400 = 19200$ Вт. С учетом «неснижаемого» разряда в 70% корректируем энергозапас $\mathcal{E}_3 = 19200 \cdot 0,7 = 13440$ Вт/ч на каждые 400 А·ч.

Требуемая емкость аккумуляторов C_{AB} , А·ч, определяется по формуле (33)

$$C_{AB} = \frac{E_{СУТ}}{\mathcal{E}_3} \cdot 400 = \frac{260000}{13440} \cdot 400 = 7738 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (33)$$

На всю аккумуляторную накопительную станцию потребуется $7738/400 = 19,6$ АКБ. Принимаем общее количество батарей 20.

Так как мощность ветрогенератора равна мощности фотоэлектрической станции, то и для «обслуживания» ветрогенератора также необходимо ещё 20 аккумуляторных батарей емкостью 400 А/ч.

Всего для проектируемой гибридной электростанции необходимо 40 аккумуляторных батарей емкостью 400 А/ч.

Выбираю один аккумулятор Литий ионный аккумулятор LT 48-400 (19.2 кВт·ч 48В) от компании LITEN POWER (см. таблицу 7, рисунок 16) стоимостью 330800 руб. Данный аккумулятор не требует обслуживания в течении 10 лет, снабжен системой саморегулирования давления внутри корпуса аккумулятора [16].

Таблица 7 – Характеристика аккумулятора LITEN POWER LT 48-400

Показатель	Величина
Номинальное напряжение, В	48
Номинальная емкость (20-и часовой разряд), А ч	400

Продолжение таблицы 7

Показатель	Величина
Срок службы, лет	15
Количество циклов при разряде на 30%	2500
Количество циклов при разряде на 100%	1500
Внутреннее сопротивление, мОм	2.0
Саморазряд (при 20°C)	3% в месяц
Рекомендуемый ток заряда, А	20,0
Максимальный ток заряда, А	100,0
Максимальный ток разряда, А	100,0
Температурная компенсация зарядного напряжения	-30мВ/°С
Рабочий температурный диапазон, °С	-20...+50
Размеры (Д x Ш x В), мм	520 x 240 x 220
Вес, кг	66.0
Тип клемм	болты М8

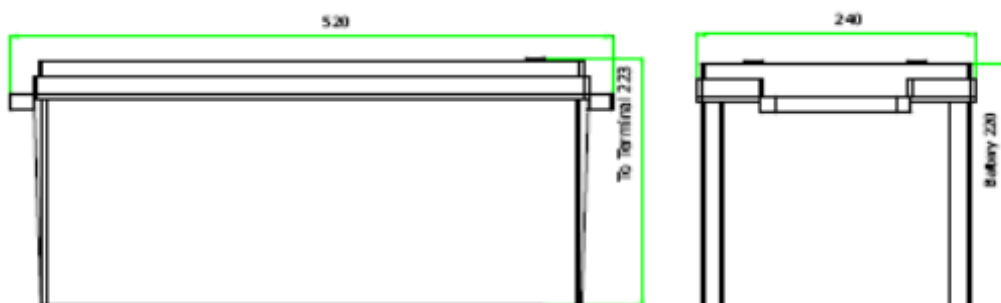


Рисунок 16– Аккумулятор LITEH POWER LT 48-400

2.4.4 Выбор блока управления

Подберем блок управления – контроллер заряда аккумуляторной батареи.

Главные критерии выбора блока управления (контроллера заряда аккумуляторной батареи) [17]:

- должны реализовывать многоступенчатый заряд аккумулятора;
- коммутацию нагрузки между солнечной батареей и аккумулятором;
- автоматическое подключение/отключение в корреляции с зарядом/разрядом солнечных модулей и аккумуляторов.

Для заряда АКБ может быть использована энергия электрических сетей общего назначения 220/230В (далее, просто сеть), генераторных комплексов или миниэлектростанций, солнечных батарей (панелей, модулей), ветрогенераторов или совместное использование нескольких источников электрической энергии. Выбираем инвертор для работы с солнечными панелями и ветростанцией МАП DOMINATOR 48В 20кВт 3-х фазный (60 кВт) т.м. Микроарт, стоимостью 635000 руб (см. таблица 8, рисунок 17). Для суммарной мощности 520 кВт нам потребуется 8,6 инверторов. Принимаем 10 шт.



Рисунок 17– Контроллер заряда аккумуляторов от солнечных панелей МАП DOMINATOR 48В 20кВт 3-х фазный (60 кВт) т.м. Микроарт

Таблица 8 – Контроллер заряда МАП DOMINATOR 48В 20кВт 3-х фазный (60 кВт) т.м. Микроарт

Параметр	Величина
1	2
Алгоритм заряда	MPPT (многостадийный, адаптивный)
Максимальная мощность солнечных батарей	1000 А·ч
Максимальный ток короткого замыкания подключенных солнечных панелей, А	500
Максимальный ток заряда аккумуляторов, А	375
Напряжение системы, В	12/24/36/48 (автоматически)
Температурная компенсация	есть (-16мВ/оС @ 12 В)
Встроенный температурный датчик	есть
Выносной температурный датчик	есть
Выбор типа аккумулятора	есть (AGM, GEL, Flooded и др.)
Собственное потребление, мА	менее 35 мА 12 В /менее 20 мА 48В
Цифровой дисплей	есть
Интерфейс	RS232, USB, tcp/ip
Максимальное сечение подключаемых проводов, мм ²	55
Рабочий температурный диапазон, °С:	-30...+60
Влажность (без конденсата)	0...95%
Степень пыле-влагозащиты	IP43 для электронных компонентов, IP22 для клемм
Размеры, мм	560 x 410 x 720
Вес, кг	183

На рисунках 18 и 19, представлен внешний вид приборов спереди и сзади.

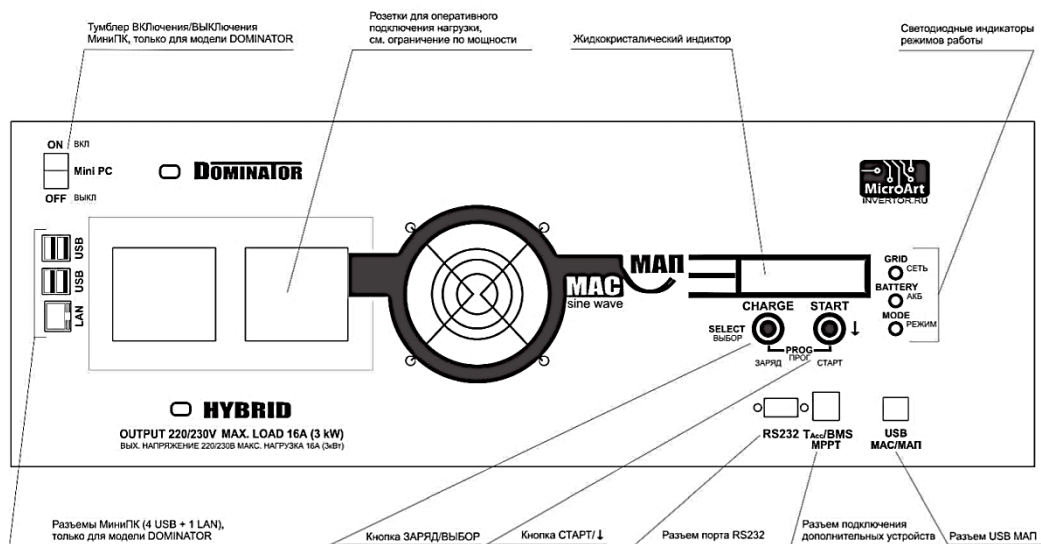


Рисунок 18 – Внешний вид инвертора, лицевая сторона

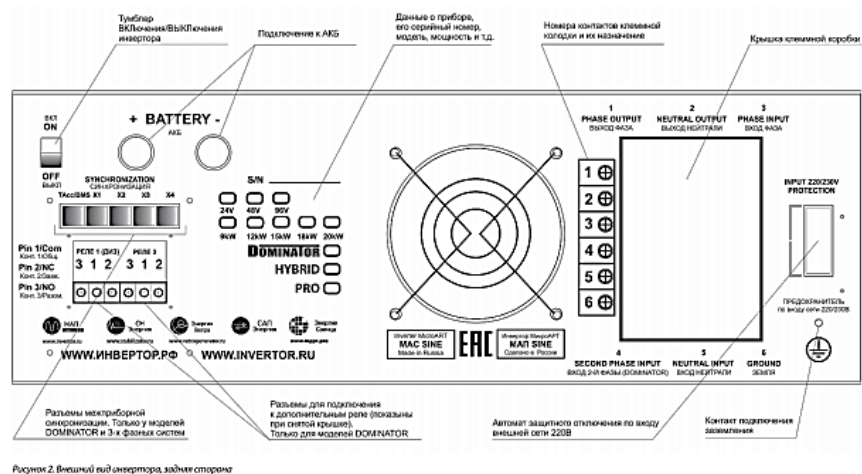


Рисунок 2. Внешний вид инвертора, задняя сторона

Рисунок 19 – Внешний вид инвертора, задняя сторона

Для управления работой инвертора в составе гибридной электростанции бесплатно предоставляется ПО, доступное на сайте www.invertot.ru. Благодаря данному ПО и встроенному функционалу, данная модель многофункционального автономного преобразователя (МАП) наилучшим образом подходит для использования в проектируемой гибридной электростанции, так как:

- 1) выполняет функции батарейного инвертра;

- 2) выполняет функции сетевого инвертора;
- 3) работа в трехфазной сети;
- 4) наличие 2-х входов для сети 220/380В, один из которых можно подключить к выходу бензогенератора;
- 5) синхронная (параллельная) работа до 30 приборов в трехфазной сети;
- 6) наличие двух реле с «сухими» контактами, например для управления включением бензогенератора;
- 7) встроенный мониторинг АКБ;
- 8) встроенный мини-компьютер для возможности дистанционного управления электросетью, например с сотового телефона.

Массив АКБ является дорогостоящим оборудованием, которое можно вывести из строя неправильной эксплуатацией. Недозаряд или перезаряд АКБ существенно снижает их жизненный цикл, а также быстро ухудшает их характеристики. Помимо этого, АКБ, изготовленные по различным технологиям, требуют сложных алгоритмов заряда. МАП обладает возможностью заряжать АКБ разных модификаций, разными методами заряда в соответствии с параметрами, заявленными ведущими мировыми производителями.

МАП отслеживает состояние заряда АКБ и использует сохранённую в аккумуляторах энергию для питания подключенного к нему оборудования, при отключении внешнего источника электроэнергии. Для подключения солнечных панелей и ветрогенераторов необходимы соответствующие контроллеры, выполняющие функции заряда и защиты АКБ. Солнечные и ветряные контроллеры, разработанные МикроАРТ могут взаимодействовать с МАП напрямую, что дает возможность максимально запастись и использовать энергию от альтернативных источников. Инверторы модификации Hybrid и Dominator способны синхронизироваться с сетью и

оптимизировать совместную работу всех источников энергии с наименьшим воздействием на АКБ для продления их срока службы.

При использовании МАП совместно с традиционными генераторами, работающими на бензине, газе или дизельном топливе, обеспечивает значительное увеличение КПД системы и экономию топлива, т.к. работать генератор будет в оптимальном режиме, заряжая АКБ и питая нагрузку через инвертор. Уменьшится время работы генератора на холостом ходу и значительно увеличится его ресурс.

Для перемычек рекомендуем применять провода сечением не меньше, чем провода от инвертора.

Если есть необходимость удлинить провода к АКБ, то можно отрезать штатные провода в 10-15 см от корпуса и припаять или обжечь специальной гильзой новый длинный провод. При удлинении в 2 раза (т.е. провода длиной в 2 метра), необходимо провод выбирать сечением в 2 раза больше, чем установлены на МАП. При удлинении в 3 раза, брать провод в 3 раза большим сечением, чем штатный.

Рекомендуем подключать массив АКБ «по диагонали» к плюсу от первого АКБ в сборке, и к минусу от последнего.

Типовая схема интеграции МАП в электрическую сеть показана на рис. 20. На схеме представлены: PQ1 и PQ3- однофазный вводной автомат, PQ2 и PQ4 автоматический выключатель с УЗО или дифференциальный автомат, PQ5-PQ8 и PQ11 - однофазные автоматические выключатели; PQ9 - фильтр подавления ЭМП, PQ10 - устройство защиты от импульсных перенапряжений (МПИ), PQ11-устройство защиты многофункциональное (УЗМ), РЩ-распределительный щит, 1- собственная земля (минимум - металлический штырь, вбитый в землю на 15 м.

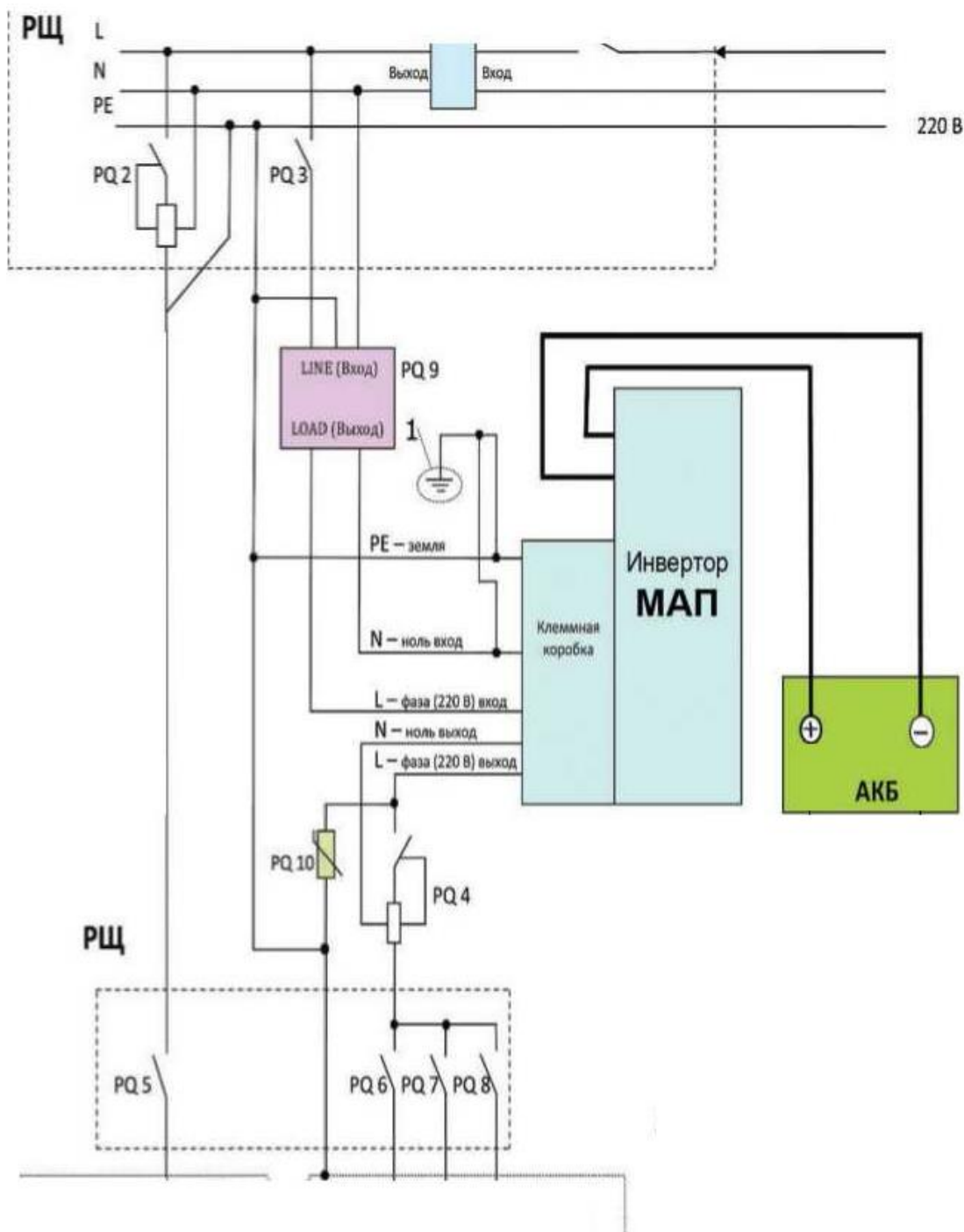


Рисунок 20– Типовая схема интеграции МАП в электрическую сеть

Особенно это актуально при полной автономии. Устанавливается на выход МАП, между фазой и местным заземлением (минимум - это металлический штырь (или оцинкованная металл, сантехническая труба), вбитый в землю на 1,5 м).

Так же, должно быть сделано местное "зануление", т.е. вход нуля сети тоже необходимо соединить с этой землёй, рекомендуем сделать его проводом большого сечения.

Управление и индикация режимов работы МАП осуществляется с помощью ЖКИ (жидкокристаллического индикатора). ЖКИ имеет 2 строки по 16 символов в каждой (см. рисунок 21). Существует два режима работы ЖКИ: режим индикации и режим настройки параметров с помощью меню.



Рисунок 21– Индикация МАП

2.4.6 Выбор дизель-электрической установки

Дизель-электрическая установка в разрабатываемой гибридной электростанции выполняет функции резервного источника питания, поэтому ее мощность значительно меньше основных генерирующих устройств. Достаточно использовать генератор до 20 кВт. Выбираем дизель-электрическую установку Д-246.1 номинальной мощности 16 кВт производства Алтай-Дизель-Энерго (см. рисунок 22, таблица 9)



Рисунок 22 – Дизель-электрическая установка Д-246.1

Таблица 9 – Дизель-электрическая установка Д-246.1

Параметр	Величина
Напряжение	400 В
Ток	46 А
Коэффициент мощности	0,8
Частота вращения	1500 об/мин
Частота тока	50 Гц
Исполнение	Двухопорный
Автоматический регулятор напряжения	КРН-04
Соединение фаз	Звезда
Степень защиты IP	IP21
Направление вращения	правое
Объем двигателя	4,75 л
Минимальная температура запуска без подогрева	-12°С
Расход топлива при продолжительной работе	5,8 кг/ч
Расход масла при продолжительной работе	0,025 кг/ч

2.4.7 Структурная схема

Структурная схема разрабатываемой гибридной электростанции представлена на рис. 23.

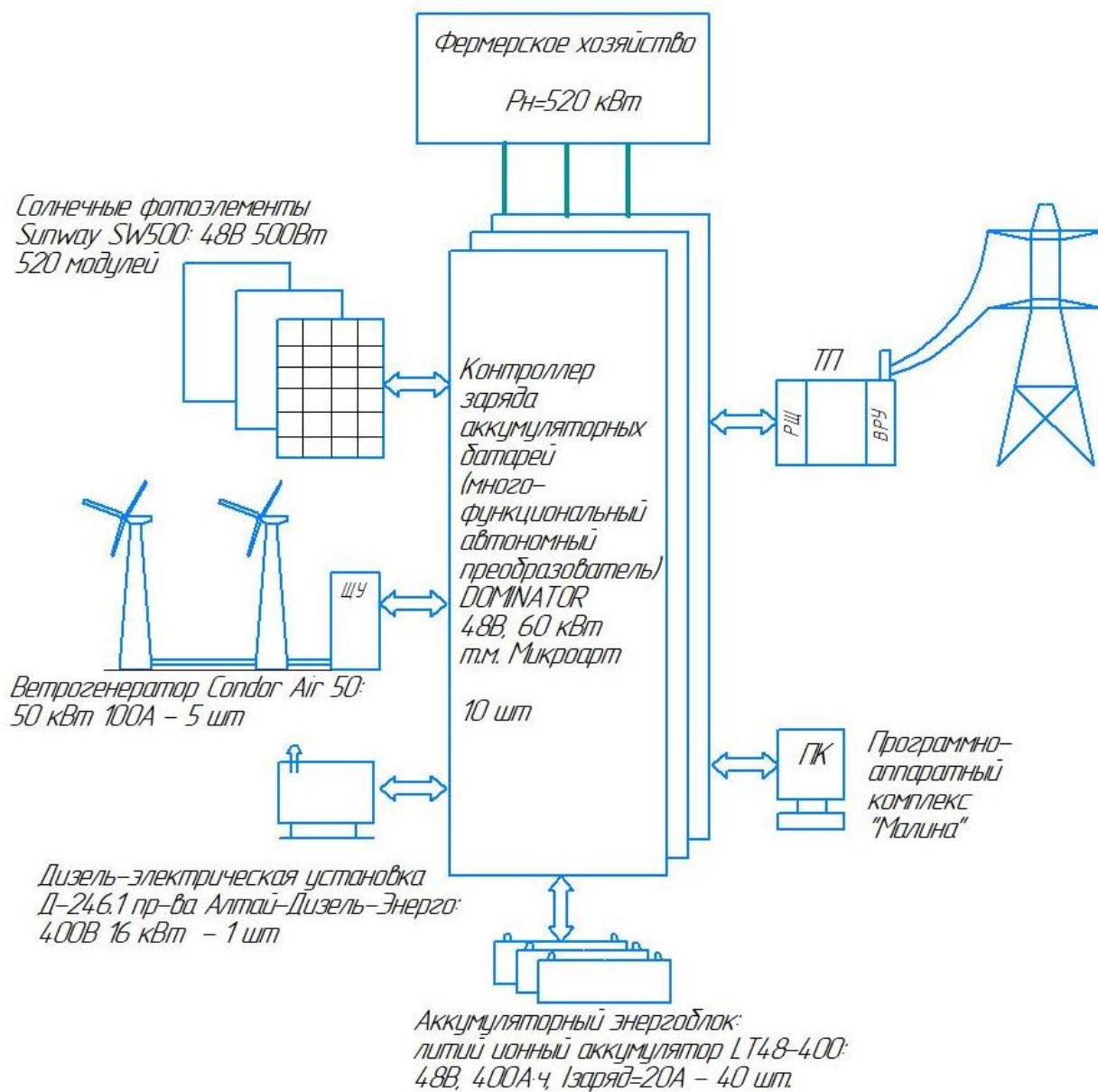


Рисунок 23 – Структурная схема разрабатываемой гибридной электростанции

2.5 Выбор компонентов информационной системы

Для дистанционного мониторинга продукции МикроАРТ и ее дистанционной настройки выпускается программно-аппаратный комплекс «Малина» (далее ПАК). ПАК «Малина» выполнен на основе миникомпьютера, и предназначена для мониторинга электросетей и управления инверторами МАП, солнечными контроллерами МРРТ, КЭС для ветрогенераторов и аккумуляторами (в том числе с BMS). Обладает возможностями Монитора АКБ, с функцией отключения генерации по заданной ёмкости АКБ. ПАК представляет собой автономный Web-сервер, построенный на базе миниПК с операционной системой Linux. МиниПК собирает необходимые данные с МАП и МРРТ контроллера КЭС (достаточно наличия хотя бы МАП или солнечного контроллера) и выводит их в формате, поддерживаемом любым Web-браузером на любой платформе (см. рисунок 24).

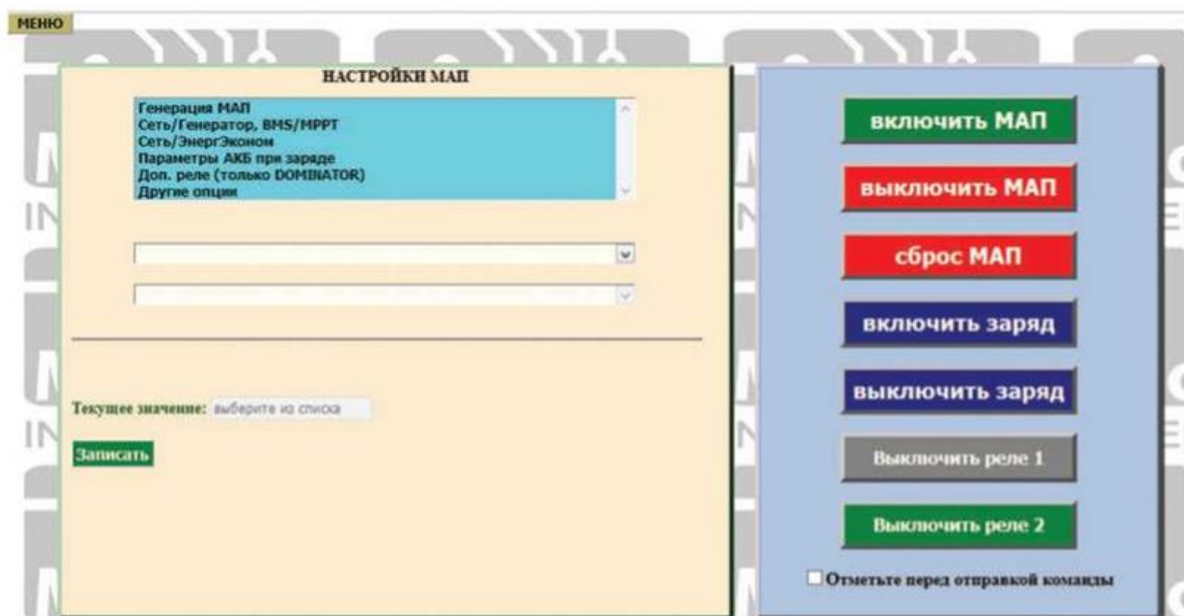


Рисунок 24 – Начальная страница ПАК

ПАК подключается к МАП и контроллеру MPPT с помощью USB интерфейса. Подключение к сети миниПК осуществляется с помощью 10/100 Ethernet порта. ПАК имеет также возможность подключения к нему USB модема и осуществлять контроль и управление МАП с помощью СМС сообщений.

ПАК собирает все данные, полученные за время его работы, и ведет базы данных всех параметров, которые можно просмотреть в виде удобных графиков в реальном времени или позже, задав необходимый временной интервал. Для анализа работы всей системы ведется также статистика основных параметров. Питание устройства осуществляется от сетевого напряжения 220/230В, как правило это розетка МАП. В случае отключения МАП, ПАК «Малина» тоже будет отключен и соответственно потеряно наблюдение и контроль за МАП, чтобы этого не происходило рекомендуем подключать ПАК «Малина» через носимые АКБ (которые используются для заряда портативной электроники).

Функционал ПАК «Малина» полностью повторяет функционал дистанционного мониторинга модели МАП DOMINATOR (в эту модель инвертора ПАК «Малина» встроен), за исключением организации питания миниПК. Основные режимы и переходы между ними показаны на рисунке 25. Рассмотрим режимы работы.

Режим Pmax – подкачка и перехват мощности.

При работе с сетью 220/230В, при необходимости можно выставить в меню максимальную мощность сети - Pmax, которая будет отбираться от вашей внешней сети. Для этого необходимо зайти в режим программирования в меню «Сеть/ЭнергЭконом»-> «МаксМощностьСети». По умолчанию она выставлена как 150% от максимальной мощности МАП. Этот параметр, далее Pmax, настроен на максимальную мощность, которую МАП может через себя транслировать. Но если на входе Бензо/Газо/Дизель

генератор, то необходимо выставить его номинальную мощность, если она, конечно, меньше выставленного по умолчанию параметра.

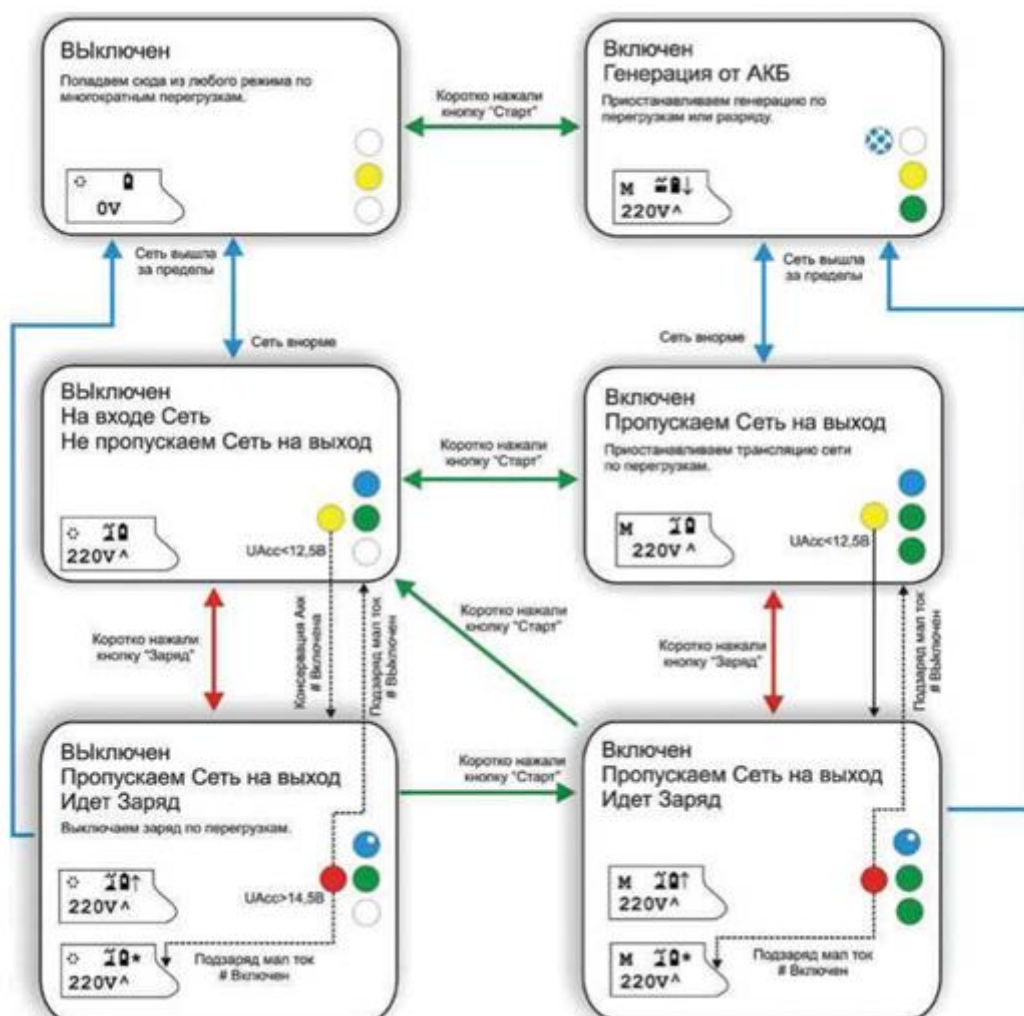


Рисунок 25 – Основные режимы и переходы между ними

ЭКО режимы и тарифная сеть.

Если у вас есть многотарифная сеть и/или обычная сеть с альтернативными источниками энергии, такими как солнечные батареи или ветрогенератор, то у МАП есть режимы, позволяющие уменьшить расход электроэнергии от сети.

Если МАП подключен к сети, то он ее всегда транслирует на выход. Если при этом у вас есть дополнительные устройства заряда АКБ от

альтернативных источников, то после полного заряда АКБ альтернативные источники будут работать в холостую. Можно, конечно, отключить в этот момент сеть, но это не всегда возможно и не удобно.

Для решения этой проблемы МАП может сам отключить потребление от сети в зависимости от напряжения на АКБ, позволяя использовать энергию альтернативных источников по максимуму.

Режим принудительной генерации ЭКО.

В этом режиме сеть не будет транслироваться, а МАП перейдет на генерацию («Принудительная Генерация ЭКО»), если напряжение на АКБ будет выше $I_{акбЭКО}$. Но как только напряжение упадет ниже $I_{акбЭКО}$, начнется отсчет времени 2 мин - время необходимое на то, чтобы не реагировать на временные просадки напряжения на АКБ при подключении больших мощностей (например, насос, чайник и т.д.). По истечении 2 мин МАП перейдет на трансляцию (если напряжение на АКБ останется ниже $i_{акбЭКО}$).

Далее МАП будет продолжать трансляцию, вплоть до полного заряда АКБ (от альтернативных источников) и будет выводить надпись: «ЖдемВнешПолнЗаря», после чего опять перейдет в режим генерации и цикл повторится.

Здесь необходимо иметь в виду, что после перехода в режим трансляции сети, когда напряжение упало ниже $i_{акбЭКО}$, МАП может ВКлючить режим заряда, если напряжение АКБ будет ниже $i_{акбЗар}$ в «Параметры АКБ / При Заряде» -> $I_{акб}$ Старт Заряд». Если вы желаете, чтобы АКБ заряжались максимально от альтернативных источников после перехода на трансляцию сети, то необходимо, чтобы $I_{акбЗар} < i_{акбЭКО}$.

Чем ниже значение $i_{акбЭКО}$ тем больше энергии будет «выкачиваться» из АКБ и, соответственно, более эффективно использоваться альтернативные источники, но более интенсивно расходоваться ресурс АКБ.

В режиме «ПринудГенерЭКО» режим заряда малым током (буферный) отключен, даже если Вы его выставили.

Режим «Подкачка ЭКО».

Данный режим доступен только в моделях Hybrid и DOMINATOR. Работа в данном режиме аналогична принудительной генерации. Только, вместо перехода с трансляции на генерацию от АКБ, будет осуществляться добавление («подкачка») в сеть определенной мощности. При этом МАП не отключается от входной сети. Смысл работы подкачки заключается в том, что если на выходе есть нагрузка, то МАП начинает добавлять в сеть 220/230В некоторое количество мощности, что уменьшает отбор мощности от сети. Но чтобы не перекачивать энергию в промышленную сеть мощность подкачки никогда не будет превышать мощность нагрузки.

Есть еще несколько отличий «подкачки ЭКО» от «принудительной генерации ЭКО». При напряжении АКБ $< I_{акб} ЭКО$ подкачка прекращается иначе подкачка возобновляется. Причем при работе с MPPT (С)мART, даже если напряжение АКБ $< I_{акб} ЭКО$, но мощность вырабатываемая альтернативными источниками больше, чем необходимо на заряд - подкачка будет продолжена, подробнее см. ниже.

Для обоих режимов: если напряжение на батарее не поднималось до напряжения полного заряда в течении 3-х дней - МАП переходит в режим ожидания полного заряда от внешнего зарядного устройства

Режим «Тариф Сеть + ЭКО».

Этот режим можно использовать в двух случаях.

Во-первых: если у Вас многотарифный счетчик электроэнергии, и Вы хотите экономить энергию сети, переходя в дневное время, в режим принудительной генерации. Режим спорный т.к. экономя энергию сети вы расходуете ресурс АКБ. Но все меняется, если используются солнечные батареи, которые обеспечат заряд АКБ в дневное время (т.е. разряд АКБ не будет сильным). При этом кроме принудительной генерации в этом случае

можно установить подкачку сети. Также может быть выгода при использовании ветрогенератора, если ветра слабые и не хватает энергии для заряда АКБ, в этом случае при выгодном ночном тарифе можно подзарядить АКБ.

Во-вторых: даже если у Вас обычная (не многотарифная) сеть, то этот режим может пригодиться при работе с такими источниками как солнечные панели. Чтобы в ночное время не отбиралась энергия от АКБ необходимо выставить время заката и рассвета. Для этого случая можно отключить обязательный заряд во время минимального тарифа (см. ниже). Для этого необходимо снять флажок с опции «Обязательный Заряд при Входе в Тарифный режим» в программе по обновлению внутреннего ПО МАП-а (MAP2Gui_.exe раздел «Монитор»), которую можно скачать на сайте <http://www.invertor.ru> в разделе техподдержка -> прошивки и паспортаМАП-а.

Работа в режиме «Подкачка ЭКО со сторонними контроллерами заряда»

Для сторонних МРРТ подкачка рассчитывается из формулы, суть которой состоит в том, что чем выше значение напряжения на АКБ, тем больше подкачка. Зависимость линейная $kx+b$, начиная с $I_{акбЭКО}$ (напряжение, ниже которого отключается подкачка) и до $I_{акб_МАХ}$ (напряжение окончания заряда). Параметр «Процент подкачки» задает значение B .

Если «Процент подкачки» равен 0, то начиная с $I_{акбЭКО}$ подкачка с 0 до максимального значения будет линейно расти.

Если задан «Процент подкачки», например, 10% в МАП мощностью 3кВт, то начиная с $I_{акбЭКО}$ подкачка будет 300Вт и далее линейно расти.

Этим параметром можно регулировать отдачу в подкачку в диапазоне $I_{акбЭКО}$... $I_{акб_МАХ}$

Работа в режиме «Подкачка ЭКО с МРРТ».

Если используется MPPT (C)mART (с которым у МАП есть полноценная связь), то алгоритм подкачки для MPPT (C)mArt следующий:

$U_{акб}$ - текущее напряжение на АКБ,

$U_{акб_BUF}$ -буферное напряжение, около которого рекомендуется поддерживать напряжение АКБ ($I_{акб}ПоддержЗаряд$), $I_{акбЭКО}$ - порог включения/выключения ЭКО режима ($ипгнпЭКО$):

Если $U_{акб} > U_{акб_BUF}$ ВКЛючается подкачка по максимуму. Т.е. максимальную мощность которую может выдать МАП при подкачке в сеть.

Если $I_{акбЭКО} < I_{акб} < U_{акб_BUF}$ - подкачка будет равна мощности выдаваемой солнечным контроллером плюс мощность, установленная в пункте «Проц.ПодкачкиЭКО» (т.е. % от максимальной мощности МАП).

Для этих двух условий (А и Б) есть исключение. Если контроллер в течении 3-х дней полностью не зарядил АКБ, то запускается полный цикл заряда АКБ от солнечного контроллера. В этом случае подкачка будет ограничена током, выдаваемым солнечным контроллером за минусом текущего тока заряда АКБ.

Если $I_{акб} < I_{акбЭКО}$ - подкачка будет равна току выдаваемым солнечным контроллером за минусом тока заряда АКБ.

Работа в режиме «Продажа в сеть»

Данный режим доступен только моделях Hybrid и DOMINATOR. Этот режим практически совпадает с режимом «Подкачка ЭКО» и поэтому соблюдаются все вышеописанные алгоритмы для сторонних или MPPT (C)mART. Отличие заключается лишь в том, что если нагрузка меньше максимальной мощности подкачки, которую может выдать МАП, то все излишки МАП отдает («продает») в сеть. В «обычной подкачке» мощность была ограничена нагрузкой, не смотря на то, что МАП мог бы подкачать и больше.

К сожалению, на территории РФ для физических лиц на данный момент нет возможности продавать излишки электроэнергии в общую сеть.

Стандартные цифровые счетчики электроэнергии ПЛЮСУЮТ эту энергию в Ваш счет и «продажа» идет в убыток.

Поэтому в стандартном режиме эта опция заблокирована. Разблокировать ее можно отметив опцию «Разблокировать Продажу в Сеть» в программе по обновлению внутреннего ПО МАПа (MAP2Gui_.exe раздел «Монитор»), которую можно скачать на сайте <http://www.invertor.ru> в разделе «техподдержка» -> «прошивки и паспорта». После этого в меню МАП «РежимПодкачкиЭКО» появится опция «Продажа в Сеть», которую можно будет выбрать

Подведем итог.

Какой режим (если модель имеет возможность выбора) и параметры, при работе с альтернативными источниками, лучше выбирать?

Для начала необходимо отметить, что как сказано в последнем примечании, режимы ЭКО используют АКБ в ЭКО режимах. Хорошо, если альтернативной энергии много, но иногда пасмурно или включилась нагрузка превышающая мощность альтернативного источника. В этом случае не всегда выгодно ограничивать энергию отдаваемую в нагрузку. Можно потратить энергию от АКБ, предполагая, что когда нагрузка снимется или выйдет солнце, мы подзарядим АКБ. В противном случае, АКБ будет всегда заряженным, и когда выйдет солнце, а нагрузки не будет, эту энергию некуда будет девать.

Параметр, регулирующий глубину этого разряда является $U_{\text{акбЭКО}}$. Для АКБ с малым ресурсом циклов заряд-разряд — это напряжение необходимо ставить ближе (но меньше) к $U_{\text{акб_BUF}}$, с повышенным ресурсом этот параметр можно ставить дальше от $U_{\text{акб_B11E}}$.

Есть еще общее правило на выбор $U_{\text{акбЭКО}}$, но само значение необходимо выяснить опытным путем. Чем больше вырабатываемая альтернативная энергия (в среднем) превышает потребление (в среднем), тем ниже можно ставить значение $U_{\text{акбЭКО}}$, а в режиме подкачки «процент

подкачки» ставить больше. Если же вырабатываемая альтернативная энергия ниже потребления, то $U_{\text{акбЭКО}}$ необходимо ставить ближе к $U_{\text{акб_БУФ}}$ и использовать только режим подкачки сети, с малым «процентом подкачки».

Кроме того не стоит забывать, что если используется альтернативная энергия только от солнечных панелей, то в ночное время альтернативная энергия поступать не будет. В этом случае, чтобы исключить ночной разряд (например, холодильник, отопление и.т.д.), особенно при низком $U_{\text{акбЭКО}}$ и большом «проценте подкачки», желательно использовать тарифный режим см. выше.

Принудительная генерация

Принудительная генерация, например, может пригодится, если используется сетевой инвертор см. соответствующий раздел. Кроме того его выгоднее использовать со сторонними контроллерами MPPT, где нет полноценной связи с МАП. В любом случае, слабым моментом этого режима является переход на ожидание внешнего заряда, если напряжение ушло ниже $U_{\text{акбЭКО}}$. В этом случае энергия альтернативных источников будет расходоваться только на заряд, причем ограничена током заряда. Поэтому использование этого режима, будет эффективным в том случае, если энергии от альтернативных источников хватает для поддержания напряжения АКБ выше $U_{\text{акбЭКО}}$ в течении всего дня, если используется тарифный режим, или в течении суток, в противном случае. Т.е. снижение напряжения ниже $U_{\text{акбЭКО}}$ происходит редко.

Отсюда видно, что в режиме принудительной генерации выгодно ставить $U_{\text{акбЭКО}}$ как можно ниже. Но тогда придется выбирать дорогие АКБ с большим количеством циклов заряд-разряд или чаще их менять. Например, если Вы используете LiFePO4 АКБ, то режим принудительной генерации может быть разумным выбором.

К минусам данного режима необходимо отнести достаточно частое переключение (если не выполнено условие эффективности) с сети на

генерацию и обратно и как следствие уменьшение долговечности работы переключающих Реле, особенно на больших нагрузках.

Подкачка сети

Подкачка при совместной работе с нашим солнечным контроллером КЭС MPPT (C)mART пожалуй является наиболее эффективным режимом. Т.к. энергия альтернативных источников всегда используется по максимуму. При этом выбор напряжения иакбЭКО уже не так критично и зависит только от ресурса АКБ который Вы используете. Т.е. в отличии от принудительной генерации, Вы можете использовать АКБ и с меньшим ресурсом. Конечно, в этом случае эффективность задействования альтернативной энергии уменьшится, но у Вас есть выбор.

Подкачка для сторонних MPPT, выгодна, если нет возможности обеспечить те условия, которые описаны выше для выбора принудительной генерации. Например, Вы используете обычные кислотные АКБ и/или энергия альтернативных источников не обеспечивает в нужном объеме расход от нагрузки.

В отличии от принудительной генерации, подкачка осуществляется только когда есть энергия от альтернативных источников. Поэтому, чтобы максимально отдать энергию в нагрузку, есть еще параметр «процент подкачки». Тогда даже в отсутствии альтернативной энергии, подкачка будет поступать в нагрузку за счет АКБ. Этот параметр больше зависит от нагрузки. Если она постоянная или частая, то «процент подкачки» не стоит делать большим, иначе напряжение на АКБ всегда будет рядом с иакбЭКО. И наоборот, при редкой нагрузке необходимо всю энергию отдать в нее, и поэтому, если в этот момент альтернативной энергии не хватает, необходимо забрать ее с АКБ, установив большой «процент подкачки».

К минусам данного режима необходимо отнести, что подкачка работает с точностью в 20 - 100Вт (зависит от модели), т.е. от сети в нагрузку всегда будет забираться эта мощность.

Подключение к бензогенератору и САП.

При использовании МАП совместно с бензиновым генератором (или дизельным или газовым генератором) выход 220/230В последнего присоединяется с помощью кабеля к разъему для подключения к сети 220/230В на входе МАП. Для модели DOMINATOR подключение возможно на отдельный «вход 2» (см. в соответствующем разделе описания).

Трехфазный комплекс МАП.

Трёхфазный комплекс включает в себя три прибора одинаковой мощности типа МАП DOMINATOR (или МАП HYBRID оснащенных дополнительными модулями синхронизации). Комплекс подключается к единому массиву АКБ. Способ подключения к АКБ и настройка ёмкости АКБ не отличается от настройки в обычном исполнении - на каждом приборе прописывается ёмкость всего массива АКБ.

Для настройки системы необходимо в меню «Генерация МАП» войти в подкаталог «Синхронизация МАП» и установить на одном МАП «Ведущий/Фаза 1», а на остальных приборах выставить «Фаза2» и «Фаза3», они будут «Ведомыми фазами», не путать с ВЕДОМЫМИ в параллельном подключении МАП. После того как введены необходимые параметры и определены приборы по фазам, необходимо соединить приборы для их синхронизации. Для этого на задней панели прибора находятся разъёмы RJ-12 промаркированные как «X1» и «X2». Проводами с соответствующими разъёмами соединяем МАП-ы, выход X1 одного МАП со входом X2 другого МАП (рисунок 26).



Рисунок 26 – Схема соединений МАП

После того как подключили АКБ и провода синхронизации приборов, производим первое Включение без нагрузки. ВКЛючаем сначала тумблер питания низковольтной платы на всех трёх приборах последовательно. При Включении тумблера могут возникнуть короткие звуковые сигналы, после Включения всех трёх МАП, через несколько секунд сигнал должен исчезнуть, что означает, что все три прибора синхронизировались, иначе есть ошибка при подключении или неправильно выставлены параметры в меню приборов. Потом, только на приборе, который определён как «Ведущий Ф1», нажмите кнопку «Старт» коротко, остальные приборы ВКЛючатся автоматически. Кнопка «Старт» коротко на приборах «Фаза2» и «Фаза3» работать на ВКЛючение/ВЫКлючение не будет. Проверьте работу приборов в режиме генерации, потом отключите приборы (сначала кнопка «Старт» коротко, потом тумблер питания низковольтной платы).

Подключение к сети 380/400В

Перед подключением сети 380/400В убедитесь, что все тумблеры и автоматические выключатели находятся в Выключенном положении, убедитесь в отсутствии напряжения в подключаемых сетевых проводах (вводной автомат в распределительном щите должен быть ВЫКлючен).

Для подключения сети 380/400В рекомендуем использовать клеммник соответствующей мощности, для того чтобы на каждый прибор шёл свой трёхжильный кабель. Вариант подключения клеммника представлен на рисунке ниже, клеммник может быть убран в клеммную коробку или находиться в распределительном щите

Необходимо ВКЛючить тумблер питания (пока НЕ нажимать кнопку «Старт»). Затем необходимо ВКЛючить автоматический выключатель подачи сети 220/230В на каждом приборе. Первым ВКЛючаем автоматический выключатель, расположенный на МАП который определён как «Ведущий Фаза1», затем «Фаза2» и «Фаза3» (см. рисунок 27).

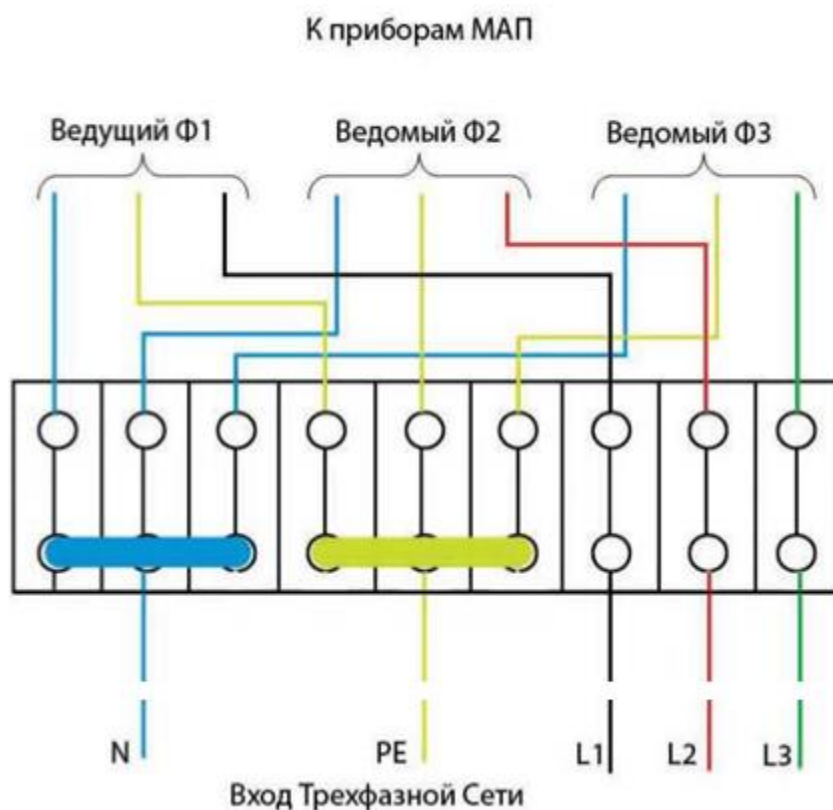


Рисунок 27– Схема подключения к трехфазной сети

Если после Включения автоматического выключателя на приборе «Фаза2» раздаются короткие звуковые сигналы, то отключаем вводной автомат 380/400В, Выключаем приборы. Далее, необходимо на клеммной колодке поменять местами фазы «L2» и «L3» входящей сети 380/400В, после этого повторить процедуру включения - звуковые сигналы должны исчезнуть. В этом случае будут правильно расставлены входные сетевые фазы для их дальнейшей синхронизации.

Другой вариант - переставить нумерацию фаз в меню, а именно поменять местами в настройках «Фаза2» и «Фаза3» у ведомых МАП.

После согласования входных фаз с нумерацией фаз в МАП можно ВКлючать генерацию кнопкой «Старт» коротко и при наличии внешней сети 380/400В. Так же для этой системы желательно сделать «зануление», если

схема промышленной сети позволяет (соединение входного нуля с собственной землёй на объекте) - см. «Подробная схема подключения МАП».

Функционал трехфазного комплекса МАП.

Благодаря синхронизации трёх приборов комплекс может обеспечивать бесперебойность работы по трём фазам, при этом он даёт возможность подключать трёхфазные нагрузки. Как писалось выше, приборы подключаются к одному массиву АКБ, их заряд ведётся и регулируется всеми приборами в зависимости от установленной ёмкости и алгоритма заряда.

В случае пропадания напряжения на одной из фаз, прибор, на котором пропало внешнее напряжение, перейдёт на генерацию от АКБ, два других продолжат транслировать сеть. Система не перейдёт полностью на генерацию от АКБ даже в том случае, если пропадёт сеть по двум фазам, т.е. прибор(-ы), на котором(-ых) сохранится сеть, будет(-ут) транслировать эту сеть и попутно заряжать массив АКБ. Зарубежные аналоги переходят на генерацию от АКБ по всем фазам, если питание пропало на приборе, который определён как «Ведущий». В нашем комплексе, даже если питание пропадет, в том числе и на «Ведущем» приборе, на оставшихся приборах будет продолжена трансляция и заряд массива АКБ, если это нужно, а на генерацию перейдут только те приборы, на которых пропадёт внешнее напряжение. Такой режим работы позволит максимально продлить время работы системы в режиме генерации от АКБ, т.к. заряд массива АКБ будет продолжен даже одним прибором

Необходимо отметить, что зарядный ток, при работе от сети всех трех фаз, равномерно распределен по фазам МАП, т.е. $1/3$ на каждую. В случае отсутствия одной фазы сети два других МАП (у которых есть сеть на входе) заряжают по $1/2$ необходимого тока. И если остался на сети один прибор он дает полный зарядный ток. При этом если есть нагрузка на фазах МАП, отключенных от сети, на оставшихся фазах МАП (на которых сеть не

пропала) зарядный ток добавляется, чтобы скомпенсировать эту нагрузку (насколько это возможно). Например, для АКБ емкостью 400 А-ч x 24В нужен зарядный ток 40 А (т.е. по 13 А от каждого МАП), в случае пропадания одной из фаз сети, две остальные будут заряжать по 20А. Если максимальный ток заряда у прибора 75А, то оставшиеся $(75-20)^2=110А$ позволят скомпенсировать нагрузку до $110А \times 24В = 2,64$ кВт и лишь большая нагрузка уменьшит ток заряда, а нагрузка более $75А \times 2 \times 24В = 3,6$ кВт, начнет разряжать АКБ, не смотря на заряд от других фаз.

В последнем случае, когда напряжение на АКБ упадет ниже 11 В, МАП-ы на обесточенных фазах ВЫключат генерацию, оставшийся/оставшиеся продолжит/продолжат заряд и по достижению ином МАП-ы на обесточенных фазах возобновят генерацию.

Также стоит заметить, что прибор каждой фазы имеет ограничение на зарядный ток, и при выставлении полной емкости АКБ, на экране ЖКИ может отобразиться ограничение заряда. Но т.к. массив АКБ единый, то полный зарядный ток со всех трех фаз может обеспечить необходимый ток заряда.

Для примера есть массив АКБ емкостью 1500А-ч необходим ток заряда 150А. МАП 4,5кВт 24В имеет ограничение заряда 75А и конечно не обеспечит нужный зарядный ток, но в трехфазном соединении каждый МАП будет заряжать по 50А. Если одна из фаз отключится, то два оставшихся МАП также обеспечат нужный зарядный ток $2 \times 75А$. И только, если на одном МАП останется фаза, то заряд будет длиться в два раза дольше (конечно в отсутствии нагрузок по обесточенным фазам).

Переход на заряд определяется ведущим, и только в случае отсутствия входного напряжения на нем, инициатива передается МАП-у на следующей фазе. Аналогично именно ведущий МАП определяет вход/выход в ЭКО режимы (если они установлены). Работоспособность системы сохраняется и в

случае полного пропадания сети по всем трём фазам, тогда все три прибора перейдут на генерацию.

Трехфазная параллельная работа.

Если необходимо нарастить мощность трехфазной сети, то нужно соединить приборы в соответствии со схемой на рисунке 28, в качестве примера приведена схема из 9 приборов (3 прибора на фазу). Если необходимо нарастить до 30 приборов, то добавляются ведомые на каждой фазе по аналогии с рисунком 26.

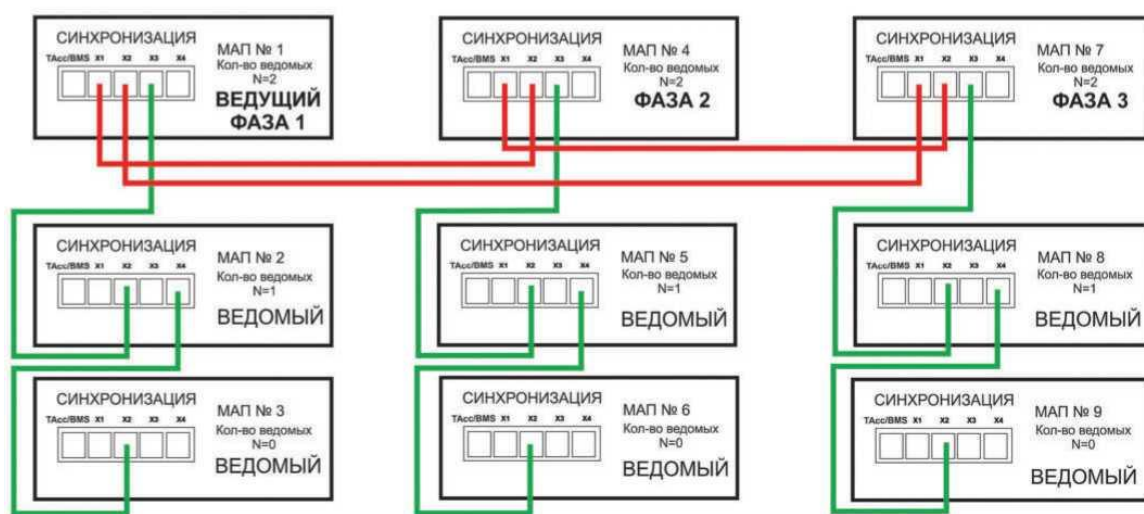


Рисунок 28 – Схема синхронизации в трехфазной сети, пример на 9 приборов

Далее необходимо правильно выставить фазы у главных приборов (на рисунке 28 они верхние соединенные красным цветом) в соответствии с описанием. Выставить у них в меню количество ведомых, у всех ведомых указать, что они ведомые, для этого зайти в меню МАПа, выбрать пункт меню «Генерация МАП». Выбрать подменю: «Синхронизация МАП».

Соответственно выставить функцию прибора: ВЕДУЩИЙ/Фаза 1 (соответственно для других фаз: Фаза 2и Фаза 3) или ВЕДОМЫЙ

Установить кол-во ведомых приборов: в меню «Б/Диз.ГенерУВМБ МРРТ» -> «Кол-во Ведом. МАП» (устанавливается у каждого фазного прибора полное кол-во ВЕДОМЫХ, у ведомых приборов 1, у последнего в цепочке ведомого 0).

Идеология, архитектура и базовая функциональность.

В системе присутствуют сервисы чтения/записи данных с/на МАП, чтения данных контроллера МРРТ, батарейного монитора, СМС. Принцип построения - модульный. Архитектура трехуровневая: сбор данных, хранение, отображение.

Система предусматривает подключение по последовательному порту (либо с помощью встроенного в МАП или контроллер МРРТ адаптера, либо с помощью отдельного адаптера USB-RS232) одного МАП (один USBпорт миниПК), либо одного контроллера (второй USBпорт миниПК), либо двух этих устройств одновременно. Также предусмотрено использование внешнего GSM модема для настраиваемых СМС уведомлений и управления (третий USBпорт миниПК). Четвертый USBпорт миниПК занят USB-накопителем, на который установлена вся система и ведется база данных с параметрами системы.

Функции.

Мониторинг и управление МАП.

Мониторинг МРРТ (МРРТ должен быть подключен к миниПК отдельным кабелем). Включая модель МРРТ для ветрогенератора, с датчиком оборотов.

Получение, учет и отображение суммарных токов от всех МРРТ, подключенных к МАП по шине РС.

Настраиваемые СМС уведомления и СМС управление МАПом с доверенных номеров.

Модульный веб-интерфейс. Будут отображаться только элементы, отражающие реально включенные устройства.

Визуально адаптированный интерфейс с подсказками. По цвету иконок возможно быстро оценить состояние работы системы. Фактически - применен подход промышленных интерфейсов, адаптированных на быстрое восприятие оператором

Мониторинг батарейных систем LiFeP04 с BMS ООО «МикроАрт», в т.ч. по ячеечно.

Построение практически любых графиков в реальном времени, живых и растровых графиков по накопленной истории, а также мульти-графиков (несколько параметров одновременно)

Полная информация о МАП для возможности отправки в службу поддержки

Максимально гибкая конфигурация системы через веб-интерфейс, в т.ч. просмотр syslog Все настройки системы и МАП в отдельной области, защищенной логином/паролем

Функция батарейного монитора. Отдельное описание в файле battery_monitor.rtf (на USB накопителе)

Учитывает реальный расход ампер-часов с батареи

Учитывает расход батареи в %, в зависимости от токов разряда

Позволяет самостоятельно выполнять КТЦ (контрольно-тренировочные циклы)

Измеряет емкость АКБ по алгоритму с использованием таблицы Напряжения Разомкнутой Цепи

Имеется возможность отключения генерации 220/230В инвертором МАП при падении ёмкости АКБ до заданного уровня, т.е. при определенном % глубины разряда. Например, если вы видите 20%, то это значит, что DOD (глубина разряда) составила 80%. Если DOD либо потребленные ампер-часы превысили настройку, то посылается команда МАП - ВЫКл и МАП прекращает генерацию.

Работа с базой данных (восстановление / резервное копирование / очистка)

Удаленное Выключение, либо любые команды *nix серверам в зависимости от данных батарейного монитора. Например, Выключение определенных серверов при уровне глубины разряда DOD 80%. Отдельное описание в файле servers_off.rtf.

Мониторинг в реальном времени через веб-интерфейс работы основных сервисов: МАП, MPPT, батарейного монитора, СМС, MySQL, с возможностью остановки/запуска

Устойчивость к ошибкам в каналах связи

Интерфейс написан практически без применения растровой графики, что позволяет ему очень быстро загружаться даже на «тонких» каналах связи

E-mail уведомления

Функция мастер-узла, позволяющая создавать и отслеживать распределенную систему инверторов и контроллеров с общими батарейными блоками

Вы используете RaspberryPi 3, его, как и любой другой компьютер, рекомендуется ВЫключать/перезагружать штатным образом. Через меню СИСТЕМА -> СЕРВИСЫ.

Сам RaspberryPi 3 при работе использует минимум ресурсов. Средняя загрузка процессора - не более 3%

Дополнительные сведения необходимые для мониторинга.

На порту 10 000 доступен упрощенный интерфейс администратора WEBMIN, т.е. http://your_IP:10000. С помощью которого вы можете установить необходимые IP-адрес и корректное время. Логин/пароль по умолчанию: admin/microart.

Также возможно установить GSM модем и выполнить настройку оповещения и управления через СМС команды. Модем должен быть предварительно переведен в режим "только модем". Для подключения,

учитывая габариты 3G модема, вам может понадобиться USB 2.0 совместимый удлинитель. GSM модем подключается в любой свободный USB-порт миниПК. Некачественный шнур может привести к сбоям и проблемам в работе. Поскольку многие современные модемы 4G сложно переводятся или не переводятся вовсе в режим «только модем», рекомендуем перед покупкой убедиться в такой возможности.

При наличии двух устройств (МАП и МРРТ) примерный прирост размера базы данных - около 4-5 ГБ в год. Раздел БД на USB-накопителе - около 10ГБ. Текущий размер базы можно посмотреть в разделе «СИСТЕМА» - «РАБОТА С БД». При достижении базой данных большого объема, вы можете либо очистить таблицы с помощью кнопки «очистить таблицы» и вести БД заново, либо сохранить БД на другой носитель, либо просто «нарезать» образ системы на новый носитель, а старый с БД положить на полку на сохранение.

В случае трехфазных систем или нескольких запараллеленных МАП DOMINATOR, рекомендуем воспользоваться функцией МАСТЕР УЗЕЛ, где можно настроить вывод на один экран показаний нескольких устройств. Вы можете настроить систему, отключить ее от сети или ПК, и она будет сохранять все данные о состоянии вашей сети и устройств на USB-накопитель. В последующем, подключив систему к сети или ПК, вы можете просмотреть необходимые данные с помощью меню ИСТОРИЯ.

При соответствующем подключении устройства к сети Internet мониторинг/управление можно осуществлять с любого устройства, подключенного к Internet. Краткую инструкцию по подключению ПАК «Малина» к Internet можно посмотреть на сайте <http://invertor.ru/monitoring.html>.

Система по умолчанию не позволяет дистанционно Выключать МАП и редактировать критически важные параметры, если все-таки вам это нужно, необходимо отредактировать файл monitor.ini с помощью ПК перед его

установкой в МАП. Также корректировкой параметров в файле monitor.ini можно установить язык интерфейса, способ получения IP-адреса, глубину парольной защиты и т.д. (рисунок 29)

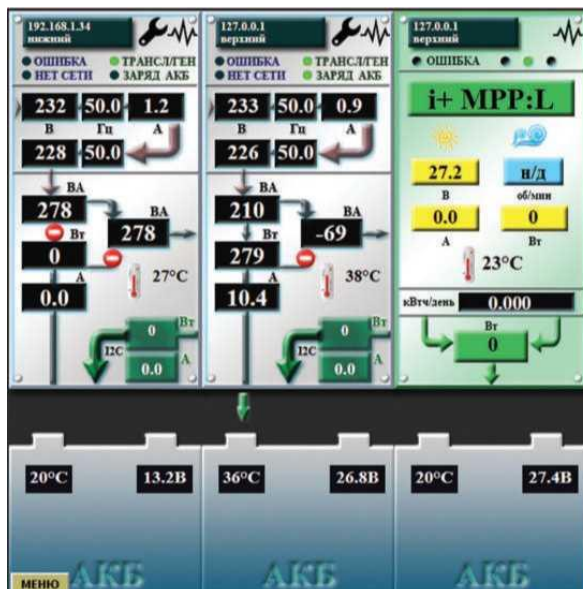


Рисунок 29 – Интерфейс программы

Система имеет абсолютно понятный и логичный интерфейс, необходимые подсказки и не вызывает никаких трудностей при эксплуатации, подробные описание всех возможностей и необходимые программы вы можете найти в файлах описаний, установив USB-накопитель в ПК

Выводы по разделу

Для проектируемой гибридной станции я выбрал «классическую» компоновку, включающую ветрогенератор, солнечные панели, контроллер, аккумулятор и инвертор, преобразующий 48В в переменные 220В. Оптимальные углы наклона солнечных модулей, составляют 40° летом и 70° зимой.

3 Экономическое обоснование построения интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства

В экономической части определим себестоимость электрической энергии, производимой гибридной электростанцией. Стоимость основных компонентов сведена в таблицу 10.

Таблица 10 – Стоимость основных компонентов гибридной электростанции

Наименование компонента	Количество, шт	Цена, руб	Стоимость, руб
Солнечная батарея Sunway SW500	520	6500	3380000
Ветрогенератор мощностью 50 кВт от фирмы Condor Air 50	5	2800000	14000000
Аккумулятор LITEN POWER LT 48-400	40	330800	13232000
МАП DOMINATOR 48В 20кВт 3-х фазный (60 кВт)	5	635000	3175000
Дизель-электрическая установка Д-246.1	1	310000	310000
Итого			34097000

Годовой расход электроэнергии определяем по формуле (33) [31]

$$P_{\text{год}} = E_{\text{СУТ}} \cdot D_{\text{год}}, \quad (33)$$

где $E_{\text{СУТ}} = 502$ кВт - общее среднесуточное потребление;

$D_{\text{год}} = 365$ дней – количество дней в 2021 году.

$$P_{\text{год}} = 502 \cdot 365 = 183230 \text{ кВт}$$

Модели закупаемого оборудования его стоимость определена ранее в п.п 2.4.

Затраты на фотоэлектрическую станцию определяются по формуле (34)

$$Z_{\text{ФТС}} = (Z_{\text{СМ}} + Z_{\text{АК}} + Z_{\text{ИНВ}} + Z_{\text{КОНТР}} + Z_{\text{СМР}} + Z_{\text{ПРОВ}}) + Z_{\text{ТР}} + Z_{\text{ОБСЛ}} + Z_{\text{ПРОЧ}} \quad (34)$$

где $Z_{\text{СМ}}$ – затраты на солнечные модули. Стоимость солнечной батареи 160 Вт ФСМ-160П составляет 6917 руб;

$Z_{\text{АК}}$ – затраты на аккумуляторы. Стоимость аккумулятора Haze HZY 12-200 составляет 33801 руб;

$Z_{\text{ИНВ}}$ – затраты на инвертор. Стоимость инвертора МАП SIN «Энергия» Pro составляет 23000 руб;

$Z_{\text{КОНТР}}$ – затраты на контроллер. Стоимость контроллера Blue Solar MPPT от компании Victron Energy составляет 47900 руб;

$Z_{\text{СМР}}$ – затраты на строительно-монтажные работы (35)

$$Z_{\text{СМР}} = (Z_{\text{СМ}} + Z_{\text{АК}} + Z_{\text{ИНВ}} + Z_{\text{КОНТР}}) \cdot 0,1 \quad (35)$$

$$Z_{\text{СМР}} = (6917 + 33801 + 23000 + 47900) \cdot 0,1 = 11162 \text{ руб}$$

$Z_{\text{ПРОВ}}$ – затраты на проводку, складываются из стоимости провода и стоимости его монтажа и укладки (36)

$$Z_{\text{ПРОВ}} = Z_{\text{СТ.ПРОВ}} + Z_{\text{СТ.ПРОВ}} \cdot 0,1 \quad (36)$$

где $Z_{\text{СТ.ПРОВ}}$ – стоимость провода.

Для соединения солнечных панелей с контроллером необходимо примерно 20 м. специального кабеля для солнечных панелей марки PV1-F сечением 4 мм².

Стоимость провода PV1-F 102 руб. за 1 м. Для соединения контроллера, инвертора и распределительного щитка потребуется около 10 м трехжильного кабеля пониженной горючести марки ВВГнг 3х4,0 стоимостью 54 руб за 1 м.

$$Z_{\text{ПРОВ}} = (20 \cdot 102 + 10 \cdot 54) + (20 \cdot 102 + 10 \cdot 54) \cdot 0,1 = 2838 \text{ руб}$$

Затраты на текущий ремонт $Z_{\text{ТР}}$ (37)

$$Z_{\text{ТР}} = 0,012 \cdot (Z_{\text{СМ}} + Z_{\text{АК}} + Z_{\text{ИНВ}} + Z_{\text{КОНТР}} + Z_{\text{СМР}} + Z_{\text{ПРОВ}}) \quad (37)$$

$$Z_{\text{ТР}} = 0,012 \cdot (6917 + 33801 + 23000 + 47900 + 11162 + 2838) =$$

$$= 1507 \text{ руб}$$

Затраты на обслуживание $Z_{\text{ОБСЛ}}$. Обслуживанием проектируемой станции занимается 1 чел, приходящий 1 раз в 2 месяца. Вызов специалиста стоит 1500 руб. или 750 руб в месяц или 9000 руб в год;

Прочие затраты $Z_{\text{ПРОЧ}}$, определяемые по формуле (38)

$$Z_{\text{ПРОЧ}} = 0,1 \cdot (Z_{\text{а.о}} + Z_{\text{обсл}} + Z_{\text{т.р}}) \quad (38)$$

где $Z_{\text{а.о}}$ – общие затраты на обслуживание (39)

$$Z_{\text{а.о}} = 0,08 \cdot (Z_{\text{СМ}} + Z_{\text{АК}} + Z_{\text{ИНВ}} + Z_{\text{КОНТР}} + Z_{\text{СМР}} + Z_{\text{ПРОВ}}) \quad (39)$$

$$Z_{\text{а.о}} = 0,08 \cdot (6917 + 33801 + 23000 + 47900 + 11162 + 2838) =$$

$$= 10049 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{ПРОЧ}} = 0,1 \cdot (10049 + 9000 + 1507) = 2056 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{ФТС}} = 6917 + 33801 + 23000 + 47900 + 11162 + 2838 + 1507 + 9000 + \\ + 2056 = 138181 \text{ руб}$$

Себестоимость 1 кВт электрической энергии вырабатываемой проектируемой гибридной электростанцией составляет (40)

$$S_{\text{СЭ}} = \frac{Z_{\text{а.о}} + Z_{\text{обсл}} + Z_{\text{т.р}} + Z_{\text{проч}}}{\text{Э}_{\text{год}}} \quad (40)$$

$$S_{\text{СЭ}} = \frac{10049 + 9000 + 1507 + 2056}{527,4} = 128 \text{ руб/кВт}$$

Выводы по разделу

По результатам расчета общую стоимость материалов на создание гибридной электростанции 34097000 руб . Себестоимость 1 кВт электрической энергии вырабатываемой проектируемой станцией составило 128 руб/кВт. Срок окупаемости более 10 лет.

Заключение

В данной магистерской работе проведено исследование по теме «Разработка предложений по построению интеллектуальной системы электроснабжения фермерского хозяйства».

Анализ информационных источников показал, что в настоящее время использование возобновляемых элементов энергии в обстановке фермерских хозяйств практически отсутствует. Эти сельскохозяйственные предприятия вынуждены использовать наиболее распространенные способы получения электрической энергии. Использование лучистой энергии для повышения температуры воды имеет простейший вид, т.е. используются самодельные емкости, окрашенные в черный цвет. Также нередко отсутствует использование холодильников и морозильных камер для хранения производимой продукции или для охлаждения молока. Не используется у фермеров и парниковое хозяйство из-за низкой степени применения возобновляемых источников получения электричества. А при пастбищном содержании крупного рогатого скота, жизнедеятельность фермерских предприятий может протекать без какого-либо энергоснабжения, при этом использование технологических машин для ускорения выполнения технологических процессов невозможно. Поэтому развитие альтернативных технологий получения электроэнергии имеет большое значение для фермерских хозяйств.

Для проектируемой гибридной станции выбрана «классическая» компоновку, включающая ветрогенератор, солнечные панели, дизель-электрическую установку, аккумуляторный энергоблок, контроллер, инвертор, преобразующий 48В в переменные 220В.

Среднесуточное потребление рассматриваемого фермерского хозяйства, согласно расчетам, составило $E_{\text{СУТ}} = 260$ кВт.

При разработке структурной схемы и выборе компонентов гибридной электростанции применили собственные данные об электрических нагрузках и данные информационных источников о солнечной и ветряной обстановки в центрально-европейской части России:

- мощность гибридной электростанции 520 кВт/сутки;
- среднегодовая скорость ветра от 3,4 до 4,9 м/с, что соответствует ветряному потенциалу от 45,99 до 92,68 Вт/м²;
- показатель солнечной активности – поток солнечной энергии в солнечный день составляет 700 Вт/м²;
- среднесуточное время освещения солнечного элемента 8 часов.

Приняли мощность потребления для ветрогенератора в 260 кВт, мощность потребления фотоэлементов также в 260 кВт.

Выбрано следующее оборудование:

- солнечная батарея Sunway SW500 – 520 штук
- ветрогенератор мощностью 50 кВт от фирмы Condor Air 50 – 5 шт
- аккумулятор LITEN POWER LT 48-400 – 40 шт
- МАП DOMINATOR 48В 20кВт 3-х фазный (60 кВт) – 5 шт
- дизель-электрическая установка Д-246.1 – 1 шт.

Для управления работой инвертора в составе гибридной электростанции бесплатно предоставляется ПО, доступное на сайте www.invertot.ru.

По результатам расчета общую стоимость материалов на создание гибридной электростанции 34097000 руб . Себестоимость 1 кВт электрической энергии вырабатываемой проектируемой станцией составило 128 руб/кВт. Срок окупаемости более 10 лет.

Список используемых источников

1. Аккумуляторные батареи для подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Sacred Sun» URL: <http://sacred-sun.com/akb-dlya-podstantsii> (дата обращения: 10.03.2021)
2. Воротницкий В.Э. Снижение потерь электроэнергии - важнейший путь энергосбережения в электрических сетях // Энергосбережение. – 2016. – № 3. – С. 61–64.
3. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть - новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. – 2019. – №4. – С. 28–34.
4. Единая энергетическая система России [Электронный ресурс] : Официальный сайт Системного оператора единой энергетической системы URL: <https://so-ups.ru/index.php?id=ees> (дата обращения: 01.03.2021)
5. Интеллектуальные системы электроснабжения: методические указания к лабораторно-практическим занятиям / Ю.В. Мясоедов. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 82 с.
6. Как правильно выбирать солнечные элементы и модули [Электронный ресурс] : электронный ресурс «Ваш солнечный дом». URL: http://www.solarhome.ru/pv/buyer_guide/tips_select_pv.htm (дата обращения: 18.03.2021)
7. Как устроены и работают солнечные батареи [Электронный ресурс] : электронный ресурс «Elektrik Info». URL: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnye-batarei.html> (дата обращения: 18.03.2021)
8. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2016. — 208 с.
9. Козюков Д.А. Параметры и режимы работы фотоэлектрических установок для фермерских хозяйств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2017 г. URL:

https://www.susu.ru/sites/default/files/dissertation/011_text_diss_22.pdf (режим доступа: 09.03.2021)

10. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ZPUE» URL: <https://zpue.com/ru/konteynernaya-transformatornaya-podstantsiya/podstantsiya-dlya-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/primernoje-resheniye> (дата обращения: 12.03.2021)

11. Концепция использования ветровой энергии в России. Под редакцией д.т.н. Безруких П.П.– М.: "Книга - Пента", 2015. – 128 с.

12. Лукутин Б.В. Интеллектуальные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Б.В.Лукутин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019.

13. Мавлоназаров М.А., Ошурбеков О.Ш. Особенности интеллектуальных систем электроснабжения фермерских хозяйств // Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты: сборник статей Международной научно–практической конференции (Казань, 7 апреля 2021г.). – Казань: КГЭУ, 2021. – 87-90 С.

14. Мавлоназаров М.А., Ошурбеков О.Ш. Автономные системы электроснабжения для фермерских хозяйств // Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты: сборник статей Международной научно–практической конференции (Казань, 7 апреля 2021г.). – Казань: КГЭУ, 2021. – 91-93 С.

15. Мелких А.А., Микова С.Ю., Оладько В.С. Исследование проблемы информационной безопасности АСКУЭ // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2016. № 6 (27). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3307> (дата обращения: 18.03.2021)

16. Мартянов А.С. Исследование алгоритмов управления и разработка контроллера ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2016 г. URL: https://www.susu.ru/sites/default/files/dissertation/03_text_diss_9.pdf (дата обращения: 09.03.2021)

17. Новое в электроэнергетике – мировые тренды [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Экспоцентр» URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/ui/17095/> (дата обращения: 01.02.2021)

18. Отраслевая энергетическая наука [Электронный ресурс] : Информационный сайт НП «Энергоэффективный город» URL: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=619 (дата обращения: 01.03.2021)

19. Оборудование трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Школа для электрика» URL: <http://electricalschool.info/elstipod/1663-oborudovanie-transformatornykh.html> (дата обращения: 12.03.2021)

20. Ошурбеков О.Ш., Мавлоназаров М.А. Повышение качества электроэнергии вырабатываемой альтернативными источниками энергии // Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты: сборник статей Международной научно–практической конференции (Казань, 7 апреля 2021г.). – Казань: КГЭУ, 2021. – 117-120 С.

21. Ошурбеков О.Ш., Мавлоназаров М.А. Особенности моделирования гибридных электростанций // Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты: сборник статей Международной научно–практической конференции (Казань, 7 апреля 2021г.). – Казань: КГЭУ, 2021. – 121-124 С.

22. Подземные трансформаторные подстанции и их оборудование [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Горная энциклопедия» URL: http://alyos.ru/enciklopediya/gornaya_tlektrotehnika/podzemnie_

transformatornie_podstancii_i_ih_oborudovanie_obshie_svedeniya.html (дата обращения: 13.03.2021)

23. Понижающие подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Большая Энциклопедия Нефти и Газа» URL: <https://www.ngpedia.ru/id275920p1.html> (дата обращения: 02.03.2021)

24. Пресс-релиз «Потребление электроэнергии в ЕЭС России в 2019 году увеличилось на 0,4% по сравнению с 2018 годом» [Электронный ресурс] : Официальный сайт системного оператора единой энергетической системы СО ЕЭС. URL: [http://www.so-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews\[tt_news\]=15515&cHash.](http://www.so-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews[tt_news]=15515&cHash.) (дата обращения: 14.03.2021)

25. Промышленные солнечные электростанции [Электронный ресурс] : электронный ресурс «Rentechno». URL: <https://rentechno.ua/solar/utility-scale.html> (дата обращения: 18.03.2021)

26. Распределительные устройства и трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Конструкция современного электротехнического оборудования» URL: <http://www.nasosinfo.ru/node/631> (дата обращения: 13.03.2021)

27. Ряды напряжений высоковольтных сетей в мире [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Энергетика, Оборудование, Документация» URL: <https://forca.ru/spravka/spravka/ryady-napryazheniy-vysokovoltnyh-setey-v-mire.html> (дата обращения: 01.03.2021)

28. Схема и конструкция трансформаторной подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «GeneratorVolt.ru» URL: <http://generatorvolt.ru/ehlektrogenerator/skhema-i-konstrukciya-transformatornoj-podstancii.html> (дата обращения: 02.02.2021)

29. Схемы солнечных электростанций [Электронный ресурс] : электронный ресурс «Всё об электростанциях». URL: http://www.gigavat.com/ses_optic2.php (дата обращения: 18.03.2021)

30. Солнечная электростанция [Электронный ресурс] : электронные данные. URL: <http://zaoavtomatika-ufa.ru/uslugi/ses-solnechnaya-elektrostanciya> (дата обращения: 18.03.2021)
31. Трансформаторная подстанция [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Neftegaz.ru» URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektrooborudovanie/141412-transformatornaya-podstantsiya/> (дата обращения: 13.03.2021)
32. Функции трансформаторной подстанции [Электронный ресурс] : Официальный сайт Подольского завода электромонтажных изделий URL: http://www.pzemi.ru/info/stati/transformatornye_podstantsii_funkcii/ (дата обращения: 10.03.2021)
33. Черкасова Н.И. Моделирование, анализ и оптимизация потерь в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск: НГТУ, 2016. 24 с.
34. Kawano F., Baber G. P., Beaumont P. G., Fakushima K., Miyoshi T., Shono T., Ookubo M., Tanaka T., Abe K., Umeda S. Intelligent protection relay system for smart grid. — Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2016), 29 March — 1 April 2016, Manchester, UK.
35. Lemos R. Hacking the Smart Grid. — Technology Review, April 05, 2016.
36. Preventing Catastrophic Impacts from Adverse Cyber-Physical Events. — CISW-SG 2017 Smart Grid Survivability Workshop, Arlington, Virginia USA, October 13–14, 2017
37. Robertson J. Security experts offer caution on Smart Grid. — Associated Press, July 31, 2019
38. Su B., Li Y. Trends of smarter protection for Smart Grid. — AESIEAP-2019, CEO Conference, 15–16 October, 2019, Taiwan.