Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра “ЭТКиС”

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Пантелеев В.И.
подпись инициалы, фамилия
« _____» _____ 2016 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

130402.68
Код – наименование направления

Анализ энергоэффективности автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии
тема

Руководитель _____ к.т.н. доцент Амузаде А.С
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Раков Д.И.
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....5

Перспективы развитие солнечной энергетики в мире.....8

Перспективы развитие солнечной энергетики в России.....9

Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения.....10

Для реализации возможностей солнечного потенциала был выбран посёлок Шадрино.....11

1. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С ВИЭ.....12

1.1 ВЫБОР ГЛАВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ СРАВНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАНИЙ.....12

1.2 ВЫБОР РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ.....15

1.3 ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....16

1.4 ВЫБОР КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ.....16

1.5 ВЫБОР ПРОВОДНИКОВ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ.....18

1.6 КОМПОНОВКА ОСНОВНОГО И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 19

1.7 РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И МОЛНИЕЗАЩИТЫ.....21

2.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....26

2.1.1 Выбор структурной схемы.....26

2.1.2 Выбор проводников линий электропередач по допустимой потере напряжения 27

2.1.3 Выбор токоведущих частей.....28

2.1.3.1 Выбор токопроводов.....29

2.1.3.2 Выбор шин на РУ (0.4 кВ).....29

2.1.3.2.1 Проверка шин на термическую стойкость.....29

2.1.3.2.2 Проверка шин на электродинамическую стойкость.....30

2.1.3.2.3 Механический расчет однополосных шин.....31

2.1.4 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения.....32

2.1.4.1 Выбор трансформаторов тока для присоединения измерительных приборов в цепи генераторов.....32

2.1.4.2 Выбор выключателей.....34
2.1.5 Расчет токов короткого замыкания.....34
2.1.5.1 Составление схемы замещения и приведение параметров элементов к базисным условиям.....34
2.2 Расчет заземляющих устройств.....41
2.3. Молниезащита технологического корпуса.....46
2.4 Выбор фотоэлектрических модулей.....47
2.4.1 Солнечная батарея YL300P-35b.....47
2.4.2 Солнечная батарея NP 200 GK.....48
2.4.3 Солнечная батарея CS6P-270MM.....49
2.4.4 Солнечная батарея TCM-270A.....50
2.4.5 Технико-экономическая оценка использования солнечных энергетических установок по методу приведенных затрат.....51
2.4.6 Выбор основного оборудования.....57
2.4.6.1 Выбор дизель-генератора.....57
2.4.6.2 Выбор инвертора.....59
2.4.7 Электрическая часть станции.....62
2.4.7.1 Составление структурной схемы.....62
2.4.7.2 Главная схема электрических соединений.....63
2.4.8 Расчет токов короткого замыкания.....64
2.4.8.1 Определение параметров схемы замещения. Составление схем замещения64
2.4.8.2 Расчёт токов короткого замыкания для точки К-1.....69
2.4.9 Выбор коммутационных аппаратов и кабелей.....72
2.4.9.1 Выбор автоматических выключателей и выключателей-.....72
2.4.9.2 Выбор кабельных линий от солнечных батарей.....75
2.4.9.3 Выбор кабельной линии от дизель-генератора.....76
2.4.9.4 Выбор кабельной линии, соединяющую инвертор и шины.....77
2.4.9.5 Выбор кабельных линий, идущих к потребителю.....77
2.4.10 Компоновка оборудования солнечной электростанции.....78
2.4.10.1 Компоновка солнечных батарей.....78

2.4.10.2 Компоновка автоматических выключателей, выключателей-разъединителей, инверторов и дизель-генераторов.....82
2.4.11 Расчет заземляющего устройства.....85
2.4.12 Расчет молниезащиты.....92
3. ЭКОНОМИКА.....94
3.1 Калькуляция себестоимости энергии на Микро ГЭС.....94
3.2 Расчет капитальных затрат для СЭС.....98
3.2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАНЦИИ.....100

ВВЕДЕНИЕ

Основными проблемами электроснабжения Сибири в целом и Красноярского края, в частности, по данным РАО ЕС являются:

- изношенность линий электропередач;

- сложность и высокая стоимость прокладки новых линий и в обеспечении качества электроснабжения, связанные со спецификой рельефа, транспортными проблемами;

- трудности в организации сервисного обслуживания, связанные с наличием большого количества малонаселенных труднодоступных районов, обслуживание которых не окупается.

На сегодняшний день количество жилых мест «без света» составляет до 18% в среднем по краю и свыше 20% в районе Нижнего Приангарья и в среднем течении р. Енисей. Такой результат объясняется тем, что, во многие места в советское время линии электропередач не успели провести, или в постперестроечный период энергоснабжение было прекращено, так как оказалось нерентабельным. Сейчас себестоимость таких мероприятий слишком высока, за счет того, что изменилась система транспортного обеспечения этих районов.

В то же время в связи с интенсивным освоением природных ресурсов, удалением населенных пунктов от централизованных источников электроснабжения в Красноярском крае сложился большой дефицит энергетических мощностей, удовлетворить который средствами большой энергетики в ряде случаев экономически и технически нецелесообразно.

С другой стороны наличие большого количества малых рек с необходимым запасом гидроресурсов позволяет достаточно экономично решать проблему электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, в особенности удаленных от линий электропередач. Эта проблема может быть решена развитием малой энергетики с использованием богатых водных ресурсов и солнечной энергии.

Из всех отраслей народного хозяйства энергетика оказывает самое большое влияние на нашу жизнь. Энергообеспечение – это основа нормального функционирования любого производства, а, следовательно, и всей человеческой цивилизации. Тепло и свет в домах, работа станков и агрегатов на производстве, транспортные потоки и сельская страда – все это заслуги энергетики. Различные технические достижения давно уже стали для нас частью жизни, однако все они возможны только при условии достаточного и доступного энергообеспечения, в том

числе за счет освоения альтернативных видов энергии, новых технологий добычи и переработки первичных энергоносителей.

Современная энергетика является топливной и более чем на 90% базируется на использовании химических топлив на основе природных горючих ископаемых: нефти, газа, угля (и продуктов их переработки), запасы которых на планете ограниченны и будут в конце концов исчерпаны.

Производство энергии из традиционных источников, учитывая все возрастающую потребность в ней, губительно сказывается на экологическом состоянии планеты. Тепловые электростанции, выделяющие в процессе работы огромные количества углекислого газа, вызывают парниковый эффект, являющийся причиной глобального потепления климата. Выбросы оксидов серы и азота достаточно велики даже при наличии дорогостоящих очистных сооружений. В соединении с атмосферной влагой, эти оксиды вызывают кислотные дожди, приводящие к гибели лесов, уменьшению рыбных запасов, снижению плодородности почвы. В кислой воде повышается растворимость тяжелых металлов и их соединений, которые могут попадать в питьевую воду. Еще более опасны и непредсказуемы атомные электростанции, выбрасывающие в атмосферу около 26 тонн радиоактивных отходов в день. Кроме этого велик риск аварий на АЭС, которые могут стать катастрофой для всего человечества. Все это вызывает справедливую тревогу экологов.

Солнечная энергетика – направление нетрадиционной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Она использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов.

Солнечную энергию с помощью различных технологий преобразуют в тепловую и электрическую энергию. Для преобразования в электрическую энергию используют фотоэлементы, в тепловую – солнечные коллекторы.

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2...3 мкм. Интенсивность солнечного излучения в свободном пространстве на расстоянии, равном среднему расстоянию между Землей и Солнцем, называется солнечной радиацией. Ее величина равна 1367 Вт/м† – Солнечная постоянная.

При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется, в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения молекулами газов и находящимися в воздухе

частицами пыли и аэрозолями. Максимальный поток солнечного излучения на уровне моря – 1020 Вт/м^2.

Но нужно учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную площадку как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение в два раз меньше. Это количество энергии с единицы площади определяет возможности солнечной энергетики. Как только Солнце начинает склоняться к горизонту, путь его лучей сквозь атмосферу значительно увеличивается, соответственно, возрастают и потери на этом пути. Однако и в средней полосе в летний полдень на каждый квадратный метр, ориентированный перпендикулярно солнечным лучам, приходится более 1 кВт солнечной энергии [6].

Даже небольшая облачность резко уменьшает энергию, достигающую поверхности, особенно в инфракрасном (тепловом) диапазоне. Тем не менее, часть энергии всё равно проникает сквозь тучи, и ежегодно с солнечной радиацией на Землю её поступает около $5 \cdot 10^{24}$ Дж [5].

Первые солнечные нагреватели появились во Франции. Естествоиспытатель Ж. Бюффон создал большое вогнутое зеркало, которое фокусировало в одной точке отраженные солнечные лучи. Это зеркало было способно в ясный день быстро воспламенить сухое дерево на расстоянии 68 метров. Вскоре после этого шведский ученый Н. Соссюр построил первый водонагреватель. Это был всего лишь деревянный ящик со стеклянной крышкой, однако вода, налитая в немудреное приспособление, нагревалась солнцем до 88 С. В 1774 году великий французский ученый А. Лавуазье впервые применил линзы для концентрации тепловой энергии солнца. Вскоре в Англии отшлифовали большое двояковыпуклое стекло, расплавлявшее чугун за три секунды и гранит – за минуту. Первый действующий солнечный насос был изобретен и описан французским инженером Соломоном де Коси (1576-1626). Шведский философ де Соссюру (1740-1799) создал и описал солнечную кухню на основе концентрических зеркальных камер.

Явление фотоэффекта, представляющее собой излучение электронов под воздействием солнечного света, было впервые замечено еще в 1839 году А. Беккерелем, однако полностью разработана эта теория оказалась лишь в 1905 году Альбертом Эйнштейном, за что он и получил Нобелевскую премию.

Через сорок четыре года после открытия Беккереля Чарльз Фриттс в 1883 году создал первый солнечный модуль. Основой изобретения был покрытый тонким слоем золота селен. КПД этой батареи был не более 1 процента и до создания современных солнечных батарей было еще далеко.

Лишь в 30-х годах 20-го века советским физикам удалось впервые получить электрический ток, используя явление фотоэффекта. В физико-техническом институте, которым руководил выдающийся ученый академик Иоффе, были созданы первые солнечные сернисто-таллиевые элементы. КПД этих первых солнечных элементов составлял всего 1 процент, т. е. в электрический ток преобразовывался всего лишь 1 процент падающей на элемент солнечной энергии. Но начало развитию солнечной энергетики было уже положено.

Следующим шагом на пути создания солнечных преобразователей энергии стало изобретение в начале 50-х годов 20-го века кремниевого солнечного элемента американскими учеными. Пирсон, Фуллер и Чапин открыли и запатентовали кремниевый солнечный элемент с КПД около 6 процентов. Относительно высокой степени развития, достаточной для широкого практического применения, солнечные элементы достигли лишь в начале 50-х годов 20-го века.

С 1954 года действует международная общественная организация – ныне Международное общество по использованию солнечной энергии (ИСЭС). В задачи этого общества входит содействие фундаментальным и прикладным исследованиям в области использования энергии Солнца [5].

В 1957 году в СССР был запущен первый искусственный спутник с применением фотогальванических элементов, а в 1958 г. США произвели запуск искусственного спутника Explorer 1 с солнечными панелями. С 1958 года кремниевые солнечные батареи стали основным источником энергии для космических кораблей и орбитальных станций.

В 1970 году в СССР Жоресом Алферовым и его соратниками была создана первая высокоэффективная гетероструктурная (с применением галлия и мышьяка) солнечная батарея. К середине 70-х годов прошлого века удалось поднять КПД солнечных элементов до 10 процентов.

После этого наступила полоса застоя почти на два десятилетия. Для использования в космических аппаратах 10-ти процентного КПД вполне хватало, но для применения на Земле производство солнечных батарей в то время было нецелесообразным, так как необходимый для этого кремний стоил очень дорого (до 100 долларов 1 кг), сжигание тогда еще значительных запасов органического топлива было гораздо рентабельней. Это привело к сильному сокращению финансирования исследований в области солнечной энергетики и сильно затормозило появление новых разработок и технологий. Как справедливо было замечено академиком Жоресом Алферовым на собрании АН СССР, если бы на развитие альтернативной энергетики было выделено хотя бы 15 процентов средств, вложенных в атомную энергетику, то атомные электростанции были бы вообще не нужны. И это действительно было бы

возможно, учитывая тот факт, что несмотря на минимальное финансирование исследований в области солнечной энергетики нашим ученым удалось поднять КПД солнечных элементов к середине 90-х годов до 15 процентов, а к началу 21-го века уже до 20 %.

Используя идею Ga-As-солнечных элементов Applied Solar Energy Corporation (ASEC) уже в 1988 г. создали батарею с эффективностью 17 процентов, что на тот момент было значительным достижением. В 1993 году КПД Ga-As солнечного элемента удалось довести до 19% и в том же году ASEC выпустили фотоэлектрическую панель производительностью уже в 20%.

Серьезным позитивным сдвигом в развитии солнечной энергетики послужило создание американцами в 90-х годах прошлого столетия особых цветосенсибилизированных типов солнечных батарей, более эффективных, чем применяемые ранее. Этот новый тип батарей более экономически выгоден, да и производить их проще. На сегодняшний день основная масса выпускаемых солнечных батарей имеет КПД чуть более 20 процентов. В 1989 году было создано устройство, работающее с КПД более 30 %. В 1995 году появились первые экспериментальные разработки тонкопленочных фотогальванических элементов, в качестве основы для которых использовался тончайший пластик (thin-film photovoltaic cell).

Перспективы развитие солнечной энергетики в мире

Воплощение оптимистических прогнозов в реальность во многом связано с уровнем технологического развития. В настоящий момент существует технологическая возможность извлечения из солнечного света только незначительной части энергии, но даже этот объем уже является существенным для европейской энергетической инфраструктуры, где возобновляемым источникам, включая солнечные электростанции, отводится не менее 20% уже к 2020 году.

Мировая солнечная энергетика развивается высокими темпами, солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры, стремительный рост количества и общей мощности электростанций, работающих на гелиосырье, предполагает также рост влияния солнечных технологий на экономику. Прежде всего, в ближайшие десятилетия солнечная энергетика станет стимулом для экономического развития экваториальных стран, обладающих максимальным «солнечным» ресурсом.

Одним из любопытных решений являются планы по строительству солнечных электростанций на орбите Земли. На первый взгляд такие проекты кажутся утопическими, если не учитывать, что уже анонсировано строительство пяти

орбитальных электростанций: проекта Solarbird (Митсубиши), орбитальной электростанции Пентагона, японского проекта Space Solar Power Systems, проекта Pacific Gas and Electric Company для штата Калифорния, а также проекта американской космической компании EADS Astrium.

Если преобразование солнечной энергии во многом уже не вызывает технических сложностей, то передача электроэнергии на дальние расстояния возможна только по высоковольтным линиям. Данная технология неприемлема для космоса, наиболее перспективными методами передачи считаются лазерное и радиоизлучение, которые имеют высокую биологическую опасность. Поэтому орбитальные проекты вызывают значительные опасения, прежде всего, связанные с проблемой безопасной передачи электроэнергии на Землю. С другой стороны, очевидно, что орбитальные электростанции будут вырабатывать дорогую электроэнергию, которая, скорее всего, будет реализовываться «орбитальным» потребителям и не будет включена в земную энергетическую инфраструктуру. Открытие солнечных электростанций на орбите вызывает как живой интерес, так и значительные опасения, связанные с безопасностью.

Перспективы развитие солнечной энергетики в России

Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана . И в России наибольший теоретический потенциал, более 2000 млрд. тонн условного топлива (т. у. т.), имеет солнечная энергия.

Россия относится к крупнейшим энергетическим потребителям в мире, для которых актуально развитие собственного полнофункционального энергетического комплекса, начиная с добычи сырья, заканчивая эффективными схемами реализации. Наличие дешевых ископаемых энергетических ресурсов, а также северное расположение страны в области с солнечным излучением ниже 900-1000 КВт/м^2 снижает коммерческую эффективность развития инфраструктуры солнечной энергетики в РФ. Солнечная энергетика в России в ближайшее время будет развиваться за счет малоформатных солнечных электростанций индивидуального частного или промышленного использования.

При строительстве солнечных электростанций на первый план выходит экономическая целесообразность, ведь основные потребители находятся на севере страны и пользуются дешевой энергией на базе ископаемого топлива. Дорогая электроэнергия – это излишняя нагрузка на бюджет страны. На сегодняшний день продвижение систем индивидуального энергообеспечения с продажей излишков в

центральную энергосеть является более экономически-обоснованным, чем строительство коммерческих электростанций в южной области России.

Тем не менее, энергетическая инфраструктура России должна развиваться в рамках общемировых тенденций, поэтому в южных областях России необходимо строительство солнечных электростанций хотя бы в качестве полигонов для научных исследований. Для этих целей в 2011 году «Роснано» и «Ренова» анонсировали строительство солнечной электростанции в Кисловодске с суммарной мощностью 12,5 МВт.

Развитие солнечных электростанций в России можно рассмотреть в контексте мировых тенденций, в частности в контексте поставки «солнечной» электроэнергии в центральную энергосистему индивидуальными поставщиками. Анализ опыта Германии, являющейся лидером в области солнечной энергетики, обращает внимание на следующие факты. Немецкие государственные дотации в солнечную энергетику были реализованы за счет введения общего налога на энергоресурсы, составляющего 0,035 евро за 1 кВт·ч. После стремительного роста инфраструктуры в 2010 году в Германии было принято решение о снижении субсидий. Также ранее реализован законодательный инструмент поддержки – все производители солнечной энергии имеют гарантированный сбыт электроэнергии в центральную энергосистему по цене «зеленого тарифа», который составляет 0,5 евро за 1 кВт·ч.

Стремительный рост солнечной энергетики создает значительную нагрузку на электросети, особенно, в рамках светового дня, когда снижается общее энергопотребление, а растет выработка «солнечной» электроэнергии. Для компенсации этого эффекта возле солнечных электростанций необходимо строить аккумуляторные подстанции для хранения излишков электроэнергии, которые сократят неоправданную нагрузку на централизованную сеть.

Перспективы развития российской «солнечной» инфраструктуры, прежде всего, состоят в развитии научно-производственной базы в рамках продуктов, выпускаемых для обеспечения нужд солнечной энергетики. Ориентируясь на опыт Германии, государственные дотации в отрасль можно обеспечить за счет введения налога на энергопотребление.

Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения

Основными способами получения электричества и тепла из солнечного излучения являются:

1) получение электроэнергии с помощью фотоэлементов;

2) гелиотермальная энергетика – нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи и последующее распределение и использование тепла (фокусирование солнечного излучения на сосуде с водой для последующего использования нагретой воды в отоплении или в паровых электрогенераторах);

3) «солнечный парус» – устройство, способное в безвоздушном пространстве преобразовывать солнечные лучи в кинетическую энергию;

4) термовоздушные электростанции – преобразуют солнечной энергию в энергию воздушного потока, направляемого на турбогенератор;

5) солнечные аэростатные электростанции – генерируют водяной пар внутри баллона аэростата за счет нагрева солнечным излучением поверхности аэростата, покрытой селективно-поглощающим покрытием. Преимущество – запаса пара в баллоне достаточно для работы электростанции в темное время суток и в ненастную погоду[7].

Для реализации возможностей солнечного потенциала был выбран посёлок Шадрино

Поселок Шадрино находится в Енисейском районе Красноярского края и располагается вдоль западного берега реки Енисей по координатам 58 33’51” С.Ш. и 92 02’34” В.Д. На рисунке 1 показан снимок поселка со спутника.

3.2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАНЦИИ

Рассчитаем основные технико-экономические показатели, характеризующие результат работы спроектированной солнечной электрической станции. Капитальные затраты на СЭС составили 5213,202 тыс. руб.

Годовая выработка электроэнергии СЭС, кВт ч

$$W_{\text{год.отп.}} = W_{\text{сут.}} \cdot 365, \tag{3.16}$$

где $W_{\text{сут.}}$ – среднесуточная выработка электрической энергии СЭС, $W_{\text{сут.}} = 210$ кВт•ч по данным таблицы 1.

$$W_{\text{год.отп.}} = 210 \cdot 365 = 76650 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчет для ФЭС:

Удельные капитальные вложения, тыс. руб./кВт

$$\kappa = \frac{\text{К}_{\text{ФЭС}}}{N_{\text{у}}}, \tag{3.17}$$

где $N_{\text{у}}$ – установленная мощность ФЭС, $N_{\text{у}} = 30$ кВт;

$\text{К}_{\text{ФЭС}}$ – определяется по формуле (3.18), тыс. руб.

$$\text{К}_{\text{ФЭС}} = \text{К}_{\text{СЭС}} - (\text{Ц}_{\text{ДГ}} + \text{Ц}_{QF\text{ДГ}} + \text{Ц}_{\text{К.ДГ}}) \cdot 1, \tag{3.18}$$

где $\text{К}_{\text{СЭС}}$ – определяется по формуле(3.15), тыс. руб.;

$\text{Ц}_{\text{ДГ}}$ – стоимость дизель-генераторов, тыс. руб.;

$\text{Ц}_{QF\text{ДГ}}$ – стоимость автоматических выключателей, установленных для дизель-генераторов, тыс. руб.;

$\text{Ц}_{\text{К.ДГ}}$ – стоимость кабеля, проложенного для дизель-генераторов, тыс. руб.

$$\text{К}_{\text{ФЭС}} = 5213,202 - (932,00+1,80+1,80) \cdot 1 = 4184,042 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем удельные капитальные вложения

$$\kappa = \frac{4184,042}{30} = 139,47 \text{ тыс. руб./кВт}$$

Выработка электроэнергии ФЭС, кВт ч

$$W_{\text{ФЭС}} = N_y \cdot H_y, \tag{3.19}$$

где N_y – то же, что в формуле (50), кВт;

H_y – число часов использования установленной мощности, $H_y = 1900$ ч.

$$W_{\text{ФЭС}} = 30 \cdot 1900 = 57000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Затраты на амортизацию производственных зданий, сооружений, придаточных устройств, оборудования определяются по установленным нормам амортизации, тыс. руб.

$$И_a = К_{\text{ФЭС}} \cdot \frac{a}{100}, \quad И_a = K \times a / 100 \tag{3.20}$$

где $К_{\text{ФЭС}}$ – определяется по (3.18), тыс. руб.;

a – определяется по (12), $a = 4\%$

$$И_a = 4184,042 \cdot \frac{4}{100} = 167,36 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на ремонт, тыс. руб.

$$И_{\text{рем}} = \frac{К_{\text{ФЭС}} \cdot И_a}{100}, \tag{3.21}$$

где $К_{ФЭС}$ – определяется по (3.18), тыс. руб.;

$Н_а$ – норма отчислений на ремонт ФЭС, равна 1 %.

$$И_{рем} = \frac{4184,042 \cdot 1}{100} = 41,84 \text{ тыс. руб.}$$

Заработная плата производственного персонала, тыс. руб.

$$И_{зп} = n_у \cdot Ф_{зп} \cdot n_{мес}, \qquad (3.22)$$

где $n_у$ – численный персонал, 2 человека;

$Ф_{зп}$ – заработная плата одного работника, 20 тыс. руб.;

$n_{мес}$ – число месяцев в году, $n_{мес} = 12$.

$$И_{зп} = 2 \cdot 20 \cdot 12 = 480 \text{ тыс. руб.}$$

Страховые взносы с заработной платы производственного персонала, тыс. руб.

$$И_{ст.вз} = \frac{И_{зп} \cdot (\alpha_{пф} + \alpha_{фомс} + \alpha_{соц})}{100}, \qquad (3.23)$$

где $\alpha_{пф}$ – отчисления в пенсионный фонд, $\alpha_{пф} = 22$;

$\alpha_{фомс}$ – отчисления в фонд медицинского страхования, $\alpha_{фомс} = 5,9$;

$\alpha_{соц}$ – отчисления в фонд социального страхования, $\alpha_{соц} = 2,1$.

$$И_{ст.вз.} = \frac{480 \cdot (22 + 5,9 + 2,1)}{100} = 144 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие затраты, руб.

$$И_{пр} = К_{ФЭС} \cdot \alpha_{пр}, \qquad (3.24)$$

где – прочие затраты, $\alpha_{пр} = 0,01$.

$$И_{пр} = 4184,042 \cdot 0,01 = 41,84$$

Расчет для ДЭС

Удельные капитальные вложения, тыс. руб./кВт

$$\kappa = \frac{К_{ДЭС}}{N_у}, \qquad (3.25)$$

где $N_у$ – установленная мощность ДЭС, кВт;

$К_{ДЭС}$ – капитальные затраты на ДЭС, тыс.руб.

$$К_{ДЭС} = К_{СЭС} - К_{ФЭС}, \qquad (3.26)$$

$$К_{ДЭС} = 5213,202 - 4184,042 = 1029,16 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем удельные капитальные вложения, тыс. руб./кВт

$$\kappa = \frac{1029,16}{40} = 25,729 \text{ тыс. руб./кВт}$$

Выработка электроэнергии ДЭС, кВт · ч

$$W_{ДЭС} = W_{год.отп.} - W_{ФЭС}, \qquad (3.27)$$

где $W_{год.отп.}$ – определяется по формуле (3.16), кВт · ч;

$W_{ФЭС}$ – определяется по формуле (3.19), кВт · ч.

$$W_{ДЭС} = 76650 - 57000 = 19650 \text{ кВт} \cdot ч$$

Потребление дизель-генератором дизельного топлива составляет GУД = 0,32 литра на 1 кВт · ч (таблица 2.4.).

Расход топлива на годовую выработку дизель-генератором, л

$$G_{ДЭС} = G_{УД} \cdot W_{ДЭС}, \quad (3.28)$$

$$G_{ДЭС} = 0,32 \cdot 9650 = 6288 \text{ л}$$

Рассчитаем амортизацию, тыс. руб.

$$И_a = \frac{К_{ДЭС} \cdot H_a}{100}, \quad (3.29)$$

где H_a – норма амортизационных отчислений, равна 4 %.

$$И_a = \frac{1029,16 \cdot 4}{100} = 41,17 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на ремонт, тыс. руб.,

$$И_{рем} = \frac{К_{ДЭС} \cdot Н_a}{100}, \quad (3.30)$$

где $Н_a$ – норма отчислений на ремонт ДЭС, равна 8 %[26].

$$И_{рем} = \frac{1029,16 \cdot 8}{100} = 82,33$$

Прочие затраты, тыс. руб.

$$И_{пр} = К_{ДЭС} \cdot \alpha_{пр}, \quad (3.31)$$

где $\alpha_{пр} = 0,01$[27].

$$И_{пр} = 1029,16 \cdot 0,01 = 10,292$$

Затраты на топливо, тыс. руб.

$$И_{топл} = G_{ДЭС} \cdot Ц_{ДТ}, \quad (3.32)$$

где $Ц_{ДТ}$ – цена дизельного топлива, равна 0,0464 тыс. руб./л.

$$И_{топл} = 6288 \cdot 0{,}0464 = 291{,}76$$

Себестоимость отпускаемой электрической энергии СЭС, руб/кВт · ч

$$И = \frac{И_{\Sigma ФЭС} + И_{\Sigma ДЭС}}{W_{год.отп.}} \cdot 10^3, \qquad (3.33)$$

где $И_{\Sigma ФЭС}$ – сумма всех вышеперечисленных ежегодных издержек на ФЭС, тыс. руб.;

$И_{\Sigma ФЭС}$ – сумма всех вышеперечисленных ежегодных издержек на ДЭС, тыс. руб.;

$W_{год.отп.}$ – определяется по формуле (49), кВт · ч

$$И = \frac{167{,}36 + 41{,}84 + 480 + 144 + 41{,}84 + 41{,}17 + 82{,}33 + 10{,}292 + 291{,}76}{76650} \cdot 10^3 =$$

$$= 16{,}97$$

Один из ключевых показателей эффективности внедрения СЭУ – это объем «вытесненного» дизельного топлива V, л, на который уменьшается потребление ДЭС за счет электроэнергии, производимой СЭУ.

Объем вытесненного дизельного топлива, л/год

$$V = W_{ФЭС} \cdot G_{уд.}, \qquad (3.34)$$

где $W_{ФЭС}$ – определяется по формуле (3.19), кВт · ч.;

$G_{уд.}$ – то же, что и в формуле (3.28), л/кВт · ч.

$$V = 57000 \cdot 0{,}32 = 18240$$

Денежный эквивалент «вытесненному» дизельному топливу $З_{ДТ}$, тыс. руб./год показывает объем снижения затрат на топливную составляющую при производстве электрической энергии.

Денежный эквивалент «вытесненному» дизельному топливу, тыс. руб./год

$$З_{дт} = Ц_{дт} \cdot V, \qquad (3.35)$$

где $Ц_{дт}$ – то же, что и в формуле (3.32), тыс. руб./л;

V – определяется по формуле (3.34), л/год

$$З_{дт} = 0{,}0464 \cdot 18240 = 846{,}336$$

Технико-экономические показатели станции представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технико-экономические показатели станции

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерений	Значение показателей
1	Установленная мощность солнечных батарей	кВт	30
2	Установленная мощность дизель-генераторов	кВт	40
3	Выработка электроэнергии за год солнечными батареями	кВт·ч	57600
4	Выработка электроэнергии за год дизель-генераторами	кВт·ч	19050
5	Отпуск электроэнергии с шин	кВт·ч/год	76650
6	Себестоимость единицы отпускаемой электроэнергии	руб./кВт·ч	16,97
7	Объем «вытесненного» дизельного топлива	л/год	18240
8	Удельные капитальные вложения в ФЭС	тыс. руб./кВт·ч	139,470
9	Удельные капитальные вложения в ДЭС	тыс. руб./кВт·ч	25,729
10	Денежный эквивалент «вытесненному» ДТ	тыс. руб./год	846,336

По результатам расчетов, можно сделать вывод, что данная фотоэлектрическая установка характеризуется достаточно большими удельными капитальными затратами на 1 кВт мощности и высокой себестоимостью электроэнергии –16,97 руб./кВт·ч.

Однако фотоэлектрические модули имеют ряд важных преимуществ:

– их работа механически очень проста, нет вращающихся частей и практически не нужно эксплуатационного обслуживания, кроме периодической очистки поверхности солнечных панелей;

– выработка электрической энергии фотоэлектрическим процессом совсем бесшумна и не производит никаких углекислотных и других токсических испарений в окружающую среду;

– фотоэлектрические солнечные панели незаменимы в труднодоступных и удаленных районах, где прокладывание линий электропередач экономически невыгодно.

Таким образом, при данных обстоятельствах фотоэлектрическая установка может считаться рентабельной.