

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)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка автономного источника электроэнергии на основе свободнопоршневого двигателя Стирлинга для электроснабжения кустовой автоматики газодобывающего предприятия

Обучающийся

Е.Ю. Лобачев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ существующих решений по электроснабжению автоматики.....	9
1.1 Описание существующей схемы электроснабжения кустовой автоматики	9
1.2 Описание схемы электроснабжения устройств запорно– переключающей арматуры конденсатопровода.....	12
1.3 Описание и анализ реализации энергоснабжения на базе газопоршневой электростанции малой мощности.....	21
1.4 Описание и анализ использования термоэлектрических генераторов на элементах Пельтье.....	28
2 Разработка автономного источника электроснабжения на базе генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга.....	34
2.1 Описание работы генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга.....	34
2.2 Расчеты нагрузок потребителей электрической энергии.....	43
2.3 Функциональная схема автономного источника энергоснабжения кустовой автоматики.....	47
2.4 Выбор вспомогательного оборудования для автономного источника энергоснабжения.....	50
2.4.1 Выбор газовой горелки блока генерации.....	50
2.4.2 Выбор двунаправленного инвертора.....	52
2.4.3 Выбор аккумуляторных батарей.....	55
2.4.4 Выбор программируемого логического контроллера для системы автоматического управления.....	60
3 Техничко–экономическая эффективность капитальных вложений на реализацию автономного источника электроснабжения.....	65

3.1 Расчёт стоимости строительства воздушной линии электропередач.....	65
3.2 Расчет стоимость строительства автономного источника энергоснабжения	69
Заключение.....	73
Список используемой литературы и используемых источников.....	76
Приложение А Однолинейная схема электроснабжения.....	80
Приложение Б Перечень выбранного оборудования.....	81

Введение

Современное общество невозможно представить себе без надежного и стабильного электроснабжения. Электроэнергия в современном мире является основой для функционирования промышленных предприятий, связи, транспорта, а также социальных и бытовых нужд человека. Как можно наблюдать в последнее время сохраняется тенденция постоянного роста и увеличения энергопотребления, связанная с постоянным увеличением потребителей электрической мощности.

Постоянный спрос и увеличение потребления электрической энергии требует увеличение вырабатываемых мощностей, реконструкцию существующего оборудования, внедрение современных технологий и материалов для достижения более эффективного и экологически безопасного производства при выработке электрической энергии.

Тепловые электростанции на данный момент в России являются основным, и даже можно сказать традиционным, способом вырабатывания электрической и тепловой энергии. Выработка электрической энергии на таких электростанциях происходит в несколько этапов, а именно:

- сжигание топлива в котлах (газ, мазут, уголь, шлам и т.п.) для получения пара высокого давления и температуры (540 °С);
- с помощью пара высокого давления, подаваемого на паровые турбины, происходит преобразование тепловой энергии пара в механическую;
- паровая турбина вращает синхронный генератор для выработки электрической энергии.

Использование традиционных тепловых электростанций как источников энергии, доля которых в России составляет около 55 %, оказывают негативное влияние на природу и окружающую среду, способствуя изменению климата. Основным отрицательным влиянием на климат является большое количество выбросов при использовании и сжигании угля, шлама, мазута. Переход тепловых электростанций на возможность использования более экологичного

вида топлива, такого как природный газ, является основным путем по их реконструкции.

Использование возобновляемых источников электрической энергии, к которой в большей своей части (порядка 96 %) относится использование гидроэлектростанций, способствует уменьшению вредных экологических выбросов от тепловых электростанций, но величина гидроэлектростанций составляет всего порядка 17 % от всей российской мощности электроэнергетики, что явно недостаточно.

Также к возобновляемым источникам электрической энергии относятся электростанции, использующие энергию солнца и ветра. Тенденция роста вырабатываемой электроэнергии от таких типов электростанций на территории России растет с каждым годом все больше, что не сменно является актуальным и верным направлением. На данный момент величина солнечных и ветровых электростанций составляет всего около 4-х процентов от всей мощности российской энергетики.

Традиционно на территории Российской Федерации, распределение электрической энергии организовано с помощью воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Для строительства ВЛЭП требуется проведение работ по подготовке участка земли для установки опор и очистку охранной зоны от зарослей деревьев и кустарников. Таким образом, пагубным влиянием от строительства воздушных линий электропередач, является нарушение верхнего плодородного слоя почвы, уничтожаются редкие виды мхов и лишайников, происходит пересечение с тропами животных и так далее. Особо хотелось бы выделить пагубное влияние при строительстве разветвлённых воздушных линий электропередач в районах крайнего севера. В связи с короткими периодами тепла, окружающий мир в таких районах очень слаб и нежен, и не способен к быстрому восстановлению.

ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» динамично развивающееся предприятие по добыче газа и газового конденсата. В ходе своей деятельности предприятие использует не только хорошо зарекомендовавшие, но и

современные средства, методы и оборудование в производственных процессах по добыче газа и газового конденсата. Все это требуется для качественной подготовки и соответствия продукции для потребителя согласно действующих норм и стандартов.

ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» является дочерним предприятием ПАО «НОВАТЭК». Внутри предприятия создан ряд направлений, связанных между собой и направленных на улучшение результатов предприятия и профессионального развития сотрудников, такие как:

- научно–технический центр (НТЦ г. Тюмень);
- проект «Новатор»;
- проект «Молодые специалисты» и др.

На данный момент производятся работы по освоению нового Северо–Часельского лицензионного участка для добычи газа и газового конденсата. В ходе работ по освоению планируется применять современные средства, материалы и оборудование, которые позволят не только комплексно улучшить качество выпускаемой продукции, но и сберечь окружающую природу.

Актуальность настоящего исследования: на данный момент проводятся работы по исследованию и подготовке исходных данных по реализации запланированного строительства кустов газовых скважин №№91, 92 для освоения Северо–Часельского лицензионного участка добычи газа и газового конденсата. Основным техническим решением является отсутствие на лицензионном участке своей установки комплексной подготовки газа и газового конденсата, при этом происходит непосредственная передача продукта из недр на соседний, уже находящийся в эксплуатации, Береговой лицензионный участок, где планируется провести работы по расширению уже имеющегося оборудования. Протяженность трассы от кустов газовых скважин до установки комплексной подготовки газа и газового конденсата Берегового лицензионного участка составляет порядка 60 километров.

Таким образом на данный момент стоят следующие технические задачи, которые необходимо решить, а именно:

- обеспечить электроэнергией систему контроля, измерения и дистанционного управления кустовой автоматики двумя уровнями напряжений: DC 24 В и AC 230В;
- обеспечение теплом помещения с вышеуказанным оборудованием, включая отдельное помещение для временного пребывания обслуживающего персонала;
- электроснабжение должно быть реализовано на автономном источнике энергоснабжения.

В ходе научного исследования были рассмотрены несколько вариантов реализации данного решения по автономному энергоснабжению, о которых пойдет речь ниже.

Из всех вариантов была выбрана реализация автономного источника питания кустовой автоматики на базе генератора со свободнопоршневым двигателем Стирлинга.

Наличие блок–бокса энергомодуля с автономным источником энергообеспечения на свободнопоршневом двигателе Стирлинга обеспечит реализацию поставленных задач и поможет отказаться от строительства дорогостоящей воздушной линии электропередач оказывающее пагубное влияние на природу районов крайнего севера.

Объект исследования: автономные источники энергообеспечения на свободнопоршневом двигателе Стирлинга для питания кустовой автоматики и обеспечения электрической энергией, и теплом помещения блок–бокса кустовой автоматики, и помещения временного пребывания персонала на кустах газовых скважин №№91, 92 Северо–Часельского лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ».

Предмет исследования: Блок–бкс энергомодуля автономного источника питания кустовой автоматики №№91,92 Северо–Часельского лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ».

Цель исследования: повышение энергетической эффективности и устойчивости системы автономного энергообеспечения кустовой автоматики газоконденсатного промысла.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые применено, для объектов нефтегазодобывающей отрасли, самостоятельно разработанное техническое решение автономного источника электроснабжения на базе свободнопоршневого двигателя Стирлинга с возможным применением автономного питания длительное время без участия человека.

Гипотеза данного исследования заключается в том, что внедрение автономного источника энергоснабжения на основе генератора со свободнопоршневым двигателем Стирлинга можно рассматривать как простое, надежное и энергоэффективное решение автономного электроснабжения удаленных объектов нефтяной и газовой промышленности, не требующего частого технического обслуживания.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи, а именно:

1. Провести анализ существующей схемы электроснабжения блок-боксов кустовой автоматики Берегового лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ».

2. Разработать основное техническое решение по реализации автономного источника энергоснабжения на основе генераторов со свободнопоршневым двигателем Стирлинга.

3. Рассчитать технико-экономическую эффективность внедрения автономного источника энергоснабжения на основе свободнопоршневого двигателя Стирлинга.

1 Анализ существующих решений по электроснабжению автоматики

1.1 Описание существующей схемы электроснабжения кустовой автоматики

Электроснабжение является основной составляющей современной промышленности и инфраструктуры, играя самую ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы различных отраслей. Именно от надежности и эффективности электроснабжения зависит функционирование производственных процессов, информационных систем, а также бытовых потребителей.

На данный момент основное питание Берегового газоконденсатного промысла, лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» осуществляется от участка ПАЭС–2500 подрядной организации ООО «ЗаполярьЭнергоРезерв», состоящего из четырех передвижных автоматизированных газотурбинных электростанций (ПАЭС) номинальной мощностью 2500 кВт каждая и работающих на природном газе. Внешний вид ПАЭС–2500 в поперечном разрезе представлен на рисунке 1.

Каждая из четырёх ПАЭС–2500кВт подключена к одному из шинных мостов 6кВ, которые подключены к повышающим, согласующим по уровню напряжений (6/10 кВ), силовым трансформаторам мощностью 6300 МВА. Далее напряжение в 10 кВ подается на закрытое распределительное устройство 10 кВ ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ».

В основном режиме в работе находятся две ПАЭС–2500 кВт, а остальные две находятся в горячем резерве. Это необходимо для обеспечения требуемой категории электроснабжения (при необходимости имеется возможность включить в работу дополнительную ПАЭС–2500 кВт).

Для обеспечения первой особой категории электроснабжения участок ПАЭС–2500 ООО «ЗаполярьЭнергоРезерв» в своей основной схеме

электростанции имеет аварийную дизельную электростанцию мощностью 800 кВт (АДЭС–800 кВт), подключенную к повышающему трансформатору 0,4/6 кВ. Запуск АДЭС–800 кВт осуществляется автоматически при потере питания от ПАЭС–2500 кВт.



Рисунок 1 – Внешний вид ПАЭС–2500 кВт [15]

Однолинейная схема электроснабжения установки комплексной подготовки газа Валанжинских залежей (УКПГ–В) Берегового газоконденсатного промысла (ГКП), лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» отображена в приложении А.

Напряжение 10 кВ от участка ПАЭС–2500 ООО «ЗаполярьЭнергоРезерв», по двум линиям 10 кВ, поданное на двухсекционное закрытое распределительное устройство (ЗРУ–10 кВ) установки комплексной подготовки газа (далее УКПГ) ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ», распределяется по присоединениям и потребителям (КТП и ВЛ).

Таким образом, от ячейки присоединения №25 ЗРУ–10 кВ УКПГ–Валанжин по одноцепной линии электропередач 10 кВ, протяженность которой составляет порядка двенадцати километров, питание подается и распределяется на кусты газовых скважин (КГС) №№ 5,6,7 в которых установлены понижающими силовые трансформаторы (типа ТЛС–25кВА,

На данный момент вышеописанным способом, а именно ВЛЭП 10кВ, обеспечивается электроснабжение всех кустовых площадок газовых скважин, крановых узлов и установок приема и запуска очистных устройств Берегового газоконденсатного промысла лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ».

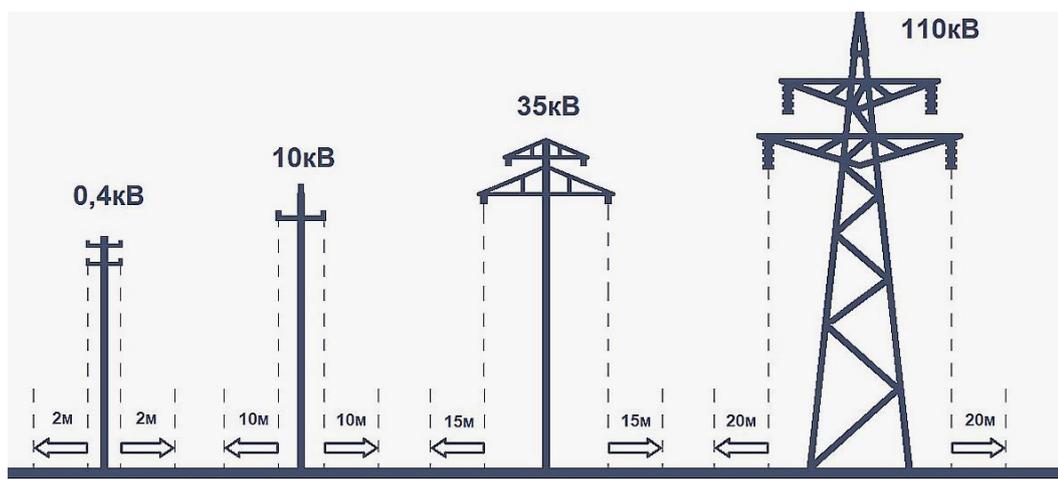


Рисунок 3 – Охранная зона ВЛЭП [11]

На рисунке 3 изображена величина охранной зоны воздушных линий электропередач в зависимости от уровня напряжения.

Использование воздушных линий очень пагубно влияет на слабый растительный мир районов крайнего севера.

1.2 Описание схемы электроснабжения устройств запорно–переключающей арматуры конденсатопровода

В данном разделе будет рассмотрен и проведен анализ по обеспечению электропитанием кустовой автоматики на базе существующего на данный момент технического решения по реализации системы линейной телемеханики на альтернативных источниках энергии.

Сейчас уже никого не удивить использованием альтернативных источников электрической энергии, которые используют фотоэлектрические панели и ветрогенераторы небольшой мощности, способные обеспечить питанием маломощные потребители. Технология производства фотоэлектрических панелей совершенствуется с каждым днем, способствуя увеличению мощности отдаваемых панелями на единицу площади, а также прорабатываются и усовершенствуются материалы способные увеличить срок службы таких панелей.

На данный момент компания Trina Solar Co. Ltd., является поставщиком комплексных решений в альтернативной энергетике, представила разработанный солнечный модуль «Vertex N», который, на данный момент, является одним из самых мощных солнечных модулей (рисунок 4) для использования в промышленном масштабе.



Рисунок 4 – Внешний вид панелей Vertex N от Trina Solar Co. Ltd. [26]

«Самый высокий КПД элемента достиг 25,5%, что установило новый мировой рекорд для промышленных монокристаллических кремниевых элементов i-TOPCon из монокристаллического кремния N-типа большой площади» [23].

Что касается использования современных материалов при изготовлении ветрогенераторов небольшой мощности, здесь можно выделить практически традиционное использование однотипного технического решения, когда обмотки генератора стоят статично, а ротор с лопастями со встроенным в него якорем, выполненный из неодимовых магнитов, вращается. Неодимовые магниты имеют высокую эффективность создания магнитного поля и очень медленный процесс размагничивания. Внутренне устройство такого горизонтального ветрогенератора приведено на рисунке 5.

Лопастей данного вида генераторов установлены статично и не имеют возможности изменять угол атаки. Производитель в документации на данные виды ветрогенераторов указывает основные параметры по скорости ветра для трогания, а также скорости ветра для выдачи номинальной вырабатываемой мощности.

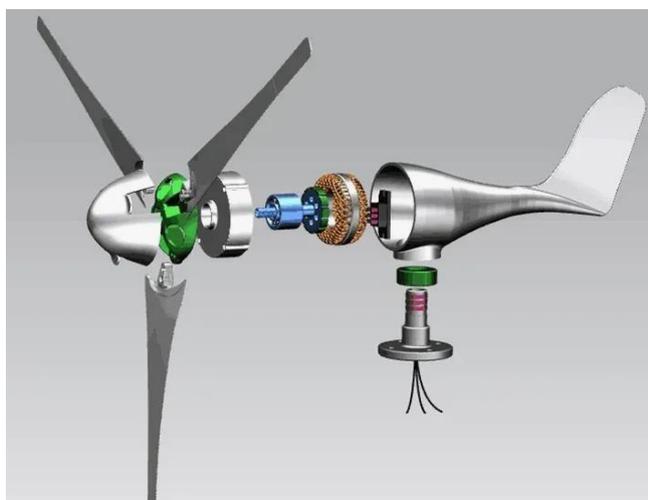


Рисунок 5 – Внутренне устройство горизонтального ветрогенератора на 300 Вт [1]

Рассматривая вариант реализации технического решения автономного электроснабжения на альтернативных источниках питания следует понимать, что обеспечение питанием мощной нагрузки необходимо только во время аварийного отключения конденсаторпровода или его участка, всё остальное время автономный источник питания потребляет мощность для обеспечения

питания устройств контроля, управления и связи, что составляет очень малое значение по электрической мощности ввиду использования специально подобранного оборудования с низким потреблением электроэнергии.

И так, между двух соседних лицензионных участков (Береговой ГКП и Яро–Яхинский НГКП) и их установок комплексной подготовки газа (УКПГ) и газового конденсата, организован трубопровод по перекачке газового конденсата, для дальнейшей подготовки и переработки. Протяженность данного трубопровода составляет порядка шестидесяти километров.

Трубопровод высокого давления по перекачке газового конденсата оснащен следующими системами:

- системой измерения коммерческого учета газового конденсата (СИКГК);
- системой обнаружения протечек;
- системой видеонаблюдения;
- системой аварийного перекрытия трубопровода и аварийного сброса газового конденсата.

Устройство аварийного перекрытия и сброса продукта при возникновении аварии на трубопроводе реализовано с помощью запорной арматуры, управляемой дистанционно в ручном режиме с АРМ оператора. Для питания электрифицированной задвижки в составе комплекса установлен инвертор, повышающий напряжение аккумуляторных батарей 24 В, в трехфазное напряжение переменного тока 380 В, для обеспечения электропитанием электрифицированной задвижки запорной арматуры на время ее открытия или закрытия.

На всем протяжении данный трубопровод имеет 10 точек запорной арматуры, из них 8 узлов запорной арматуры (далее – УЗА) реализованы с использованием автономных источников питания на основе ветрогенераторов, мощностью 900 Вт, и солнечных панелей, суммарной мощностью 2500 Вт. На первом и конечном узлах трубопровод установлены блок–боксы с питанием

от КТП. Питание таких КТП происходит от сетей электроснабжения прилегающих к УКПГ.

Солнечные панели установлены на специально изготовленной жесткой раме с постоянным углом положения солнечных панелей. Угол наклона солнечных панелей определен на стадии проектирования, и подразумевает использование солнечной энергии в период с марта по октябрь. Указанный период работы солнечных панелей связан с тем, что в зимний период времени солнечная активность очень низкая и сами панели могут быть покрыты снегом, а как уже сказано выше, объекты удалены на значительное расстояние и не имеют возможности круглогодичного подъезда к оборудованию. Подъезд возможен только при использовании специальных автомашин, либо вертолета. Солнечные панели подключены к балластному шкафу, в котором расположен контроллер управления солнечными панелями. Таким образом от балластного шкафа солнечных панелей подается напряжение на уровне 23–27 В к колодцу с аккумуляторными батареями. При избытке вырабатываемой мощности от солнечных панелей контроллер в балластном шкафу перераспределяют излишнюю мощность на ТЭНы радиатора охлаждения. По такому же принципу реализован и балластный шкаф ветрогенератора, за исключением того, что дополнительно реализована возможность принудительного останова ветрогенератора путем закорачивания выходных обмоток.

В период с октября по март подразумевается использование энергии ветра. Мачты, на которых установлены горизонтальные ветрогенераторы, выполнены высотой не менее 15 метров. Ветрогенератор состоит из трёхлопастного ротора с постоянным углом атаки. Через вал ротор жестко соединен с якорем реализованном на постоянных электромагнитах из редкоземельных металлов (неодимовые магниты). Генератор на задней части имеет киль и оснащён механической системой безопасности. При сильных порывах ветра, более 40 м/с, ветрогенератор имеет способность «переламываться» пополам принимая форму буквы «Г». Данное решение

позволяет сохранить ветрогенератор от механического повреждения при штормовых ветрах.

На верхней площадке мачты размещен шкаф с системой контроля скорости и направления ветра. Датчики скорости и направления ветра передают свои данные в локальную систему автоматического управления автономным источником питания.

Внешний вид автономного источника питания системы линейной телемеханики изображен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид СЛТМ НПО «Вымпел» [16]

В своем составе система линейной телемеханики имеет: систему автоматического управления автономным источником питания; инвертор; аккумуляторную батарею 24 В (емкостью на 1200 А/ч); систему пожарной сигнализации.

Оборудование находится в специализированных утепленных колодцах глубиной 3 метра под землей под насыпным грунтом. Над колодцами находится металлическая конструкция с талью, для возможности поднятия оборудования и проведения периодического осмотра и технического обслуживания.

В постоянном режиме работы инвертор отключен и питание на электрифицированной задвижке снято. При работе инвертора на холостом ходу происходит потребление электроэнергии, для экономии заряда аккумуляторных батарей, питание на инвертор отключено и подается только при необходимости управления электрифицированной задвижкой.

Согласно официальной информации автономные источники питания НПО «Вымпел» возможно адаптировать практически под любые требуемые задачи.

По своей конструкции автономный источник питания сделан в виде готовых модульных решений и позволяет увеличить, при необходимости, количество применяемых солнечных панелей и установить на мачту еще один ветрогенератор. При этом установка ветрогенераторов будет реализована на разных высотах, для исключения «заграждения» воздушного потока друг от друга. Также имеется возможность при необходимости установить два или несколько подобных источников питания и разделить потребители на каждый автономный источник питания, либо объединить в общую сеть.

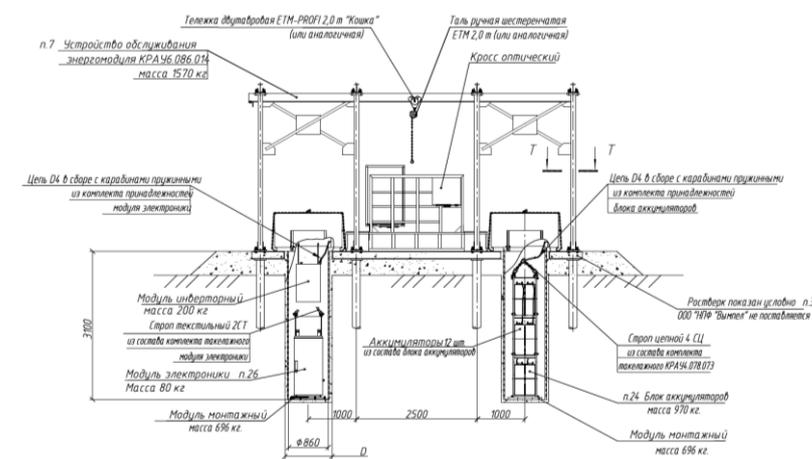


Рисунок 7 – Схема расположения оборудования СЛТМ НПО «Вымпел» в колодцах

Как видно по рисунку 7 и 8 в одном из колодцев расположен блок аккумуляторных батарей емкостью 1200А/ч 24 В, состоящих из отдельных

элементов напряжением 2,2В собранных последовательно в количестве 12 штук. В другом колодце расположено следующее оборудование:

- программируемый логический контроллер (ПЛК) управления и контроля всем оборудованием УЗА;
- оборудование связи (коммутаторы, преобразователи интерфейсов и т.п.);
- электрооборудование и электроаппараты для распределения питания и управляющими сигналами;
- силовой управляемый инвертор, для преобразования 24В постоянного тока в синусоидальное (переменное) трехфазное напряжения 380В, для обеспечения питания электрифицированной задвижки УЗА.

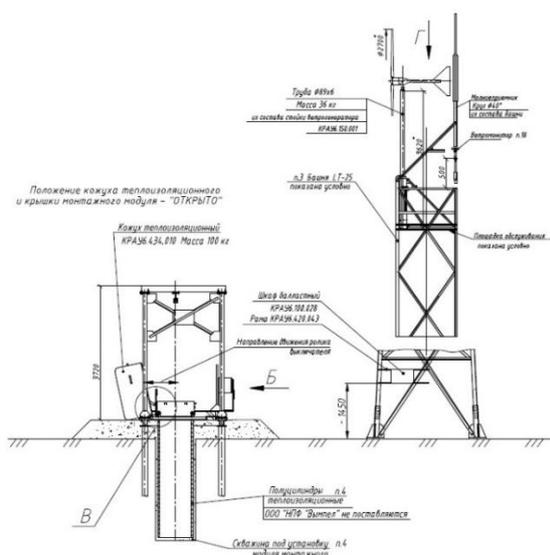


Рисунок 8 – Схема установки технических средств

Снаружи на раме находится главный щит распределения электрической энергии 24 В и 380 В, к которому подключены источники и потребители электрической энергии.

Данное техническое решение уже на практике позволило значительно уменьшить себестоимость обеспечения питания УЗА при строительстве и

эксплуатации данного трубопровода, по сравнению со строительством воздушной линии электропередач (вдольтрассовая ВЛЭП).

В составе поставляемого оборудования автономных источников питания УЗА от НПО «Вымпел» включает в себя наличие автоматизированной системы контроля, дистанционного мониторинга и управления (SCADA система). Данная система имеет в своем составе сервер сбора и обработки данных. Для ведения контроля оперативным персоналом за работой автономных источников питания реализовано автоматизированное рабочее место (далее – АРМ) оператора.

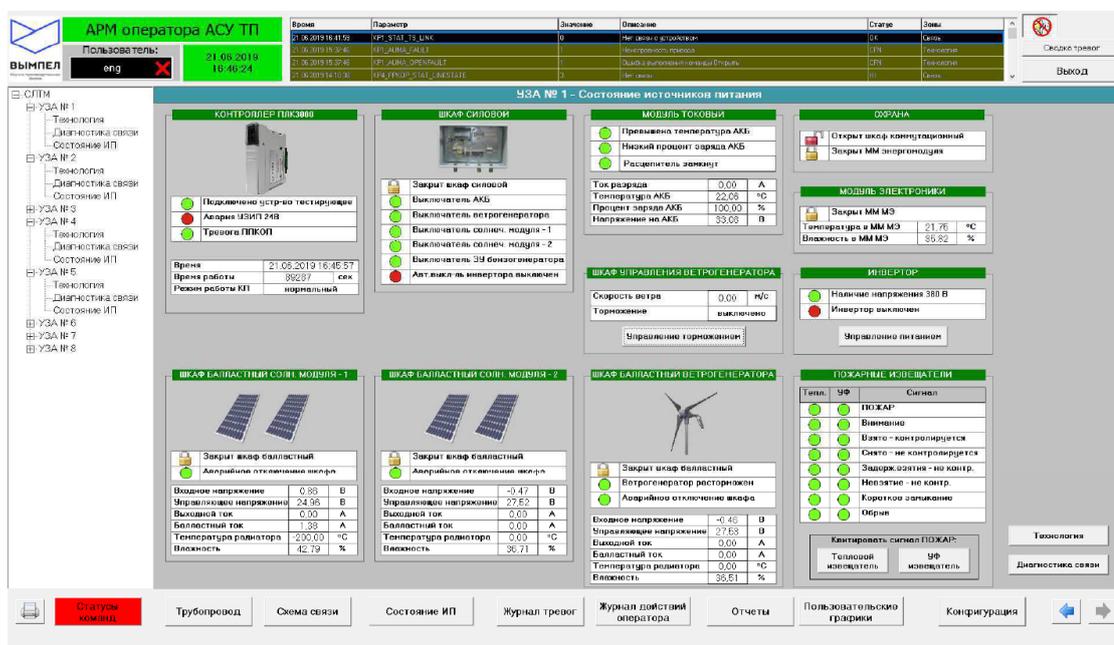


Рисунок 9 – Экран АРМ оператора системы контроля и управления АИП УЗА

АРМ оператора (рисунок 9) позволяет дистанционно контролировать все необходимые параметры работы, управлять торможением ветрогенератора и включением/отключением инвертора. В системе сбора и обработки данных АРМ ведутся архивы измеренных значений. Останов ветрогенератора необходим в летнее время суток, а если сказать точнее, то при достаточной солнечной активности. Принудительный останов ветрогенератора необходим

для увеличения ресурса ввиду того, что ветрогенератор является механической частью автономного источника питания и использует в своей конструкции подшипники, которые при наработке определенного количества часов требуют замены. Когда же достаточно энергии солнца, оператором дистанционно включает торможение ветрогенераторов на всех УЗА.

В процессе эксплуатации реализованное техническое решение по автономному электроснабжению, основанное на источниках питания от солнечных панелей и ветрогенератора в условиях крайнего севера, показали себя рабочим и достаточно надежным решением для обеспечения электропитанием удалённых и труднодоступных объектов.

1.3 Описание и анализ реализации энергоснабжения на базе газопоршневой электростанции малой мощности

Стабильное и надежное электроснабжение является основой для функционирования современных устройств и оборудования промышленности. В условиях постоянного роста потребности в локальных и автономных источниках энергии, особенно в отдаленных или временных объектах, таких как строительные площадки, кемпинги, а также в ситуациях аварийного резервного электроснабжения, газопоршневые электростанции (ГПЭС) малой и средней мощности играют очень важную роль в энергообеспечении подобных потребителей. Современные ГПЭС имеют очевидные преимущества, такие как: экономичность, экологичность и достаточную надежность, что делает их привлекательным выбором для широкого спектра применений практически в любых решениях.

В последнее время рассматриваются варианты снабжения промышленных площадок от своих локальных ГПЭС, тем самым обеспечивая такие объекты не только электроэнергией, но и теплом. К данным реализациям приводит высокая рыночная стоимость электроэнергии для промышленных предприятий от общих сетей, причем из региона в регион эти цены

значительно изменяются. Ко всему требуется отапливать помещения, соответственно необходима реализация подвода тепла от местных ТЭЦ. Поэтому многие предприятия, а также крупные индивидуальные предприниматели рассматривают варианты установки на своих промышленных площадках газопоршневых электростанций малой мощности с котлами утилизаторами тепла. При необходимости в контур отопления устанавливается газовый котел, для повышения температуры в контуре отопления до требуемых значений.

На фоне этих тенденций, использование для ГПЭС не только промышленных, но и автомобильных двигателей в качестве привода для автономных электростанций становится все более актуальным с каждым днем. В частности, двигатели производства АвтоВАЗ, такие как ВАЗ 2106, обладают рядом характеристик, которые делают их подходящими для применения в автономном электроснабжении. Это включает в себя широкую распространенность, доступность запчастей, простоту в обслуживании и ремонте, а также проверенную достаточную надежность.

В данном разделе мы рассмотрим использование двигателя ВАЗ 2106 в газопоршневых электростанциях малой мощности. Это исследование будет направлено на анализ технических и эксплуатационных характеристик данных электростанции в контексте автономного энергоснабжения, а также на выявление преимуществ и возможных недостатков данного подхода.

Теперь рассмотрим принцип работы газопоршневой электростанции малой мощности на базе двигателя ВАЗ 2106, рассмотрим основные компоненты и процессы, обеспечивающие преобразование энергии газового топлива в электрическую энергию.

Двигатель ВАЗ 2106 является одним из самых массовых и известных продуктов АвтоВАЗ. Этот четырехцилиндровый карбюраторный двигатель объемом 1.6 литра используется в автомобилях ВАЗ 2106, которые выпускались с 1976 по 2006 год.

Основные технические параметры двигателя ВАЗ 2106 включают:

- объем цилиндров: 1.6 литра.
- максимальная мощность: около 75 лошадиных сил при 5400 об/мин.
- максимальный крутящий момент: 116 Н·м при 3400 об/мин.
- тип топлива: бензин (газ).
- система охлаждения: жидкостная.
- система смазки: комбинированная (под давлением и разбрызгиванием).
- масса: около 120 кг.

Конструкция двигателя ВАЗ 2106 отличается простотой и достаточной надежностью. Основные элементы двигателя включают чугунный блок цилиндров, алюминиевую головку блока цилиндров с верхним расположением клапанов и один распределительный вал. Такая конструкция обеспечивает высокую ремонтпригодность и доступность запчастей в любых уголках России.

Важной особенностью двигателя является его возможность работы на различных типах топлива, что делает его универсальным для использования в газопоршневых электростанциях. Для переоборудования двигателя на газовое топливо требуется установка дополнительного типового оборудования, такого как газовые форсунки (либо газовый смеситель), редуктор–испаритель и блок подачи и управления газом.

Газопоршневая электростанция представляет собой комплекс оборудования, преобразующего химическую энергию топлива (газа) в механическую энергию вращения коленчатого вала двигателя, а затем в электрическую энергию при помощи генератора.

ГПЭС на базе двигателя ВАЗ 2106 состоит из следующего оборудования:

- двигатель внутреннего сгорания, в данном случае используется переоборудованный двигатель ВАЗ 2106, работающий на газовом топливе.

- генератор переменного тока, преобразует механическую энергию вращения коленчатого вала двигателя в электрическую энергию.
- система управления и контроля, обеспечивает мониторинг и управление работой электростанции, включая регулирование подачи топлива, контроль параметров работы двигателя и генератора.
- топливная система, включает газовую магистраль, редуктор–испаритель, газовые форсунки и трубопроводы для подачи газа в двигатель.
- система охлаждения, обеспечивает поддержание оптимальной температуры двигателя для его стабильной работы.
- система выпуска, удаляет отработанные газы из двигателя.

Принцип работы газопоршневой электростанции заключается в следующем: газовое топливо от магистрали, через газовый узел подается в цилиндры двигателя, где происходит его сжатие и воспламенение свечей зажигания. В результате этого процесса выделяется энергия, которая приводит в движение поршни, вращающие коленчатый вал. Коленчатый вал через муфту соединен с валом синхронного трехфазного или однофазного генератора, который преобразует механическую энергию в электрическую. Электрическая энергия затем подается на нагрузку потребителю или в электрическую сеть.

Двигатель легко поддается ремонту, что уменьшает время простоя и затраты на обслуживание.

Возможность работы на различных типах топлива (бензин, газ) позволяет адаптировать электростанцию под конкретные условия эксплуатации без каких–либо проблем.

Двигатель ВАЗ 2106 может быть использован в различных климатических условиях, что расширяет область применения газопоршневой электростанции.

Испытания данного автономного технического решения по автономному электроснабжению показали высокую эффективность и

надежность работы электростанции. Двигатель ВАЗ 2106 показал стабильную работу на газовом топливе, а генератор обеспечил необходимую мощность для всех потребителей. Экономический анализ показал значительное снижение затрат на топливо по сравнению с использованием бензина или дизельного топлива.

Экономическая оценка использования газопоршневой электростанции на базе двигателя ВАЗ 2106 включает следующие аспекты:

- начальные затраты на приобретение и установку оборудования.
- затраты на топливо (газ дешевле бензина и дизельного топлива), в нашем случае газ подготавливается по месту и в учет стоимости не входит, соответственно окупаемость будет значительно быстрее.
- затраты на обслуживание и ремонт.

Газопоршневые электростанции на базе двигателей ВАЗ 2106 показывают высокую эффективность и надежность работы при правильной установке и настройке.

Экономическая и экологическая оценка подтверждает целесообразность использования таких систем в различных условиях эксплуатации.

Таблица 1 – технические характеристики ФАС–8–1/1ВП8

Электростанция ФАС–8–1/1ВП8	
Мощность (топливо метан)	8кВт
Напряжение	230В
Фазы	Однофазный
Сила тока	34,8А
Шум	62дБ
Стартер	Электростартер
Время безопасной работы	Круглосуточно
Исполнение	Закрытое
Двигатель:	
Модель	ВАЗ 2106
Охлаждение	Жидкосное
Рабочие обороты	1500

Завод «ФАСЭНЕРГОМАШ» выпускает поршневые электростанции малой мощности на основе двигателей семейства ВАЗ (рисунок 10).

При необходимости на официальном сайте производителя можно скачать паспорт на газовый генератор и ознакомиться с более детальными характеристиками данного агрегата, документация находится в свободном доступе без ограничений.



Рисунок 10 – Внешний вид газопоршневой электростанции ФАС–8/1 [13]

В каталоге данного производителя присутствует когенерационная установка, способная одновременно вырабатывать электрическую и тепловую энергию в едином модульном исполнении во всепогодном кожухе. Данное решение является достаточно компактным и перспективным при использовании в качестве автономного электроснабжения.

Комбинированная установка по выработке электрической и тепловой энергии увеличивает общий КПД данного оборудования, что без сомнений является положительным эффектом при его использовании.

Отводимое тепло от двигателя внутреннего сгорания подается на воздушно/жидкостный теплообменник через который проходят выхлопные

газы, тем самым повышая выходную температуру жидкости для использования при отоплении помещений.

В теплое время года вместо системы отопления, излишки тепла утилизируются через радиатор в атмосферу.



Рисунок 11 – Внешний вид когенерационной установки ФАС–50/70
[14]

Данный вид когенерационной установки (рисунок 11) может существенно сэкономить стоимость при подключении к электрическим и тепловым сетям. Также возможно использовать данное решение как автономный источник питания электрической и тепловой энергией для объектов, у которых нет возможности подключиться к общей сети.

Данную установку можно рассматривать с возможностью мобильного обеспечения энергией при подключении к существующему трубопроводу или газгольдеру. Подобное техническое решение было опробовано в начальном этапе строительства удаленного вахтового поселка, где пропан–бутановый газ можно было очень дешево доставить и, тем самым, реализовать автономный источник питания электрической и тепловой энергией объекта, который практически невозможно было подключить к общедоступным сетям.

1.4 Описание и анализ использования термоэлектрических генераторов на элементах Пельтье

Среди множества технологий, используемых для создания автономных источников энергии, особое место занимают термоэлектрические генераторы (ТЭГ), основанные на элементах Пельтье.

Эффект Пельтье, открытый еще в 1834 году, представляет собой термоэлектрический феномен, при котором прохождение электрического тока через спай двух различных материалов вызывает либо нагревание, либо охлаждение в зависимости от направления тока (рисунок 12). На основе этого эффекта были разработаны устройства, способные преобразовывать тепловую энергию в электрическую. ТЭГ на элементах Пельтье являются одним из самых перспективных типов автономных источников питания благодаря своей надежности, долговечности и способности работать в условиях отсутствия внешних источников энергии.

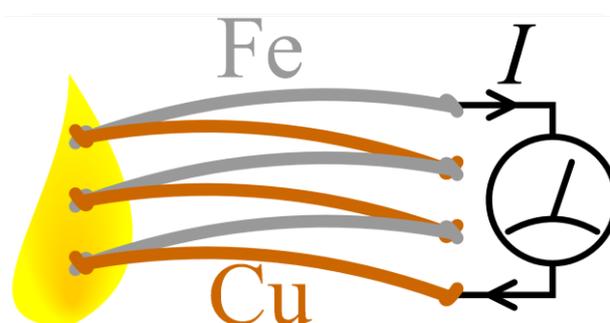


Рисунок 12 – Эффект Зеебека в термоэлементе [25]

История появления элементов Пельтье начинается с открытия эффекта Пельтье, которое стало важной вехой в развитии термоэлектричества. Этот эффект был открыт в 1834 году французским физиком Жаном Шарлем Пельтье, когда он проводил исследования по взаимодействию электрического тока и тепла.

Жан Шарль Пельтье обнаружил, что при прохождении электрического тока через спай двух различных металлов (обычно висмута и сурьмы) возникает либо нагрев, либо охлаждение в зависимости от направления тока. Этот эффект был назван в его честь — эффект Пельтье.

Пельтье заметил, что один спай нагревается, а другой охлаждается, что подтверждало наличие термоэлектрического феномена. Это открытие показало, что можно управлять тепловыми потоками с помощью электрического тока, что впоследствии стало основой для разработки термоэлектрических устройств.

После открытия Пельтье, в 1851 году, немецкий физик Вильгельм Томсон (более известный как лорд Кельвин) сформулировал теоретическую основу термоэлектрических явлений, включая эффект Пельтье, эффект Зеебека и эффект Томсона. Он показал, что все три эффекта связаны между собой и представляют различные проявления одного и того же явления — взаимодействия электрической и тепловой энергии в проводниках. Эти теоретические работы стали важным шагом к созданию практических термоэлектрических устройств. [25], [30].

Первоначально эффекты Пельтье и Зеебека использовались в научных экспериментах и демонстрационных устройствах, но в начале XX века интерес к термоэлектричеству возрос благодаря развитию полупроводниковых материалов. В 1950–х годах были разработаны первые полупроводниковые термоэлектрические модули, которые значительно повысили эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую. Эти модули состояли из спаев полупроводниковых материалов типа p и n, что позволило достичь более высокой производительности по сравнению с металлическими спаями.

Современные элементы Пельтье представляют собой сложные полупроводниковые устройства, способные эффективно генерировать электричество при наличии температурного градиента. Они широко применяются в различных областях, включая электронику, автомобили, космическую технику и медицинское оборудование. Развитие технологий

производства полупроводников и новых материалов позволило значительно улучшить характеристики элементов Пельтье, сделав их более эффективными и доступными для массового использования.

Основные процессы, происходящие в элементе Пельтье:

- прохождение электрического тока: когда через элемент Пельтье проходит постоянный электрический ток, электроны и дырки в полупроводниках начинают перемещаться.
- теплообмен: электроны и дырки переносят тепловую энергию от одного спая к другому. В результате один спай (холодный спай) охлаждается, а другой (горячий спай) нагревается.
- создание температурного градиента: нагрев одного конца и охлаждение другого создают температурный градиент, который можно использовать для различных целей, таких как термоэлектрическое охлаждение или генерация электроэнергии при наличии внешнего температурного градиента.

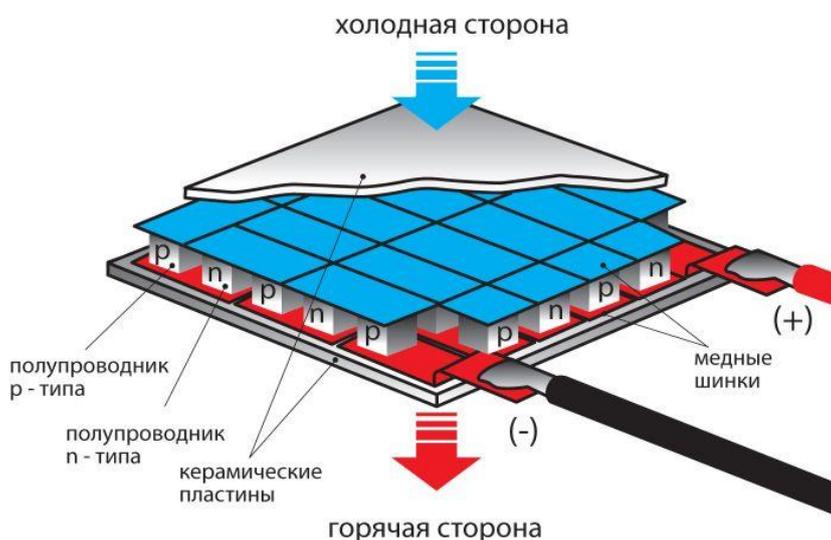


Рисунок 13 – Внешний вид и устройство элемента Пельтье [12]

Конструктивно элемент Пельтье, изображение которого приведено на рисунке 13, состоит из следующих элементов:

- модуль: один элемент Пельтье состоит из нескольких пар полупроводниковых элементов, соединенных последовательно и параллельно для увеличения мощности и эффективности. Эти модули обычно заключены в керамические пластины для защиты и улучшения теплообмена.
- теплообменники: для создания и поддержания температурного градиента используются теплообменники, такие как радиаторы и вентиляторы, которые устанавливаются на горячий и холодный спаи.
- электрические контакты: для подключения элемента Пельтье к источнику питания или нагрузке используются специальные контакты, обеспечивающие надежное электрическое соединение.

Элементы Пельтье находят широкое применение в различных областях благодаря своей уникальной способности управлять теплом:

- охлаждение: используются в системах охлаждения электроники, таких как процессоры и лазеры, где требуется эффективное и компактное решение для отвода тепла.
- нагревание: могут использоваться для подогрева небольших объемов, таких как лабораторные образцы или медицинские препараты.
- термоэлектрические генераторы: преобразуют тепловую энергию в электрическую, что полезно для автономных источников питания в удаленных и труднодоступных местах.

На данный момент термоэлектрические генераторы имеют практическое применение в радиоизотопных термоэлектрических генераторах, используемых в космических зондах. Источником тепла в данном случае выступает радиоактивный элемент.

Основной принцип работы такого ТЭГ описан «...ядерные источники энергии связаны с радиоактивным распадом или энергией деления радиоизотопных материалов, в результате которых генерируются частицы высоких энергий. Энергия частиц преобразуется в тепловую энергию в веществе плотных материалов, окружающих радиоактивный источник» [24].

Нужно понимать, что данное решение применимо из-за отсутствия человека, ведь радиация очень пагубно влияет на человеческий организм. Данный вид генератора способен долгое время и постоянно вырабатывать небольшую мощность, требуемую для работы небольших измерительных приборов. Таким образом реализовано автономное питание оборудования космического зонда, способное обеспечивать электроэнергией на протяжении всего требуемого срока службы.

Применение термоэлектрических генераторов в промышленности на данный момент практически нет. В процессе производства многие элементы способны вырабатывать тепловую энергию, которую можно было бы преобразовать в электрическую, тем самым приводя к более лучшей энергоэффективности такого оборудования, но у ТЭГ есть ряд отрицательных сторон, которые на данный момент считаются нерентабельными к реализации такого вида решения.

К основным недостаткам ТЭГ относятся:

- большие габариты и вес;
- отсутствие промышленного производства и возможности к приобретению;
- очень высокая стоимость;
- очень долгое время выхода на режим;
- необходимость оборудования ТЭГ дополнительными устройствами, что снижает общую надежность системы;
- очень низкая эффективность по выработыванию электрической энергии.

Для увеличения КПД термоэлектрических элементов требуется более высокая температура, реализовать которую становится опасно тем, что возможно разрушение самого спая.

По информации из открытых источников, в которых говорится, что на данный момент проводятся работы по изучению и использованию современных металлов для улучшения данного вида генераторов, но реально

готового, доступного варианта с достаточной мощностью и надежностью с опробованным исполнением на данный момент нет.

Выводы по разделу 1

Безусловно каждый вид источника способного вырабатывать электрическую энергию имеет свое существование при определённых условиях и обстоятельствах. В определённых случаях имеется возможность использовать подключение к воздушным линиям электропередач, даже частных электрических сетей. В некоторых случаях достаточным решением будет использование альтернативных источников электрической энергии при использовании солнечных панелей и ветрогенератора.

В данном случае для решения поставленных задач будет актуально рассмотреть использование автономного источника электроснабжения на свободнопоршневом двигателе Стирлинга.

2 Разработка автономного источника электроснабжения на базе генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга

2.1 Описание работы генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга

Разрабатываемый автономный источник электроснабжения предназначен для использования в качестве основного источника электрической и тепловой энергии удаленных объектов, преимущественно для питания небольших объектов нефтяной и газовой промышленности (кусты скважин, устройств запорной арматуры, вдольтрассовых запорных арматур, измерительных комплексов и т.д.). Реализация полностью автономного питания подобных объектов связана с отсутствием возможности постоянного местного (локального) контроля людьми за объектом. Энергопотребление указанных объектов невелико, либо требуется на короткий период времени, например, открытие или закрытие задвижки, срабатывание регулирующего клапана, коммерческий или технический учет среды в трубопроводе.

Возможность и мощность современных программируемых логических контроллеров (далее ПЛК), на которых разрабатываются современные системы автоматического управления (далее САУ), позволяют реализовать полностью автономную САУ с самостоятельными алгоритмами и циклами управления, позволяющими обеспечить работоспособность оборудования при аварийных ситуациях. Отдельно хочется сказать о том, что и требования к автоматизации на данный момент значительно выросли так как они уже требуют наличие и реализацию всех уровней автоматизации, таких как: технологический уровень, уровень управления и автоматизации, уровень принятия решений.

Современная САУ способна самостоятельно анализировать и производить воздействие на элементы управления и перевести питание на аварийный источник электропитания, автономный режим энергосбережения,

при каких-либо неисправностях с основными источниками без участия человека. Наличие режима энергосбережения дает возможность достаточно длительно работать в энергосберегающем режиме от аварийного источника, тем самым имеется возможность обслуживающему персоналу добраться до удаленного объекта для устранения неисправности, без перебоя в электропитании ответственных потребителей.

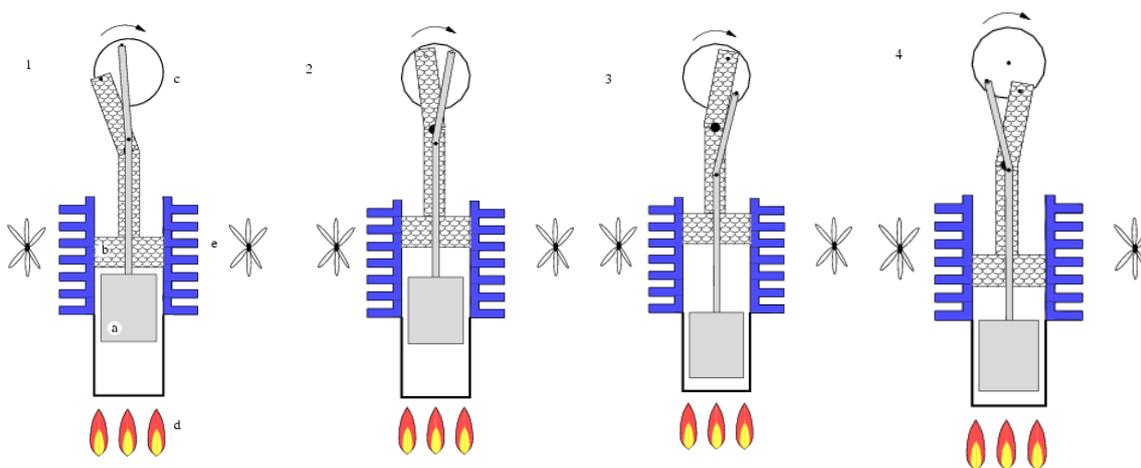
Передача данных на верхний уровень сбора информации от автономного источника электроснабжения на данный момент рационально реализовать с помощью проложенного в земле рядом с трубопроводом оптоволоконного кабеля связи, который в виду своих положительных особенностей позволяет реализовать не только дистанционный мониторинг за АИП (контроль и управление за источником энергоснабжения), но и реализовать функции охранно-пожарной сигнализации блоков, противоаварийной защиты, видеонаблюдение за объектами и системой контроля доступа персонала на объект, развертывания местной радио связи, для проведения оперативных работ на объектах промысла нефти, газа и газового конденсата, при использовании многожильного оптоволоконного кабеля, в котором каждая система заведена отдельно и не влияет друг на друга. Также стоит отметить отсутствие на оптоволоконные кабели связи воздействия от электромагнитных полей, тем самым «наводки» не искажают и не ухудшают параметры передачи данных на длительные расстояния.

Подразумевается, что реализуемый автономный источник энергоснабжения включает в себя следующие основные части:

- блок генерации, состоящий из двух генераторов на свободнопоршневом двигателе Стирлинга, работающего от газа (основной, резервный) и одного аварийного генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга работающем на жидком (дизельном) топливе;
- двунаправленную систему преобразования постоянного напряжения 24 В в переменное напряжение 230 В, на основе гибридного двунаправленного инвертора и аккумуляторной батареей;

- укрытие/термокожух/блок–бокс/передвижной модуль на колесной базе и т.п.;
- систему автоматического управления;
- систему газоснабжения и удаления выхлопных газов;
- систему охлаждения генераторов на двигателе Стирлинга и утилизации излишков тепла;
- систему собственных нужд (отопление, вентиляция, кондиционирование, освещение, связь, видеонаблюдение и т.п.).

Для понимания технического процесса рассмотрим принцип работы основной части генераторов на базе двигателей Стирлинга, а именно ознакомимся с основными принципами работы и тактами работы двигателя внешнего сгорания Стирлинга. На рисунке 1 отображены такты работы двигателя Стирлинга.



где: а– вытеснительный поршень; б– рабочий поршень; с– маховик; d– подводимое тепло; е– область охлаждения

Рисунок 14 – Циклы работы двигателя Стирлинга [5]

При нагревании газом в нижней части теплообменного цилиндра, при нагреве стенок цилиндра, создаваемое давление толкает рабочий поршень вверх. Маховик толкает вытеснительный поршень вниз, тем самым перемещая разогретый воздух из нижней части в охлаждающую камеру области

охлаждения. Воздух остывает и сжимается, поршень опускается вниз. Вытеснительный поршень движется вверх, и тем самым перемещает охлажденный воздух в нижнюю часть, и цикл повторяется заново.

Стоит учесть, что соединение поршней реализовано через газ, что является несомненным достоинством данного решения. Данный тип двигателя Стирлинга со свободнопоршневым типом соединения был разработан основателем компании Sunpower Inc. William T. Beale, и уникальность данного способа является в том, что между поршнем и вытеснителем отсутствует механическая связь и правильное фазирование между ними происходит при помощи газовой динамики рабочего тела, а именно разности давлений газа и упругих газовых объемов.

Итак, «Двигатель Стирлинга — это механическое устройство, работающее по замкнутому регенеративному термодинамическому циклу с циклическим сжатием и расширением рабочего тела при различных температурах» [22], [29].

Схематичное изображение циклов работы двигателя Стирлинга изображено на рисунке 15.

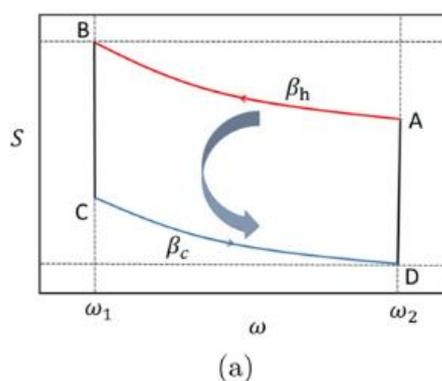


Рисунок 15 – Схематичное отображение циклов Стирлинга [27]

Теперь, когда мы разобрали основной принцип работы двигателя Стирлинга, и имеем предварительную картину работы, стоит рассказать о реализуемом генераторе на базе свободнопоршневого двигателя.

Двигатель Стирлинга является термодинамической системой с внешним подводом теплоты, предназначенной для преобразования тепловой энергии в механическую энергию возвратно поступательного движения. Конструкция СПДС имеет две основные движущиеся части: вытеснитель и рабочий поршень, как было сказано выше. Оба работают в замкнутой среде гелия и не связаны механически друг с другом. Механическая энергия генерируется за счет двух температурных зон в двигателе, в которых происходит, нагрев гелия и его охлаждение. Благодаря разности температур и циклических движений вытеснителя создается волна давления, которая перемещает поршни. Работа совершается при циклическом движении поршня из области с высоким давлением в область с низким давлением.

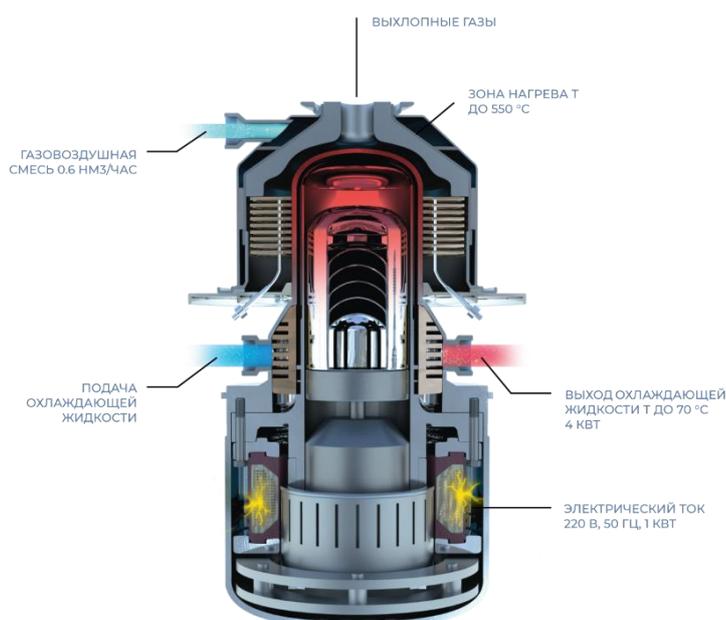


Рисунок 16 – Генератор на свободнопоршневом двигателе Стирлинга [7]

Цикличность движения рабочего поршня обеспечивается за счет соосно расположенного поршня вытеснителя, который периодически перемещает рабочее тело (гелий) из области нагрева в область охлаждения и обратно.

Внешний вид генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга изображен на рисунке 16.

Конструктивно двигатель представляет собой сочетание в одном агрегате теплообменных устройств: нагревателя, регенератора и охладителя, образующих внутренний контур.

Внешний корпус двигателя образует герметичный объем, заполненный инертным газом – гелием – под давлением 3,6 МПа.

В верхней части корпуса расположена тепловая головка с радиатором нагрева, нагреваемая кольцевой газовой горелкой.

Ниже располагается теплообменник охладителя, по внутреннему контуру которого протекает за счет работы насоса охлаждающая жидкость (антифриз), подводимая к двигателю через вводной и выводной патрубки. При этом в канале между горячей и холодной областью находится пористый теплорегенератор, который повышает эффективность процессов охлаждения или нагрева газа при его движении в ту или иную сторону. Поршень и вытеснитель свободно перемещаются по холодной и горячей зонам внутреннего контура двигателя без смазки. Уплотнение в зазоре достигается за счет газодинамического наддува в зазор и создания газовой подушки скольжения.

Вытеснитель своим штоком свободно проходит через отверстие в рабочем поршне и прикреплен к плоской пружине, которая, в свою очередь, жестко закреплена в корпусе двигателя. С рабочим поршнем жестко связан металлический стакан индуктора линейного генератора с постоянными магнитами.

Для преобразования механической энергии возвратно поступательного движения рабочего поршня в электрическую энергию используется однофазный синхронный линейный генератор, индуктор которого с постоянными магнитами присоединен к рабочему поршню.

Генератор создает синусоидальное напряжение, величина которого пропорциональна амплитуде колебания поршня, а частота определяется скоростью движения поршня и составляет $50 \pm 0,5$ Гц.

«Конструкция генератора содержит неподвижный внешний магнитопровод, с расположенной внутри его свободной полости кольцевой обмоткой статора, и внутренний неподвижный магнитопровод для усиления рабочего магнитного потока. Индуктор генератора выполнен в виде пустотелого тонкостенного стального стакана с прикрепленными с наружной стороны дугообразных радиально намагниченных постоянных магнитов. Индуктор является подвижной частью генератора и может свободно перемещаться в зазоре между внешней и внутренней неподвижными частями магнитопровода статора. [21], [28]

На рисунке 17 изображен промышленный образец генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга в разрезе, без керамического уплотнения и крышки «горячей части».



Рисунок 17 – Генератор на свободнопоршневом двигателе Стирлинга в разрезе [4]

При возвратно–поступательном движении индуктора (колебания в пределах 10–12 мм) магнитный поток постоянных магнитов наводит в обмотке статора переменную ЭДС синусоидальной формы 230 – 260 В. Для

снижения потерь от вихревых токов, наводимых переменным магнитным потоком в пустотелом стакане индуктора, по периферии стакана сделаны аксиальные прорези. Это позволяет также снизить массу подвижной части генератора. Данный генератор на двигателе Стирлинга генератора предназначен для выработки электрической энергии мощностью до 1000 Вт.

Фактически блок–генератор представляет собой колебательный контур со встроенным в конструкцию индуктором на постоянных магнитах, возвратно–поступательное движение которых относительно неподвижной обмотки статора, создает возможность прямой подачи электрической энергии в колебательный контур. Внешняя нагрузка, подключенная к этому контуру, потребляет энергию, а циклическое движение магнитов за счет работы двигателя подает энергию в контур. Процесс обмена энергией гармонизируется за счет связанных общими частотами резонанса в электрическом колебательном контуре и резонанса механической системы двигателя.

Одним из основных преимуществ данного двигателя является не обслуживаемость устройства на всем протяжении эксплуатации ввиду отсутствия необходимости замены каких–либо трущихся или смазываемых частей и отсутствия трения из–за наличия газодинамических опор. Но с другой стороны он является полностью не разборным и требует замены при окончании ресурса.

Тепло к головке двигателя можно подвести различными способами, это может и быть газовая горелка низкого давления (пропан, метан), пиролизный газ от сжигания древесины, жидкостные горелки (керосин, бензин, дизельное топливо) и т.п.

Стоит отметить, что регулирование мощности данного двигателя производится не моментально, а в очень длительном временном интервале, так как зона нагрева не может моментально остывать и нагреваться.

Поддержание мощности на выходе генератора обеспечивается за счет поддержания разности температур головки (зоны нагрева двигателя) и

охлаждающей жидкости (зоны охлаждения двигателя) с использованием горелки с регулируемой мощностью (модуляцией) и принудительной циркуляции охлаждающей жидкости через «холодную часть» двигателя.

Выработанная энергия подается на шину переменного тока (главную шину), к которой подключаются остальные генераторы на двигателе Стирлинга. Данная шина является также и шиной для подключения потребителей переменного напряжения 230 В, конкретнее о формировании главной шины будет дано при описании выбора инвертора для АИП ниже. Кратковременно резко увеличивающееся потребление электрической мощности на главной шине, при недостаточной выдаваемой мощности от генераторов на двигателе Стирлинга, будет подпитано от аккумуляторных батарей через инвертор.

В системе охлаждения генератора на двигателе Стирлинга устанавливается блок аварийной нагрузки (БАН) состоящий из ТЭНа мощностью 400 Вт и являющийся дополнительным балластным устройством при отсутствии потребляемой электрической энергии, при заряженных аккумуляторных батареях и при отсутствии нагрузки на потребителях 230 В, тем самым производится компенсация, до тех пор, пока вырабатываемая мощность не станет равной потребляемой мощности.

При использовании аккумуляторных батарей 24 В, реализована шина постоянного питания потребителей АИП с питающим напряжением 24 В, для бесперебойного питания САУ АИП и других систем потребителей при необходимости. В данном случае реализуется резервированное питание на шине 24 В реализовано и от сети 230 В, с использованием блока питания требуемой мощности и подключением диодной развязки на линиях питания от блока питания и аккумуляторных батарей. Таким образом, реализована требуемая бесперебойная работа потребителей постоянного тока на напряжение 24 В, например, при необходимости вывода в ремонт или замены аккумуляторных батарей.

2.2 Расчет электрических нагрузок для автономного питания

На данном этапе работы необходимо провести расчеты по определению требуемой нагрузки на автономный источник питания по электрической мощности. В данном случае исходя из расположения объектов в районах крайнего севера, подробный расчет на необходимую тепловую мощность производить не имеет смысла, так как контур охлаждения от двигателей Стирлинга является достаточно холодным и составляет всего порядка 50 °С, этого будет достаточно для поддержания температуры в помещениях с расположенным оборудованием на уровне 5–30 °С, но недостаточным для помещения где находится персонал. Соответственно для помещения где находится персонал и нахождения в нем при необходимости возможно будет подогревать, используя стационарно установленный воздушный дизельный отопитель (рисунок 18). Дизельное топливо, к которому будет подведено от расходной емкости аварийного блока генератора. Питание 24 В для воздушного дизельного отопителя будет взято от шины гарантированного питания 24 В.

С начала требуется определить необходимое количество минимально возможных потребителей электрической энергии, которые были бы минимально достаточными.

И так для обеспечения рабочим освещением персонала при работах на арматурных блоках устья скважины, будут установлены взрывозащищённые светодиодные светильники в количестве двух штук на высоте 2,5 метра от пола площадки обслуживания арматурного блока. На лестнице на входе арматурного блока будет расположен взрывозащищённый выключатель для управления местным освещением арматурного блока. Данное решение уже опробовано и является вполне достаточным.



Рисунок 18 – воздушный дизельный отопитель [2]

На арматурных блоках устьев скважин установлены электрифицированные задвижки мощностью 0,64 кВт 220 В количестве трех штук, регулирующего клапана на 90 Вт 230 В, и прибор контроля и учета среды в трубопроводе, заявленная мощность потребления данного прибора невелика и составляет 25 Вт. В данном случае имеется необходимость добавить о коэффициенте спроса на потребление электрической энергии электрифицированными задвижками. Дело в том, что управление запорно–регулирующей аппаратурой на устье скважины происходит очень редко, только при необходимости проведения ремонтных работ на скважине. Цикличность открытий и закрытий соответственно тоже очень невелика. Исходя из этой информации, мы не будем закладывать мощность при расчетах только одного арматурного блока из четырех, так как управление всей запорно–регулирующей арматурой в принципе невозможно и не предполагается. Как было сказано, дефицит питания по мощности в короткие промежутки времени будет восполняться от аккумуляторных батарей, в данном случае для открытия либо закрытия электрифицированной задвижки с учетом холодного времени года и низких температур, которые повлияют на увеличение потребляемой мощности мы можем принять величину до 1 кВт текущего потребления на протяжении трех минут.

Каждый куст газовых скважин оснащён основной, отсекающей от основного трубопровода, запорной электрифицированной задвижкой. В соответствии с данными от производственно–технического отдела была выдана информация, что на используемых мощностях промысла принято стандартное решение по применению по всем кустам газовых скважин данного лицензионного участка однотипных электрифицированных задвижек для отсекания кустовых площадок. Мощность данной электрифицированной задвижки составляет 2,2 кВт 230 В.

Когда определены основные нюансы по мощности требуемой для кустовой площадки, перейдем к анализу и подготовке исходных данных по расчету электрической мощности потребителей, а именно кустовой автоматики с использованием современных программируемых логических контроллеров. Таким образом программно–технический комплекс кустовой автоматики включает в себя:

- программируемый логический контроллер в составе основного модуля, центральный процессор и четыре дополнительных модуля входов/выходов (AI, AO, DI, DO);
- измерительно–вычислительный комплекс АБАК в количестве четырех штук (рисунок 19).



Рисунок 19 – Измерительно–вычислительный комплекс по учету расхода количества жидкостей и газа АБАК [6]

Итак, когда были определены основные потребители электрической энергии автономного источника энергоснабжения, подготовим и сведем все данные в таблицы 2 и 3, в которой укажем величины по текущим мощностям и требуемому количеству электрической энергии за месяц работы оборудования.

Таблица 2 – Результаты расчетов нагрузок потребителей 230 В для автономного источника питания

Наименование оборудование или системы	Кол-во	Р _н , Вт	U _н , В	Р, кВт·ч
Электрифицированные задвижки арматурного блока	3	640	230	0,16
Клапан-регулятор арматурного блока	1	90	230	0,02
Главная электрифицированная задвижка куста	1	2,2	230	1
Измерительный модуль ИВК АБАК на арматурном блоке	4	15	230	43,2
Освещение площадки арматурного блока	8	30	230	11,2
Наружное освещение энергомодуля	3	30	230	4,3
Внутренне освещение энергомодуля	6	36	230	10,2
Собственные нужды АИП	3	380	230	273
ИТОГО для потребителей 230 В				343,08

Таблица 3 – Результаты расчетов нагрузок потребителей 24 В для автономного источника питания

Наименование оборудование или системы	Кол-во	Р _н , Вт	U _н , В	Р, кВт·ч
Питание ПТК на базе ПЛК TREI	5	12	24	8,6
Питание на ИВК АБАК	4	6,6	24	19
Воздушный дизельный отопитель	1	30	24	1,4
Коммутатор Моха EDS-210	1	10	24	7,2
Собственный нужды АИП	3	180	24	172
ИТОГО для потребителей 24 В				208

Исходя из полученных расчетов по потребляемой электрической энергии при известных текущих потреблении и требуемой энергии на

промежутке времени определяем, что нам потребуется два генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга мощностью 1000 Вт. Расчет емкости аккумуляторных батарей будет произведен в разделе по выбору аккумуляторных батарей.

2.3 Функциональная схема автономного источника энергоснабжения кустовой автоматики

Необходимо выделить основные части автономного источника питания на свободнопоршневом двигателе Стирлинга, и отобразить их на функциональной схеме (рисунок 20) для понимания организации систем автономного источника электроснабжения.

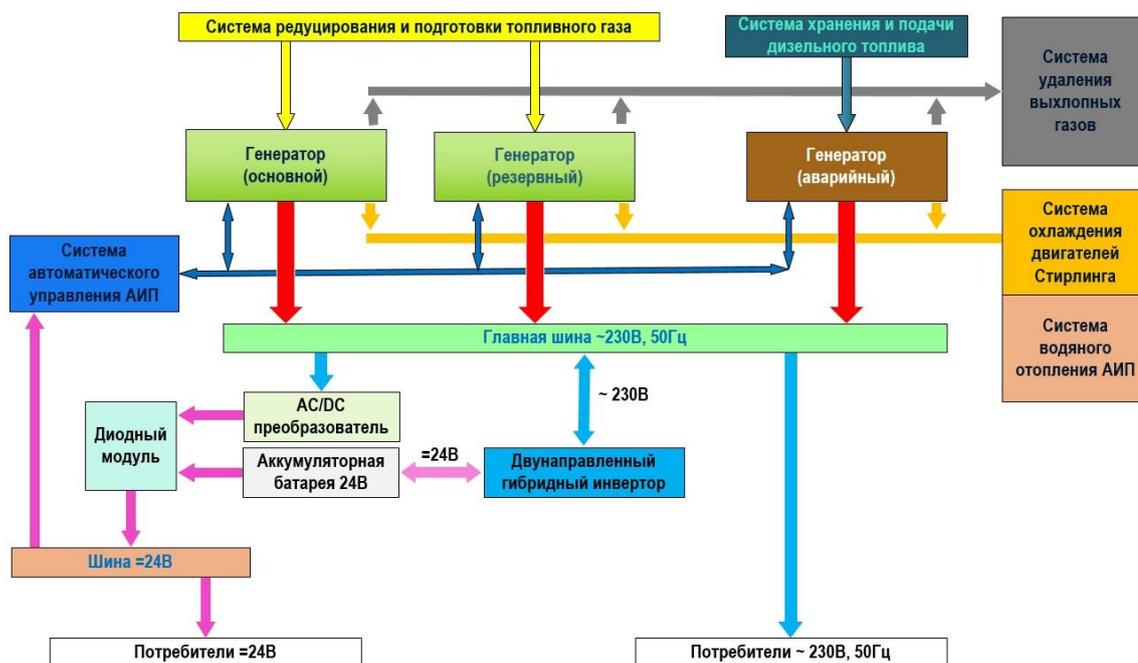


Рисунок 20 – Функциональная схема АИП

Цикл запуска двигателя Стирлинга начинается с контроля автоматикой включенного насоса охлаждающей жидкости и наличия циркуляции в системе охлаждения включая наличие минимального потока охлаждающей жидкости

через «холодную часть» двигателя Стирлинга. Следующим этапом топливный газ от основного коллектора кустовой добычи, через фильтр и установку подготовки и редуцирования газа (понижение давления и осушения) и газовый отсечной клапан, поступает на газовые горелки, автоматикой контролируется расход и давление в подводящей газовой магистрали.

Особенность работы двунаправленного инвертора заключается в том, что он может выдавать энергию на главную шину от аккумуляторных батарей, так и заряжать аккумуляторные батареи от главной шины при наличии генерации на главной шине от двигателей Стирлинга, т.е. главная шина запитана постоянно, и на ней присутствует переменное напряжение в 230 В и частотой 50 Гц.

На следующем этапе, контроллер управления газовой горелкой разжигает пламя к головке двигателя Стирлинга. При достижении температуры в 260 °С, температуру головок двигателей Стирлинга, контролируется САУ, включается контактор, соединяющий главную шину с обмоткой генератора двигателя Стирлинга, т.е. так называемый двигательный режим с самосинхронизацией генератора, при этом температура на головке продолжает возрастать и двигатель переходит из двигательного режима в генерирующий.

САУ контролирует температуру головки и параметры газовой горелки поддерживая необходимую мощность на выходе генератора, напряжение на главной шине подается от генератора двигателя Стирлинга, и двунаправленный инвертор начинает заряд аккумуляторных батарей.

Тепло от охлаждающей жидкости двигателей Стирлинга, через теплообменник поступает в систему отопления помещений АИП, имеющая свой контур охлаждающей жидкости с циркуляционным насосом. Контроль температуры в помещениях, включение кондиционера, управление вентиляцией осуществляется от САУ посредством отдельного шкафа собственных нужд. При достижении температуры в контуре охлаждения двигателей Стирлинга около 55 °С, открывается механический термостат и

излишнее тепло утилизируется на улицу через алюминиевый радиатор охлаждения.

Теперь о реализации бесперебойного питания потребителей постоянным током на напряжение 24 В. Переменное напряжение от главной шины подается на импульсный блок питания (AC/DC) с выходным напряжением в 24 В, которое на первый вход подается на диодный блок резервирования, а также напряжение с аккумуляторных батарей подается на второй вход блока резервирования. Таким образом на выходе диодного блока резервирования и образуется так называемая шина постоянного напряжения в 24 В. Данное решение выбрано для обеспечения питанием потребителей постоянного тока 24 В при необходимости производить какие-либо работы с аккумуляторных батарей (замена элементов, обслуживание и т.п.) при отключении от инвертора, и работе двигателей Стирлинга на главную шину. Стоит учесть, что в данном режиме вырабатываемая мощность генераторами должна быть меньше чем потребляемая, т.к. инверторы не смогут обеспечить подпитку шины от аккумуляторных батарей на время их обслуживания или замены.

Система удаления выхлопных газов от двигателя Стирлинга представляет собой утепленный дымоход из нержавеющей стали с минеральным утеплителем (сэндвич-трубы) отводящий отработанный газ на улицу выше кровли блок-бокса. Удаление отработанных газов происходит за счет естественной конвекции.

По результату вышеописанного, реализована возможность подключения потребителей как к переменному напряжению 230 В 50 Гц, так и к постоянному 24 В мощностью 1600 Вт (380 Вт закладывается на потребление собственными нуждами АИП).

Работа аварийного генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга заключается в обеспечении электрической и тепловой энергии потребителей в случае неисправности с газовым оборудованием на основных двигателях, это может быть и забитый газовый фильтр, неисправность газовых

редукторов, неисправность газовых горелок и т.п., либо проведение плановых работ на газовой линии или блоке подготовки газа (при наличии).

Действие автоматики, в таком случае следующее, САУ останавливает основной и резервный генераторы (предусмотрено два режима останова мгновенный или постепенный), при этом автоматика переходит в энергосберегающий режим и часть нагрузки неответственных потребителей отключается, запускает аварийный генератор на двигателе Стирлинга, работающего на горелке на дизельном топливе (по аналогии принципа горелке в жидкостном подогревателе автомобилей Webasto). При этом продолжается подогрев охлаждающей жидкости и обеспечение теплом помещений АИП и обеспечение электроэнергией основных потребителей.

В случаях, когда емкость установленных аккумуляторных батарей достаточна для длительной работы потребителей и на время, за которое обслуживающий персонал может добраться к оборудованию и устранить неисправность, аварийный генератор может не устанавливаться.

2.4 Выбор вспомогательного оборудования для автономного источника энергоснабжения

В данной части исследовательской работы будут проведены работы по поиску и выбору необходимого основного оборудования и устройств для применения в автономном источнике питания, а именно:

- газовая горелка;
- двунаправленный гибридный инвертор;
- аккумуляторные батареи;
- программируемый логический контроллер (ПЛК) для САУ АИП;

2.4.1 Выбор газовой горелки блока генерации

Для стабильного поддержания температуры «горячей части» двигателя Стирлинга мы будем использовать метановую горелку.

На данный момент существует очень много лидирующих производителей, изготавливающих метановые и пропан–бутановые (газовые) горелки любой мощности и с любым уровнем автоматизации, наличия защитных функций, к таким производителям можно отнести EuroSIT (Италия), Honeywell (Америка), Siemens (Германия), Riello (Италия).

Для правильного выбора газовой горелки требуются достаточно сложные расчёты и проведения анализа имеющихся на данный момент существующих готовых технических решений и их подбор, это дело отдельной исследовательской работы, поэтому мы поступим проще и воспользуемся предлагаемыми решениями указанными в документации изготовителя генератора на свободнопоршневом двигателе Стирлинга (China Stirling, LTD, Linear Free Piston Stirling Engine Generator), а именно использование автоматики Honeywell S4965A–3075 и включая газовым клапаном VK41 Honeywell, совместно с вентилятором Ebmpapst RG128/1300–3612 и газоводом с трубкой Вентури, изображенных на рисунке 21. Таким образом, данное оборудование представляет собой готовую модульную горелку с наличием уже встроенной автоматики защиты и контроля пламени и возможностью дистанционного управления от САУ.



Рисунок 21 – Внешний вид газовой горелки с турбиной и модулем управления [3]

Нагнетаемый воздух вентилятором проходит через трубку Вентури и с помощью инжекции затягивает и смешивает газ, образуя тем самым газоздушную смесь, которая в дальнейшем поджигается искрой и пламя подается на головку (горячую часть) двигателя Стирлинга. Регулировка мощности газовой горелки происходит изменением скорости воздушного потока, т.е. за счет изменения оборотов двигателя вентилятора нагнетания воздуха.

Такой вид газовой горелки позволяет регулировать мощность на горелке в очень большом диапазоне, и самое важное имеет очень малое значение минимальной мощности.

Применение модульной газовой горелки позволит оперативно находить неисправность при каких-либо повреждениях и поменять неисправную часть на новую и сократить время простоя оборудования, в отличие от применения уже монолитно выполненной газовой горелки.

2.4.2 Выбор двунаправленного инвертора

Инвертор – это устройство, состоящее из электронных элементов, которое преобразует постоянный ток от аккумуляторных батарей напряжением 24 В в переменный 230 В и частотой 50 Гц.

На данный момент существует уже очень большое количество производителей большое количество разного вида типа инверторов и инверторных систем, как однофазных так и трехфазных, практически с любой необходимой мощностью.

Если охарактеризовать укрупнено, то инверторы подразделяются:

а. По уровню входного напряжения:

- 1) 12 В;
- 2) 24 В;
- 3) 48 В и т.д.;

б. По виду выходного напряжения

- 1) однофазные 230 В (полномостовой, полумостовой);
- 2) трехфазные 380 В (мостовой);

- в. По форме выходного сигнала:
 - 1) прямоугольной формы выходного сигнала;
 - 2) синусоидальной формы;
 - 3) модифицированная синусоидальная форма.
- г. По методам управления ШИМ:
 - 1) широтно–импульсная модуляция;
 - 2) множественная широтно–импульсная модуляция;
 - 3) синусоидальная широтно–импульсная модуляция;
 - 4) модифицированная широтно–импульсная модуляция.

Как уже было ранее описано основная идея использования двунаправленного инвертора заключается в том, что главная шина в большей своей части находится под напряжением сформированным инвертором, и именно от главной шины происходит пуск с самосинхронизацией генераторов на двигателях Стирлинга.

Поиск подобного типа инвертора занял у меня самое значительное время, ведь как оказалось подобные системы производят для организации шины постоянного тока, что для требуемых задач не подходило. Таким образом был подобран требуемый инвертор производства Victron Energy (типа MultiPlus 24/5000/120–100/230 V) рисунок 22.



Рисунок 22 – Внешний вид инвертора Victron Energy [20]

Данный тип инвертора имеет вход, но стоит учесть, что входное напряжение и с выходным напряжением не сфазированы, таким образом при питании главной шины от генераторов на двигателе Стирлинга подача напряжения на инвертор категорически запрещена, данный вход служит только как внешняя подача на АИП напряжения например при длительной транспортировке в перед приемо-сдаточными работами необходимо произвести предварительную полную зарядку аккумуляторных батарей и подогрев охлаждающей жидкости контура блоков генераторов от переносного бензогенератора небольшой мощности стоящего на улице.

Самый требуемый параметр инвертора – это его двунаправленный выход, который позволяет не только питать главную шину от аккумуляторных батарей, но и производить заряд этих же аккумуляторов при генерации электроэнергии на выходных клеммах (главной шине). Это уникальность инвертора и поможет нам запускать двигатели Стирлинга и заряжать аккумуляторы, когда двигатели перейдут в генераторный режим, причем все переходы режимов осуществляются без токовой паузы и практически без отклонения параметров на главной шине, к которой подключены потребители электрической энергии.

Не стоит забывать и о необходимом требовании к надежности инвертора, в связи с чем, было заложено чуть большее значение мощности инвертора (5000Вт), ну и стоит учесть, что тип данного инвертора считается промышленного исполнения, поэтому данный выбранный тип инвертора будет соответствовать всем требуемым критериям и эксплуатационным характеристикам.

Внешний вид инвертора Victron Energy Multi Plus 5000 изображен на рисунке 21. В данном случае стоит сказать об элементе безопасности в цепи постоянного тока, и это включение в цепь постоянного тока от аккумуляторных батарей до инвертора специализированного предохранителя для постоянного тока. Так как предохранители для переменного тока имеют меньшие размер камеры и соответственно габариты ввиду того, что дуга в

переменных токах имеет перемежающийся характер с переходом через ноль, соответственно погасить такую дугу проще, чем от постоянного напряжения. Этими же характеристиками и отличаются не только предохранители, но и автоматические выключатели для постоянного тока.

2.4.3 Выбор аккумуляторных батарей

С каждым днем совершенствуются технологии и изучаются химические составы для реализации аккумуляторных батарей с возможностью увеличения емкости и силы отдаваемой энергии при уменьшении масса–габаритных размеров. Сегодня очень широко и повсеместно используются аккумуляторные литиевые батареи, которые используются в современных гаджетах, ручном инструменте и даже автомобилях. На данный момент разрабатываются все более новые типы аккумуляторных батарей на основе лития (LiFePO_4 , LTO и так далее).

В данной работе мы не будем рассматривать применение литиевых аккумуляторных батарей, в виду того, что на данный момент нет постоянно отработанного промышленного применения данного вида аккумуляторов для существующего оборудования (инверторов, ИБП и т.д.). В связи с этим в данной части научной работы будет рассмотрено популярное и повсеместно используемое промышленное решение, а именно использование свинцово–кислотных аккумуляторных батарей.

Следует обратить внимание на некоторые свойственные моменты при использовании свинцово–кислотных аккумуляторных батарей. Также попробуем разобрать основные популярные и доступные, на данный момент, для возможного использования в подобных системах хранения и распределения электрической энергии.

При рассмотрении свинцово–кислотных аккумуляторных батарей можно их классифицировать по следующим признакам:

По назначению использования:

- тяговые свинцово–кислотные аккумуляторы;
- стартерные свинцово–кислотные аккумуляторы;

– промышленные стационарные свинцово–кислотные аккумуляторы.

По состоянию электролита:

– Absorbent Glass Mat (AGM), в данном виде свинцово–кислотных аккумуляторных батареях электролит адсорбирован стекломатами;

– гелевые (Gell Cell) у данного вида батарей электролит загущен с помощью силикагеля;

– с жидким электролитом.

По конструкции положительных пластин:

– Плоские или поверхностные;

– панцирные трубчатые;

– стержневые намазные;

– решетчатые (пастированные).

По возможности обслуживания:

– не обслуживаемые, герметичные, которые не требуют доливать дистиллированной воды на всем сроке службы;

– обслуживаемые, которые имеют возможность доливать дистиллированную воду.

Различные виды и типы свинцово–кислотных аккумуляторных батарей изображены на рисунке 23.



Рисунок 23 – Типы свинцово–кислотных аккумуляторных батарей [8]

Свинцово–кислотные аккумуляторные батареи на данный момент являются основным решением используемое в промышленных масштабах для систем бесперебойного питания. Применение литиевых аккумуляторов в источниках бесперебойного питания, на данный момент, достаточно не распространено и не имеет доступности. Ко всему стоимость самой литиевой аккумуляторной батареи в разы превышает стоимость свинцово–кислотной аккумуляторной батареи. Поэтому, в данном случае, применение именно свинцово–кислотных аккумуляторов будет актуально и доступно.

Для подбора аккумуляторной батареи был произведен анализ существующих доступных производителей и сделан запрос по отзывам о заявленных сроках работы при эксплуатации.



Рисунок 24 – Внешний вид аккумуляторов PowerSafe типа OPzV 6 OPzV 300 (VO) 2V 490Ah [9]

Выбор был остановлен на герметизированных аккумуляторах производства PowerSafe типа OPzV 6 OPzV 300 (VO) 2V. Внешний вид указанных элементов изображен на рисунке 24.

Для того, чтобы свинцово–кислотные аккумуляторные батареи могли работать на всем заявленном сроке службы, согласно документации изготовителя и опыта эксплуатации таких батарей, требуется выполнение нескольких условий, к которым относится:

- поддержание температуры на уровне 10–15 °С;

- не допускать понижения напряжения ниже 1,82 В на элемент;
- наличие активных балансировочных устройств на каждом элементе аккумуляторной батареи.

Проведение работ по техническому обслуживанию аккумуляторных батарей (цикла разряд/заряд), ориентировочно не менее двух раз в год, позволит реализовать максимально заявленную производителем срок службы работы элементов в составе аккумуляторной батареи. Периодические циклы разряда и заряда до 50 % емкости, позволят вычислить оставшуюся емкость и время работы от аккумуляторов.

Установка дополнительно активных балансиров позволит поддерживать на батареи заданное напряжение на каждом элементе. Ввиду небольшой разницы по внутреннему сопротивлению каждого элемента, зарядка каждого элемента происходит не равномерно, какие-то элементы берут больше тока и соответственно будут заряжены быстрее, другим же нужно больше времени для заряда. Если элемент уже набрал емкость, то напряжение на нем будет повышено, что приведет к «кипению» электролита, что очень сильно уменьшает срок службы.

Для определения требуемой емкости аккумуляторных батарей произведём необходимые расчёты. Для определения емкости нам понадобятся исходные данные по расчётам, такие как:

- определение суммарной мощности потребителей при работе от аккумуляторных батарей.
- определение требуемого времени автономной работы от аккумуляторных батарей.

Так как ранее по тексту были проведены расчёты по мощности потребителей для определения общей мощности автономного источника питания, мы можем воспользоваться данной информацией и тем самым определить потребители, которые будут запитаны в аварийном режиме работы от аккумуляторных батарей, питающих через инвертор. Таким образом исходя

из расчетов в п.2.2 выделяем основные потребители в аварийном режиме питания:

- ПТК на базе ПЛК TREI;
- ИВК АБАК;
- коммутатор Моха EDS–210.

Следующим этапом при определении времени автономной работы от аккумуляторных батарей необходимо определить возможность доступа при аварии к данному оборудованию, в данном случае определено, что требуемое время автономной работы от аккумуляторных батарей составляет не менее 12 часов.

Рекомендацией при расчетах требуемой емкости аккумуляторных батарей при использовании свинцово–кислотных аккумуляторов, исходя из опыта эксплуатации, является увеличение расчетной емкости вдвое, это связано с быстрой деградацией аккумуляторных батарей данного типа.

$$C_{\text{акб}} = \frac{P_{\text{п}} \cdot t}{U_{\text{акб}} \cdot 0,5 \cdot K_{\text{ин}}} \quad (1)$$

где: $C_{\text{акб}}$ – емкость аккумуляторной батареи;

$P_{\text{п}}$ – мощность потребителей при питании от аккумуляторной батареи;

t – время автономной работы от аккумуляторов;

$U_{\text{акб}}$ – напряжение аккумуляторной батареи;

$K_{\text{ин}}$ – КПД инвертора.

Теперь произведем расчеты согласно вышеуказанной формулы:

$$C_{\text{акб}} = \frac{360 \cdot 12}{25 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 400 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Согласно линейки выпускаемых аккумуляторных батарей производителем PowerSafe типа OPzV 6 OPzV 300 (VO) 2V принимаем

использование ёмкости аккумуляторов с емкостью в 490 А·ч (OPzV 6 OPzV 300 (VO) 2V 490Ah).

2.4.4 Выбор программируемого логического контроллера для системы автоматического управления

Современные программируемые логические контроллеры (ПЛК) позволяют реализовать практически любую поставленную задачу по полной автоматизации технологического процесса и возможностью дистанционного контроля и управления. В связи со сложившейся ситуацией в нашу страну не поставляется применяемые повсеместно контроллеры европейских стран. Что в свою очередь позволило местным производителям стать конкурентоспособными на рынке.

К основным преимуществам современных ПЛК можно отнести:

- универсальность управляющих функций;
- надежность;
- эффективность и производительность;
- исполнение корпуса;
- простота программирования;
- поддержка практически любых современных протоколов;
- совместимость между оборудованием сторонних производителей.

В процессе эксплуатации нефтяной и газовой промышленности с положительной стороны зарекомендовали себя ПЛК таких производителей как:

- «Trei», АО «ТРЕЙ»;
- Regul, ООО «Прософт–Системы»;
- NLSON, ООО «Реаллаб»;
- ПЛК2xx, ООО «ОВЕН»;
- MKLogic, ООО «Нефтеавтоматика».

Опыт использования данных контроллеров показывает достаточную надежность при использовании перечисленных типов контроллеров при различных условиях эксплуатации.

В данном случае выбор используемого оборудования для системы автоматического управления автономных источников энергоснабжения будет сделан в пользу производителя ОВЕН, ввиду опыта использования автором данного типа оборудования. На данный момент производителем выпущена современная и высокопроизводительная линейка сенсорных панельных контроллеров, совмещающие в себе функции панели оператора и ПЛК (рисунок 25).

Таким образом для построения системы автоматического управления автономного источника энергоснабжения кустовой автоматики выбран ПЛК СПК–210 ОВЕН, обработка нижестоящих устройств, датчиков, и приборов будет реализовано с помощью использования модулей ввода/вывода серии Мх210 ОВЕН.



Рисунок 25 – Внешний вид СПК–210 ОВЕН [18]

Выбранный контроллер позволит реализовать полностью современную систему отвечающим всем необходимым современным требованиям, нормам и правилам. Использование оборудование одного поставщика позволит обеспечить качественную и надежную связь между оборудованием. При проведении работ по программирования производителя ОВЕН имеется

возможность использования уже готовых и отработанных библиотек и макросов, которые способствуют улучшению производительности и отсутствия ошибок в прошивке управляющей программы контроллера при ее работе. Производителем данного оборудования имеются необходимые доступные ресурсы (техподдержка, форум, телефоны узких технических специалистов) позволяющие в кратчайшие сроки решить проблему, выявить ошибку при разработке или эксплуатации оборудования.

Как уже было сказано выше в качестве нижестоящих устройств опрашиваемыми датчики и контактные состояния, а также управление дискретными и аналоговыми сигналами используются модули ввода/вывода серии MB210 ОВЕН (рисунок 26). Данный тип модулей входит в состав экосистемы на серию приборов ОВЕН. Передача данных между модулями и ПЛК осуществляется по сети Ethernet.



Рисунок 26 – Внешний вид модулей MB210 ОВЕН [10]

При реализации систем автоматического управления особое внимание следует уделить разделению силовых и кабельных связей внутри шкафа, разделению цепей питания и передачи сигналов. При использовании интерфейсов следует использовать специально предназначенный для этого кабель. Так же следует обратить внимание на качество прокладки силовых и контрольных кабельных линий внутри помещений.

Только качественно проведенные работы по прокладке и разделению кабельных линий и заземление, позволит избежать пагубного влияния силового электромагнитного поля на измерительные линии.

Примером применения оборудования ОВЕН изображено на рисунке 27.

Стоит отметить, что САУ автономного источника энергоснабжения кустовой автоматики должно позволить интегрировать в вышестоящую систему верхнего уровня, такую как АСУ ТП.

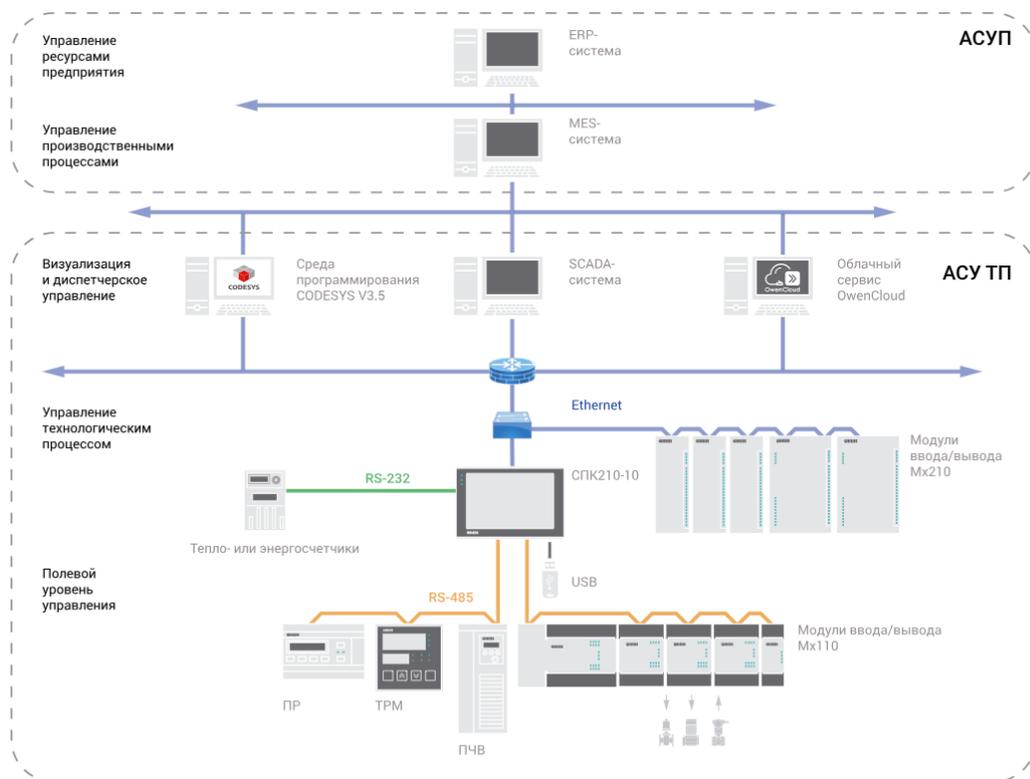


Рисунок 27 – Схема применения СПК–210 ОВЕН [17], [19]

Реализация передачи данных в существующую SCADA–системе позволит вести дистанционный непрерывный контроль за работой оборудования, формировать графики аналоговых значений, вести журнал событий и аварий. Таким образом обслуживающему персоналу будет возможность дистанционно произвести анализ неисправностей, аварий и

принять меры по недопущению аварийного отключения потребителей электрической энергии от автономного источника энергоснабжения.

Выводы по разделу 2

В ходе проведения работ по данному разделу было произведено большой объем работ по анализу существующего современного электрооборудования, аппаратов и устройств, применяемых в промышленных целях для реализации разнообразных задач.

В ходе работы был произведен анализ существующего на данный момент оборудования. Следующим этапом сделан подбор основного оборудования для реализации автономного источника питания на генераторе со свободнопоршневым двигателем Стирлинга.

По результату проделанной работы в данном разделе исследовательской работы составлен перечень (приложение Б таблица 8) оборудования для реализации автономного источника электроснабжения на генераторе со свободнопоршневым двигателем Стирлинга.

3 Техничко–экономический эффективность капитальных вложений на реализацию автономного источника электроснабжения

3.1 Расчёт стоимости строительства воздушной линии электропередач

В данной разделе научной работы будет проведена работа по технико–экономическому расчёту эффективности внедрения АИП на базе свободно–поршневого двигателя Стирлинга по сравнению с постройкой воздушной линией электропередач 10 кВ. Таким образом мы сможем явно выделить основную экономическое достоинство на капитальные вложения при использование автономного источника электроснабжения. Как было сказано выше при реализации технического решения по обеспечению электроснабжением кустовой автоматики на удаленных объектах соседнего лицензионного участка, протяженность линии электропередач 10 кВ составит порядка 60 километров. Были рассмотрены варианты подключения питания кустовой автоматики от проходящих рядом воздушных линий электропередач сторонних организации, но оказалось так, что протяженность до этих линии составило такое же расстояние, а уровень напряжения такой ВЛЭП составляет 110 кВ, что в свою очередь поведет за собой использование более дорогого электрооборудования.

Как уже было сказано выше, неким стандартным техническим решениям даже повсеместным для электроснабжения кустовой автоматики на газодобывающих промыслах является использование воздушных линий электропередач 10 кВ, одно или двухцепные линии с отпайками на кусты газовых скважин. Непосредственно на кустах устанавливается понижающая КТП требуемой мощности и непосредственно сам блок–бокс управления кустовой автоматики, в котором расположено все необходимое оборудование.

Основные этапы строительства, относящиеся к первоначальным финансовым вложениям при строительстве линии воздушной электропередач (ВЛЭП) можно выделить поэтапно, а именно:

- оптимальное прохождение ВЛЭП. Необходимо определить оптимальное прохождение ВЛЭП, учитывая все географические аспекты: расположение жилых объектов, водоемов, мостов, автомобильных дорог и т.п.;
- проведение работ по инженерно–геодезическим изысканиям. В ходе данных работ проводится обследование участка, по которому пройдет ВЛЭП, для определения типа почвы, погодных условий, перепадов высот, рельефа местности и т.п.;
- проектирование. Разработка проектным институтом графических и текстовых материалов, включая во внимание все требуемые нормы и правила, а также пожелания заказчика, и предоставленные инженерно–геодезические изыскания;
- разрешение на строительство ВЛЭП. Следующим этапом требуется подготовка необходимых документов и направление их в соответствующие инстанции для согласования и выдачи требуемых документов на строительство ВЛЭП;
- проведение монтажных работ в свою очередь тоже можно разделить на несколько этапов, а именно;
- расчистка территории, для прокладки ВЛЭП, при этом требуется очистка территории не только для самой линии электропередачи, но и охранной зоны ВЛЭП;
- доставка спецтехники и материалов и приспособлений для монтажа;
- монтаж опор и сборка линии;
- по окончанию электромонтажных работ проводятся работы по приемо–сдаточным испытаниям и комплектования исполнительной документации. В этот же пункт можно отнести и получение разрешения на эксплуатацию ВЛЭП.

Также для обеспечения селективности и отключения неисправной отпаечной линии при аварии требуется установка реклоузеров на отпайки от ВЛ, а также установка понижающих КТП, данный вид оборудования тоже является финансово затратным и достаточно сильно повышает стоимость.

Таблица 4 – Стоимость проектных работ для ВЛЭП

Этап выполнения работ	Наименование работ	Стоимость (тыс. руб.) на 1 км ВЛ
Подготовка исходных данных	Выезд на место и сбор исходных данных	4,5
	Проведение работ по топографической съемке	10
	Проведение работ на геодезические и геологические изыскания	7
Подготовка основного пакета проектной документации	Подготовка проектной части по проектированию ВЛЭП (планы, чертежи, таблицы, спецификации, расчеты, ведомости и т.д.)	8,5
	Подготовка проектной части по сметам на выполнение работ по монтажу и ПНР ВЛЭП	2,5
Согласование	Согласование проектной документации с соответствующими органами, службами, организациями, прохождение государственной экспертизы	10
	Получение разрешения на строительство	1
ИТОГО:		43 тыс.руб.
ИТОГО на 60 км ВЛЭП		2 580 тыс. руб.

Стоит отметить, что проектный институт самостоятельно направляет специалистов, которые проводят работы по каждому этапу выполнения, если они требуются по месту. Результатом выполненных работ при проектировании является готовый пакет руководящей документации, включая все необходимые документы по согласованию с необходимыми учреждениями.

Таблица 5 – Стоимость материалов и оборудования ВЛЭП

Наименование оборудования	Стоимость 1 единицы оборудования (тыс. руб.)	Требуемое количество на 1 км ВЛЭП	Стоимость (тыс. руб.) на 1 км ВЛ
Опора АУС10Ф–1.2СР	651,840	18 шт.	11 733,12
Изолятор ШФ–20Г УО	1,59	120	190,8
Свая стальная забивная ЗСЛ 219 (6 метров)	45,36	28	1 270,08
Разъединитель РНЛД1.1–10.400 УХЛ1 с приводом ПРНЗ	42,05	0,083	3,58
Провод СИП–3 1x120–20	164	6,05	992,2
Реклоузер ПСС–10ISM–DRP	865	0,05	43,25
Кабель АПВБП 3x120/16 10кВ (перемычки до и от ВЛЭП)	1,66	2	3,32
КТП–ВС 25/10/0,4	186,6	0,033	6,2
ИТОГО на 1 км. ВЛЭП:			14 250
ИТОГО на 60км ВЛЭП:			855 000,0

По предоставлено информации от управления капитальным строительством и ремонта ООО «НОВАТЭК–ЮНГ», а также исходя из уже реализованных и планируемых строительствах объектах источников, проведен анализ затрат на проведение работ на строительно–монтажные работы и проведение пуско–наладочных работ. Таким образом было определено, что стоимость строительно–монтажных работ и пусконаладочным работам составляет приблизительно около 30 % от стоимости оборудования

Таким образом мы можем произвести расчёты по затратам на СМР и ПНР:

$$C_m = \left(\frac{C_{об}}{100} \right) \cdot 30 = \frac{855000}{100} \cdot 30 = 256500 \text{ тыс. руб}$$

После получения сумм на оборудование и затраты СМР и ПНР рассчитаем результирующую сумма капитальных вложений при

строительстве двухцепной ВЛЭП 10 кВ длиной 60 километров будет составлять:

$$C_{\text{ВЛ}} = C_{\text{м}} + C_{\text{об}} + C_{\text{п}} \quad (2)$$

где $C_{\text{ВЛ}}$ – общая сумма капитальных вложений при строительстве ВЛЭП;

$C_{\text{м}}$ – стоимость строительно–монтажных работ и ПНР;

$C_{\text{об}}$ – капитальные вложения на приобретение оборудования;

$C_{\text{п}}$ – стоимость проектных работ и изысканий.

Получаем следующее значение:

$$256500 + 855000 + 2580 = 1114080 \text{ тыс. руб}$$

По итогу проведённых расчётов мы получили ориентировочную сумму затрат при строительстве воздушной линии электропередач 10 кВ на расстоянии 60 километров.

3.2 Расчет стоимость строительства автономного источника энергоснабжения

В стоимость по автономному источнику питания на основе свободнопоршневого двигателя Стирлинга будет рассмотрено крупно узловой расчет стоимости основных элементов оборудования для реализации, а также включены работы по проведению и подготовке проектной документации.

После проведения подсчётов и трат на приобретаемое оборудование для реализации автономного источника энергоснабжения, также, как и в предыдущей части расчётов, будет произведен расчет требуемых затрат на проведение работ по СМР и ПНР оборудования.

Стоимость работ по выполнению проектной документации основано на предоставленной информации от проектного института ООО «ОйлГазПроект» основываясь на запросе коммерческого предложения технического задания и предоставления прайс–листа на выполнение стандартных видов работ по проектированию.

Таблица 6 – Стоимость проектных работ для автономного источника энергоснабжения

Этап выполнения работ	Наименование работ	Стоимость (тыс. руб.)
Подготовка исходных данных	Выезд на место и сбор исходных данных	250
	Проведение работ по топографической съемке	500
	Проведение работ на геодезические и геологические изыскания	780
Подготовка основного пакета проектной документации	Подготовка проектной части по проектированию (планы, чертежи, таблицы, спецификации, расчеты, ведомости и т.д.)	360
	Подготовка проектной части по сметам на выполнение работ по монтажу и ПНР ВЛЭП	55
Согласование	Согласование проектной документации с соответствующими органами , службами, организациями, прохождение государственной экспертизы	150
	Получение разрешения на строительство	120
ИТОГО:		2215

Стоимость оборудования, указанного в таблице 7, было взято из предоставленных коммерческих предложений от поставщиков оборудования на официальных торговых площадках, а также из существующих счетов на оборудование отдела капитального строительства и ремонта ООО «НОВАТЭК–ЮНГ», которое аналогично используется на объектах промысла.

Таблица 7 – Стоимость оборудования для автономного источника энергоснабжения на базе генератора со свободнопоршневым двигателем Стирлинга

Наименование работ	Количество	Стоимость (тыс. руб.) за шт.	Общая стоимость (тыс. руб.)
Комплект блок–генератор на свободнопоршневом двигателе Стирлинга с газовой горелкой, датчиками, и ТЭНом сброса мощности	3	14 800	44400
Пассивный радиатор охлаждения ОЖ	1	1 700	1 700
Трубопровод газа	2	1200	2400
Трубопровод ОЖ	1	810	810
Комплект аккумуляторных батарей из 12шт. 2.4В по 1200А/ч	12	95	1140
Двунаправленный инвертор	1	1 400	1400
Шкаф распределительный соответствующим электрооборудованием и электроаппаратами	1	1 700	1700
Блок подготовки газа	1	12 000	12000
Система автоматического управления в составе готового шкафа	1	2 100	2000
Блок–бокс из трех отсеков	1	2 100	2100
Оборудование системы собственных нужд блок–бокса (обогрев, освещение, ОПС, видеонаблюдение, и т.п.)	1	680	680
Металлический ростверк под блок–бокс	3	400	1200
Сваи стальные забивные СМ325*10	12	95 500	1145
ИТОГО			72 500

Как и в предыдущем случае при расчетах стоимости затрат на СМР и ПНР будем закладывать значение около 30 %. В соответствии с этим стоимость работ на СМР и ПНР автономного источника электроснабжения будет составлять:

$$C_M = \left(\frac{C_{об}}{100} \right) \cdot 30 = \frac{72500}{100} \cdot 30 = 21750 \text{ тыс. руб}$$

В связи с предварительной заложенной перспективой на расширения и освоения Северо–Часельского лицензионного участка добычи газа и газового конденсата, расчеты будут приводиться к реализации, как минимум, трех кустовых площадок. Таким образом потребуется как минимум 3 блок–бокса энергомодулей автономных источников энергоснабжения кустовой, что и будет внесено в соответствующую формулу при расчётах.

$$C_{\text{АИЭ}} = 3 \cdot (C_{\text{м}} + C_{\text{об}} + C_{\text{п}}) \quad (3)$$

где $C_{\text{АИЭ}}$ – общая сумма капитальных вложений при строительстве автономного источника энергоснабжения;

$C_{\text{м}}$ – стоимость строительно–монтажных работ и ПНР;

$C_{\text{об}}$ – капитальные вложения на приобретение оборудования;

$C_{\text{п}}$ – стоимость проектных работ и изысканий.

Получаем:

$$C_{\text{АИЭ}} = 3 \cdot (72500 + 21500 + 2215) = 288645 \text{ тыс. руб}$$

Выводы по разделу 3

Согласно выполненным работ по расчетам капитальных вложений при строительстве воздушной линии электропередач 10 кВ и реализации автономного электроснабжения кустовой автоматики можем видеть реальную экономию средств исходя из полученных данных, которые для строительства линии воздушной электропередач составило около 1,2 млрд. рублей, и для реализации автономного электроснабжения кустовой автоматик на базе генераторов со свободнопоршневого двигателя Стирлинга составило порядка 300 млн. рублей, что практически в 4 раза дешевле.

Заключение

Несомненно, требование современных нормативных актов требует от промышленности внедрять в свое оборудование все более новые устройства и материалы, позволяющие повысить энергоэффективность и уменьшить количество опасных выбросов при производстве выпускаемой продукции. При более жестких требованиях требуется реализация и внедрение высокотехнического оборудования, использование и замена старого оборудования с повышенным КПД и использование более производительной микроконтроллерной и микропроцессорной техники. Таким образом требуется постоянное инвестирование в более современные и инновационные технологии, которые позволят в дальнейшем дадут перспективу на получение более надежного, стабильно, и максимально эффективного производства.

Как известна, что рост потребления электрической энергии в настоящее время растет с невероятно большим темпом, и все большая часть единой электрической сети становится в режим дефицита мощности. Традиционным методом выработки электрической энергии до сих пор остается тепловые электростанции, которые в последнее время все больше переходят на использование газа как основного топлива, что в свою очередь положительно влияет на экологию, но все же является недостаточным.

Требования к снижению энергопотребления является основной задачей современного общества и должны ставиться на первый уровень. Для этого требуется переход на более энергоэффективное и энергосберегающее оборудование и устройства, а также для повсеместной возможности использования альтернативных источников энергоснабжения должны быть приняты меры на самом высоком политическом уровне.

Исходя из проведенного анализа, а также технических условий был подготовлено основные требования к обеспечению потребителей электрической энергией и теплом для помещения временного пребывания персонала, в связи с удаленностью кустов газовых скважин, расположенных

на соседнем лицензионном участке. Таким образом сформировались следующие требования:

- наличие помещения для временного пребывания персонала, с возможностью обеспечения температуры в помещении на уровне 22–25 °С в холодное время года для обогрева;
- обеспечение надежным источником электрической энергией, как потребителей 24 В постоянного тока, так и потребителей 230 В.

Влияние поставленных требований кардинально повлияло на возможность постановку задач для научного исследования. Так существующие системы альтернативных источников электрической энергии не способны обеспечить требуемым количеством мощности для помещения обогрева персонала в сильные морозы, и в условиях зимы в районах крайнего севера, когда солнце не поднимается над горизонтом, а мощность, получаемая от ветряных генераторов совсем не велика, а условия для работы ветрогенераторов по наличию достаточной скорости ветра может случаться один или два раза в месяц.

В данной магистерской диссертации разработано техническое решение по внедрению автономного источника электроснабжения для питания кустовой автоматики Северо–Часельского газоконденсатного промысла лицензионного участка ООО «НОВАТЭК–ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» на основе генераторов со свободнопоршневым двигателем Стирлинга, которое является эффективным, экономичным и надежным решением по обеспечению электрической и тепловой энергией потребителей. Данное решение позволит снизить негативного влияния на земли районов крайнего севера при строительстве воздушных линий электропередач.

В ходе выполнения работ по данному научному исследованию были решены следующие поставленные задачи:

Проведен анализ существующих и современных технических решений по обеспечению электропитанием кустовой автоматики. Рассмотрены основные преимущества и недостатки разобранных решений, выделены

основные моменты, которые не соответствуют требованиям к реализации для конкретно применяемого решения.

Следующей выполненной задачей является проработка существующего оборудования, аппаратов, устройств, позволяющих реализовать конструктив автономного источника электроснабжения на основе генератора со свободнопоршневого двигателя Стирлинга, включающий в себя основные узлы и устройства.

Проведена работа по расчетам и сравнению капитальных вложений при строительстве воздушной линии электропередача и энергомодуля автономного источника электроснабжения кустовой автоматики. По результатам расчета сделан вывод, что рентабельнее использовать автономный источник питания, так как стоимость строительства ВЛЭП превышает практически в 4 раза по финансовым затратам.

Основным энергосберегающим и энергоэффективным эффектом от внедрения автономного источника энергоснабжения на основе генератора со свободнопоршневым двигателем Стирлинга является сравнительная характеристика КПД. Как уже было сказано выше, на данный момент электроснабжение существующих кустовых площадок Берегового газоконденсатного промысла осуществляется с помощью ПАЭС–2500 кВт работающих на газовом топливе, КПД данных электростанций составляет порядка 24–29 %, плюс ко всему имеются потери при распределении и преобразовании электрической энергии до требуемого уровня напряжения для потребителя. Когда при использовании генераторов со свободнопоршневым двигателем Стирлинга мы имеем КПД порядка 50 %, по уровню напряжение, требуемое потребителю, без дополнительного преобразования. Повышенное КПД связано с тем, что в данном случае используется не только вырабатываемая электрическая энергия, но и тепловая энергия для отопления помещений, что и повышает КПД агрегата в целом.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Ветрогенератор с горизонтальной осью мощностью 300Вт Renogen Solar Power, [Электронный ресурс] URL: https://renogensolar.com/?attachment_id=1300 (дата обращения: 02.02.2025).
2. Воздушный отопитель AERO COMFORT 2D-12 ООО «БАКОР» [Электронный ресурс] URL: https://bakor.pro/catalog/aksessuary/vozdushnye_avtonomnye_otopiteli/vozdushnyy_otopitel_aero_comfort_2d_12_kv_12v (дата обращения: 01.03.2025).
3. Горелка BG2000S-45PRO 'ACV' 237D0155, [Электронный ресурс] URL: <https://boilerspares.ru> (дата обращения: 15.02.2025).
4. Двигатель Стирлинга (двигатель внешнего сгорания). [Электронный ресурс] URL: <http://tm.spbstu.ru>, (дата обращения: 15.02.2025).
5. Двигатель Стирлинга, Википедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_Стирлинга?ref=dtf.ru (дата обращения: 01.03.2025).
6. Измерительно-вычислительный комплекс АБАК+, НИЦ «Инкомсистем» [Электронный ресурс] URL: <https://incomsystem.ru/abak-controllers/products/izmeritelno-vychislitelnyy-kompleks-abak> (дата обращения: 01.03.2025).
7. Источники автономного энергообеспечения ЭВОГРЕСС на базе свободнопоршневого двигателя. [Электронный ресурс] URL: <https://evogress.com/> (дата обращения: 13.02.2025).
8. Как утилизировать аккумуляторы: процесс и переработка, [Электронный ресурс] URL: <https://othodovod.ru/utilizaciya/kak-utilizirovat-akkumulyator-protsess-i-pererabotka> (дата обращения 25.03.2025).
9. Каталог аккумуляторных батарей, PowerSafe типа OPzV 6 [Электронный ресурс] URL: <https://www.enersys.com> (дата обращения: 15.02.2025).

10. Модули ввода/вывода, общая информация о модулях расширения сигналов серии Mx210, ОВЕН, [Электронный ресурс] URL: https://owen.ru/catalog/moduli_vvoda_vivoda/info (дата обращения: 13.02.2025).

11. Нормы расстояния между опорами ЛЭП — требования при установке столбов для линий электропередач [Электронный ресурс] URL: <https://oospares.ru/voprosy/rasstoyanie-mezhdu-oporami-vl.html> (дата обращения: 15.02.2025).

12. Полупроводники, история создания, [Электронный ресурс] URL: <https://www.mastervintik.ru/nachinayushhim-radiolyubitelyam-o-poluprovodnikah/> (дата обращения: 01.03.2025).

13. Российский производитель газового оборудования, «ФАСЭНЕРГОМАШ», официальный сайт производителя, [Электронный ресурс] URL: <https://fasenergo.ru/> (дата обращения: 15.02.2025).

14. Российский производитель газового оборудования, «ФАСЭНЕРГОМАШ», официальный сайт производителя, когенерационная модульная установка ФАС-50/70 [Электронный ресурс] URL: <https://fas1.ru/kogeneratsionnaya-ustanovka-50-70m-380v> (дата обращения: 15.02.2025).

15. Седов А.В. Современные решения по автоматизации газотурбинной электростанции ПАЭС–2500: презентация [Электронный ресурс] / А. В. Седов : Калининград. 2013. — Совещание, 18–21 июня 2013 г. (дата обращения: 13.02.2025).

16. Сибикин Ю.Д. Альтернативные источники энергии : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. — 2-е изд., стер. — Москва : ИНФРА–М, 2024. — 247 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/1862890. – ISBN 978–5–16–019494–3. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2124807> (дата обращения: 13.02.2025).

17. Системы линейной телемеханики, НПО «Вымпел» [Электронный ресурс] URL: <https://vumpel.group/products/telemechanics/sistema-lineynoy-telemekhaniki> (дата обращения: 13.02.2025).

18. Системы обнаружения утечек, НПО «Вымпел» [Электронный ресурс] URL: <https://vumpel.group/products/telemechanics/sistema-obnaruzheniya-utechek> (дата обращения: 13.02.2025).

19. СПК210 сенсорные панельные контроллеры, ОВЕН, [Электронный ресурс] URL: <https://owen.ru/product/spk210> (дата обращения: 13.02.2025).

20. СПК110 ОВЕН панельный программируемый контроллер со встроенным сенсорным экраном 10" [Электронный ресурс] URL: <https://www.owenkomplekt.ru/product/spk110-oven-panelnyy-programmiruemyy-kontroller-so-vstroennym-sensornym-ekranom-10/> (дата обращения: 13.02.2025).

21. Устройство MultiPlus, Victron Energy [Электронный ресурс] URL: <https://www.victronenergy.ru> (дата обращения: 15.02.2025).

22. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2009, N 48, ст. 5711; 2018, N 30, ст. 4556).

23. Ячейки КРУ СЕРИИ К-128 «КЛАССИК» 6-10кВ. ООО «Мосэлектрощит». [Электронный ресурс] URL: <https://www.moselectroshield.ru/production/kru/6-10-kv/k-128/> (дата обращения: 13.02.2025).

24. Free Piston Stirling Engine, MicroGen engine corporation [Электронный ресурс] URL: <https://www.microgen-engine.com> (дата обращения: 01.03.2025).

25. Graham Walwer, J.R. Senft, Free Piston Stirling Engines, Lecture Notes in Engineering (LNENG, volume 12), book, 1985, URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-82526-2> (дата обращения: 13.02.2025).

26. Power beyond Solar, The World Leading PV and Smart Energy IoT Solution Provider, Trina Solar Co., LTD, URL:

<https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Trina%20Solar%20210%20Vertex%20N%20Product%20Whitepaper.pdf>, (дата обращения: 13.02.2025).

27. STIRLING ENGINES by G.Walkwer, Glarendon Press, Oxford 1980, URL: https://openlibrary.org/books/OL4425125M/Stirling_engines (дата обращения: 13.02.2025).

28. Thermoelectric effect, Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect (дата обращения: 13.02.2025).

29. Trina Solar Co., LTD, Trina Solar publishes white paper on 210mm n-type i-TOPCon advanced technology, Upgraded Vertex N 605W/695W leads among utilities, URL: <https://www.trinasolar.com/us/resources/newsroom/Trina-publishes-whitepaper-on-210mmn-typei-TOPCon-tech>, (дата обращения: 13.02.2025).

30. Yangyang Yuan, Efficiency at Maximum Power of a Quantum Stirling Heat Engine, International Journal of Theoretical Physics 63(12):1-15, URL: https://www.researchgate.net/publication/387298052_Efficiency_at_Maximum_Power_of_a_Quantum_Stirling_Heat_Engine, (дата обращения: 01.03.2025).

Приложение А
Однолинейная схема электроснабжения

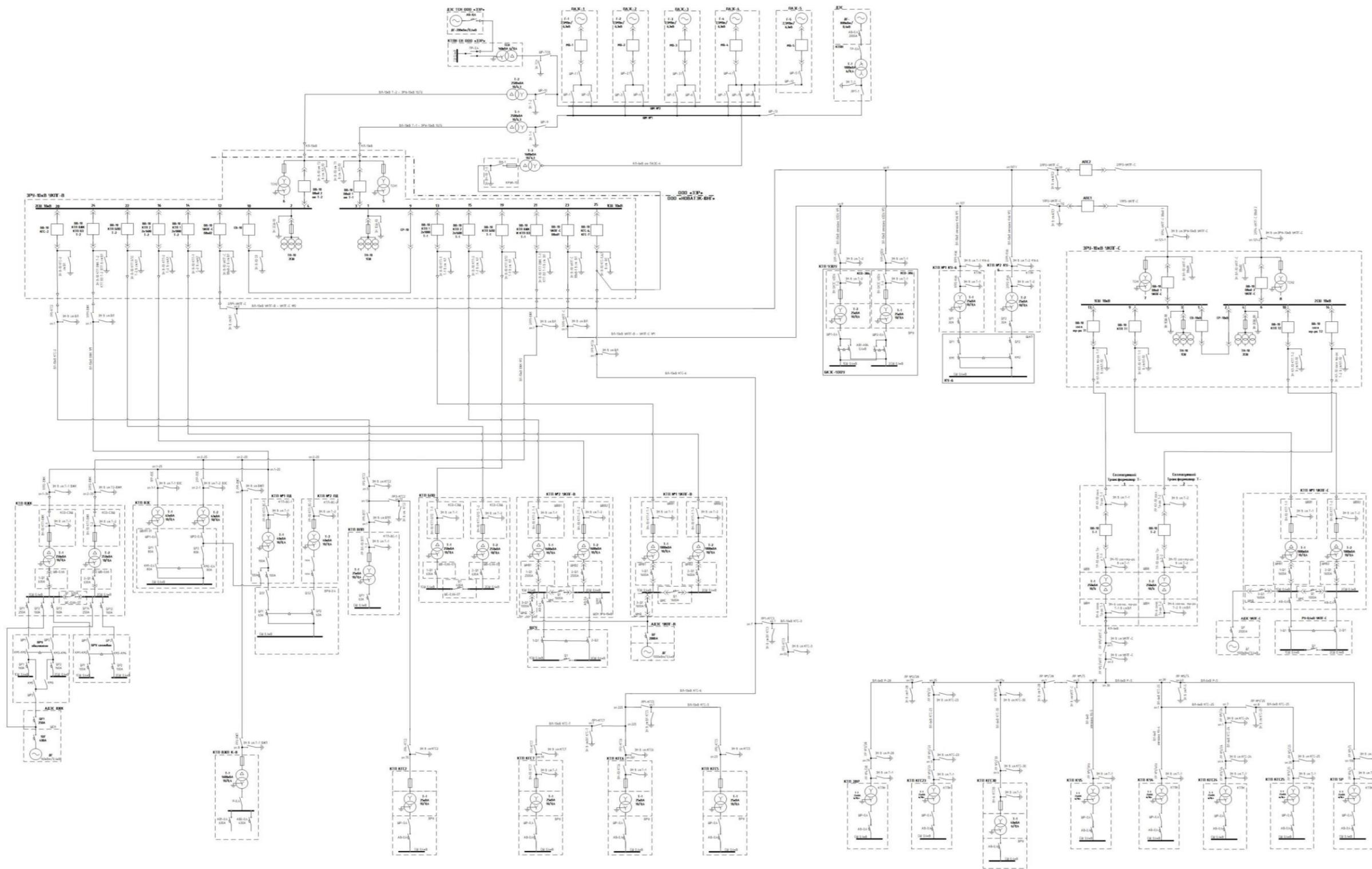


Рисунок А1 – Однолинейная схема электроснабжения Берегового ГКП ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ»

Приложение Б

Перечень выбранного оборудования

Таблица Б1 – Перечень выбранного оборудования для АИП

Выбранное оборудование	Тип марка	Производитель
Генератор на свободнопоршневом двигателе Стирлинга (в комплекте с датчиками температур головки двигателя, датчики вибрации, термостаты перегрева головки двигателя)	1000W–PFGN Free Piston Stirling Engine	China Stirling (Китай)
Горелка газовая	автоматика управления S4965A–3075	Honeywell (Америка)
	газовый клапан Honeywell VK4100C	
	вентилятор розжига RG128/1300–3612	Ebmpapst (Германия)
Датчик расхода жидкости через двигатель Стирлинга	Турбинный расходомер PT–710	ООО «ДОЗА+» (Россия)
Инвертор двунаправленный	MultiPlus 24/5000/120–100 230V	VictronEnergy (Нидерланды)
Аккумуляторные батареи	OPzV 6 OPzV 300 (VO) 2V 490Ah	PowerSafe (
ПЛК	СПК210	ОВЕН (Россия)
Модули ввода/вывода	MB210/MY210	ОВЕН (Россия)
Промышленный коммутатор	KCH210–8	ОВЕН (Россия)
Датчики температуры	ТСП–100	ОВЕН (Россия)
Преобразователи давления	ПД100	ОВЕН (Россия)
Импульсный блок питания	TDR–960–24 960Вт 24В/40А	MeanWell (Китай)
Блок резервирования питания	DRDN20–24 Вт 19– 29В/20А	MeanWell (Китай)
Пусковой конденсатор	СВВ65 45UF 450V	
Нагреватель патронный (БАН)	ТЭНПВ 12,5.250.1250.230 L300, G3/4	ООО «ПромЭнерго РХМ» (Россия)
Насос циркуляционный	UPS 40–60/2F 250 400 V	Grundfos (Дания)
Счетчик газа	Ультразвуковой счетчик газа Принц G4	ООО «Завод «РаДан» (Россия)
Сигнализатор газа (СО)	СТГ–3	ФГУП «СПО «Аналитприбор» (Россия)
Сигнализатор газа (СН4)	СТГ–3	ФГУП «СПО «Аналитприбор» (Россия)