

# АВТОНОМНЫЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ НА НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ И НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

AUTONOMOUS ALTERNATIVE SOURCE  
OF SUPPLY TO NON-TRADITIONAL  
RENEWABLE SOURCES OF ENERGY  
FOR REMOTE STATIONARY  
AND NON-STATIONARY SITES

*A. Grigoriev  
G. Vervelakis*

## Annotation

The article talked about the stages of design, production, implementation and operational period of autonomous alternative source of supply to non-traditional renewable sources of energy for remote sites. Far Eastern Federal District on the Kamchatka Peninsula. We give theoretical calculations during the design and the results of the maintenance period on the basis of an alternative source of statistical data collected.

**Keywords:** Energy, an alternative source of supply, renewable energy, wind energy, solar energy, nuclear energy, self-powered, RTG, extreme climatic conditions.

*Григорьев Александр Сергеевич*

*К.т.н., НИЦ Курчатовский  
институт, г. Москва*

*Вервелакис Георгиос Менелаосович*

*Аспирант, НИЦ Курчатовский  
институт, г. Москва*

## Аннотация

В статье говорится об этапах проектирования, изготовления, внедрения и эксплуатационном периоде автономного альтернативного источника электропитания на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии для удаленных стационарных и нестационарных объектов. В частности, имеется ввиду дальневосточный федеральный округ на полуострове Камчатка. Приводятся теоретические расчеты на этапах проектирования и результаты эксплуатационного периода альтернативного источника на основе собранных статистических данных.

## Ключевые слова:

Энергетика, Альтернативный источник электропитания, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, солнечная энергетика, атомная энергетика, автономное электропитание, РИТЭГ, экстремальные климатические условия.

## Введение

В настоящее время существуют множество различных удаленных специализированных технических сооружений в составе, которого имеется электрооборудование, требующее постоянное электроснабжение. Прокладка электросетей общего назначения для таких объектов экономически нецелесообразна и представляет собой значительные траты денежных средств. В случае смены географического местоположения объектов и демонтаж проложенных электросетей сетей принесет огромные затраты владельцу. Использование традиционных дизельных и пр. генераторов требует постоянного контроля наличия топлива, его подвоз и ежемесячную профилактику.

Описанная ниже разработка представляет собой полностью автономную энергетическую систему способную обеспечить потребителя необходимой электроэнергией в условиях экстремального климата. Практически не требует обслуживания и дополнительных затрат после установки, наладки и пуска системы. Данная энергетическая

система представляет собой альтернативу используемому сейчас традиционному источнику энергии как дизель генератор, РИТЭГ и др.

## Основная часть

РИТЭГ (радиоизотопный термоэлектрический генератор), **рис. 1** – источник электроэнергии, использующий тепловую энергию, выделяющуюся при естественном распаде радиоактивных изотопов и преобразующий её в электроэнергию с помощью термоэлектрогенератора.

Выходная мощность РИТЭГ достаточно мала (до нескольких сотен ватт) при небольшом КПД, но вполне пригодна для обеспечения требуемым количеством электроэнергии потребителя.

Срок службы установок может составлять 15–30 лет, у большинства из них на данный момент он закончился. РИТЭГ представляет собой потенциальную опасность, так как размещается в безлюдной местности и может быть похищен. Были зафиксированы случаи разуком-

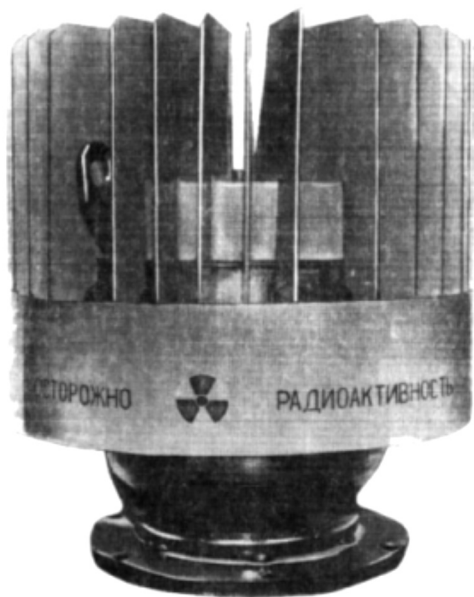


Рисунок 1. РИТЭГ.

плектации РИТЭГов "охотниками" за цветными металлами, при этом сами похитители получили смертельную дозу облучения [1].

В настоящее время проходит процесс их демонтажа и утилизации под надзором Международного агентства по атомной энергии и при финансировании США, Норвегии и других стран. В данном случае при окончании производства РИТЭГ и его потенциальной угрозе как социальной, так и для окружающей среды, удаленные объекты необходимо обеспечить электропитанием. С подобной задачей прекрасно справляется разработанная система альтернативного источника питания (АИП).

АИП представляет собой автономный источник электропитания, где электроэнергия вырабатывается за счет возобновляемых источников энергии (солнца и ветра). Комплекс сконструирован таким образом, что может безаварийно и высокоэффективно эксплуатироваться во всех климатических зонах России.

В зависимости от природных условий территория России разделена на несколько климатических поясов. В табл. 1 представлены средние значения температуры воздуха и скорости ветра в зимние месяцы.

На данный момент использование АИПа в основном сосредоточено в зонах арктического пояса, умеренного пояса, где температура может колебаться от минус 50°С до 40°С. К примеру, температурные колебания для Петропавловск-Камчатского составляют от минус 31°С до 31°С, а для Дудинки от минус 56°С до 33°С.

Таблица 1.

Средние значения температуры воздуха и скорости ветра.

Климатический пояс	Температура воздуха зимних месяцев, °С	Скорость ветра, в зимние месяцы, м/с
Особый	-30	8 - 10
IV	-50	1,3
III	-30	3,6
I-II	-9	5,6

В комплексе АИПа используются энергии солнца и ветра [3].

Основная задача при проектировании и создании АИПа – бесперебойная работа комплекса, т.е. выработка требуемого количества электроэнергии в экстремальных условиях крайнего севера.

Комплекс АИПа состоит из солнечных батарей, ветрогенераторной установки, фундаментной основы для ветрогенераторной установки, фундаментной основы для контейнера, специализированного контейнера для обслуживания, климатического шкафа для электрооборудования. Электрическая часть комплекса включает в себя контроллер солнечных батарей, контроллер ветрогенераторной установки, систему распределительного-информационного устройства, аккумуляторные батареи, система интеллектуальной защиты АКБ, система оповещения о проникновении в комплекс, кабели для обвязки электрооборудования.

При проектировании комплекса учитываются климатические особенности местоположения планируемой эксплуатации.

Один из значимых факторов – тепловая защищенность комплекса, т.к. в состав оборудования входят аккумуляторные батареи, работа которых значительно зависит от температуры (рис. 3). А от температурного режима зависят более "тонкие" настраиваемые параметры системы такие как, ток заряда АКБ, максимальный ток нагрузки, напряжение системы, поддерживающее напряжение, включение максимального тока заряда в зависимости от состояния АКБ и температуры, параметры срабатывания защиты АКБ от перезаряда.

Мощностные характеристики комплекса АИПа рассчитываются исходя из потребностей электрооборудования заказчика. Основными параметрами является количество потребителей, мощность используемого электрооборудования и время автономной работы (отсутствие



Рисунок 2. Общий вид АИПа.

источников энергии ветра и солнца).

Ниже на рис. 2 представлен общий вид комплекса АИПа в одной из вариаций. В табл. 2 отображены технические характеристики комплекса.

Таблица 2. Технические характеристики.

Общая номинальная пиковая мощность всех солнечных панелей (СП)	1040 Вт
Номинальная мощность ветроэнергетической установки (ВЭУ)	500 Вт
Количество солнечных панелей в батарее	8
Номинальное напряжение АКБ	27 В
Суммарная емкость АКБ	600 Ач
Тип АКБ	щелочные
Диапазон рабочих температур	от минус 50°С до 50°С

При проектировании данного комплекса выполнена задача по обеспечению потребляемой нагрузки 150Вт\*ч ежедневно в течение 5 часов, при времени автономной работы 6 суток. Для возможности сохранения выработанной электроэнергии с помощью СП и ВЭУ подобраны мощные необслуживаемые щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы. В табл. 3 представлены характеристики аккумулятора.

При нагрузке 150 Вт и времени работы 5 часов в день ежедневно, в течение месяца нагрузка составляет

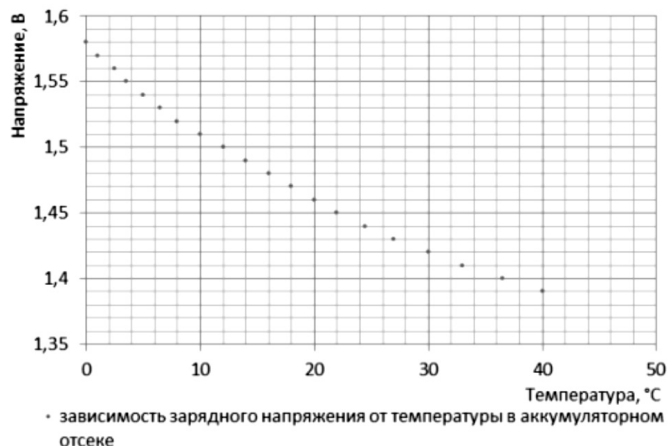


Рисунок 3. Зависимость зарядного напряжения аккумуляторов от температуры в аккумуляторном отсеке.

Таблица 3. Характеристика аккумуляторной батареи.

Номинальное напряжение, В	1,2
Номинальная ёмкость, С5	300 Ач
Размеры аккумулятора, мм	171×118×356
Масса аккумулятора с электролитом, кг.	12,4

22,5кВт\*ч, а суточное потребление составляет 750 Вт\*ч.

В связи с особенностями эксплуатации и требованиями заказчика в системе используется напряжение 27 В, а глубина разрядки АКБ разрешена не более чем на 70%. Полная суточная нагрузка составляет 39,68 А\*ч. Для увеличения запаса по суточной нагрузке результат увеличивается вдвое 79,36А\*ч или ~ 80 А\*ч. Таким образом для автономной работы потребителя в течении 6 суток потребуется емкость 80 А\*ч.

Существует зависимость зарядного напряжения аккумуляторов от температуры в аккумуляторном отсеке (рис. 3).

В связи с особенностями климатического пояса целесообразно увеличить емкость аккумуляторов. Получается, что для гарантированной бесперебойной и автономной работы потребителя в течение 6 суток потребуется аккумуляторная сборка на 600 А\*ч при рабочем напряжении 27 В

Для расчета количества вырабатываемой энергии солнечными панелями необходимо знать её характерис-

тики. В представленном выше комплексе используется фотоэлектрическая панель со следующими характеристиками представленными в табл. 4.

**Таблица 4.**  
Характеристики солнечной панели.

Номинальная пиковая мощность, Вт	130
Общая площадь, м <sup>2</sup>	0.99
Габаритные размеры, мм	1490(±2) × 670(±2) × 36(±1)
Масса, кг	14.6
Рабочая температура, °С	от минус 40°С до 85°С

Для обеспечения системы энергией, сборка из солнечных панелей должна за один световой день выработать 750 Вт электроэнергии. Следовательно, сборка из солнечных модулей, с выходным напряжением 27 В и мощностью 130 Вт каждый, должна состоять из 8 модулей. Соединены солнечные панели параллельно/последовательно. Ниже приведен расчет вырабатываемой энергии сборки из солнечных модулей [4]. Расчет произведен по следующей формуле:

За один календарный месяц сборка солнечных панелей выработает 73,535 кВт в месяц. Суточная выработка составляет 2,451 кВт (за 1 световой день или около 8 ч в сутки). Выработка составит 11,35 А\*ч.

Это вполне достаточно для обеспечения электроэнергией емкость АКБ и удовлетворению потребностей автономной работы системы. Следует учитывать, что при расчете выработки значение  $E_{инс}$  было взято из статистических данных для широты 53.3 Петропавловск–Камчатский за месяц январь. Январь самый низкоэффективный месяц в году. Самый высокий по показателям эффективности месяц – март при условии вертикального расположения солнечной панели.

При достаточном ветровом потенциале в географии расположения АИП возможна установка дополнительно источника альтернативного питания как ветрогенератор, в данном случае был установлен вертикально–осевой ветрогенератор мощностью 500 Вт, технические характеристики (табл. 5). [2]

Ветрогенераторная установка используется как резервирование источника солнечной энергии. В ночное время при отсутствии солнечной инсоляции, но при наличии ветра – будет производиться подзарядка АКБ. При недостаточной дневной инсоляции, но при наличии ветра – будет также производиться подзарядка АКБ и питание потребителя.

**Таблица 5.**

Технические характеристики ветрогенератора.

Мгновенная номинальная мощность	500 Ва
Номинальная скорость ветра	13,2 м/с
Стартовая скорость ветра	2 м/с
Рабочий диапазон температур	от минус 50°С до 50°С
Размеры турбины	1,2 × 2,3 м
Ометаемая площадь	1,6м <sup>2</sup>
Вес модуля	360 кг

Расположение аккумуляторов, управляющего, коммутационного и сигнального оборудования осуществляется в 10–футовом морском/“универсальном” контейнере. Морской контейнер удобен в транспортировке и дальнейшей доработке/модификации.

Для первого пояса теплозащиты контейнер был подвергнут доработке – внутреннее утепление стен, люка и дверей. Такая модификация позволяет сократить границы температурных колебаний окружающей среды и увеличить разницу температур внутри контейнера и на улице, которые могут повлиять на корректную работу оборудования расположенного в контейнере.

Логичный вопрос – почему не использовать для хранения оборудования подземные системы–хранилища, где температура изменяется в малом диапазоне, а температурные колебания низкие. Ответ достаточно очевиден – при перемещении объекта весь АИП можно перевезти за два подхода, а при использовании подземных сооружений необходима специальная техника, оборудование и строительные материалы для устройства нового хранилища, что многократно увеличивает финансовые расходы.

Для второго пояса тепловой защиты используется специально оборудованный тепло–, гидроизоляционный шкаф, с принудительной вентиляцией.

Отличительная черта установок АИПа в Северных регионах обусловлена коротким летним периодом или же вовсе вечной мерзлотой. Поэтому необходимо учитывать такие факторы как отсутствие дорог общего пользования, сложность установки в зимний период, экстремальные климатические условия в процессе эксплуатации.

Защищенность установки от агрессивного климата региона, достигается специально сконструированным контейнером, так же специальным исполнением оборудования (солнечных панелей, ветрогенератора, контроллеров и т.д.).

Малое время на установку и пуско-наладку АИПа обеспечивается заранее собранным и настроенным оборудованием на заводе изготовителе.

В зависимости от будущего географического расположения АИПа необходимы предварительный осмотр и подготовка площадки, для установки контейнера и ветрогенератора; расчистка территории, а так же подготовка фундамента или свай в зависимости от типа грунта. Для транспортировки готового АИПа на удаленную точку потребовался вертолет. На рис. 4 показано перемещение контейнера.



Рисунок 4. Транспортировка контейнера.

Для наиболее эффективного использования электрической энергии вырабатываемой солнечными панелями и ветрогенератором используются контроллеры токового заряда с функцией поиска точки максимальной мощности. Контроллеры также предохраняют аккумуляторные батареи от перезаряда, что предотвращает выведения их из строя.

В случае, когда емкость АКБ полностью заряжена, нагрузка потребителя включена и производится выработка электроэнергии с помощью ветрогенератора или солнечных панелей система перенаправляет электрический заряд от источников напрямую потребителю, что позволяет не разряжать АКБ.

В системе используются два контроллера соединенных параллельно один для солнечных панелей, а другой для ветрогенератора. Использование двух контроллеров позволяет в случае профилактических работ, поломки одного из контроллеров или других непредвиденных ситуаций оставлять системе шанс заряжать аккумуляторные батареи от одного из возобновляемых источников энергии.

В электрической системе АИПа используется специально разработанное распределительное информационное устройство (РИУ), которое необходимо для обеспечения правильного распределения электроэнергии между потребителем, источниками энергии и аккумуляторными батареями, так же РИУ используется для сбора данных по работе энергосистемы. На рис. 5 представлена принципиальная электрическая схема системы АИПа.

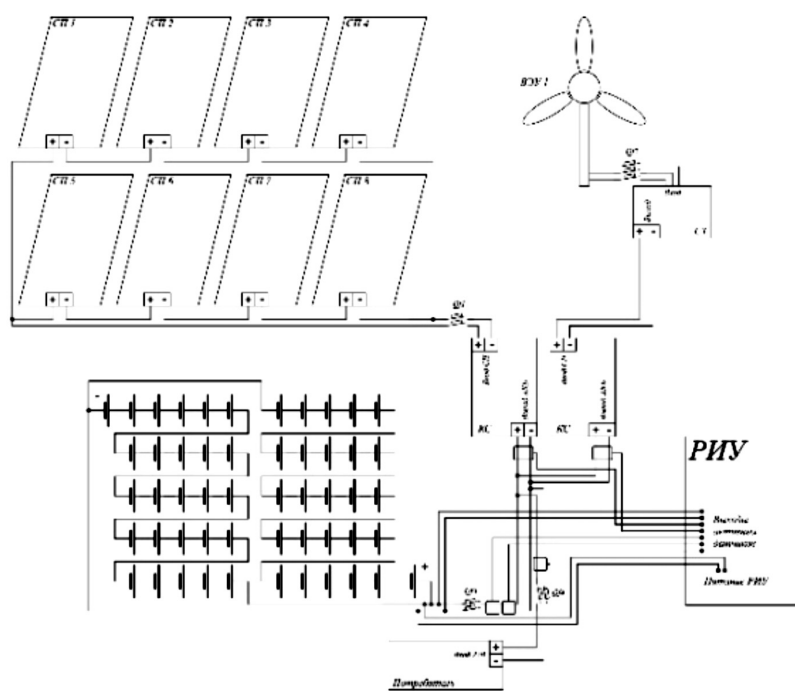


Рисунок 5. Принципиальная электрическая схема системы АИПа.

РИУ представляет собой сложную электронно–распределительную систему, в которую интегрирована система мониторинга и архивации параметров электронной составляющей источника АИП.

РИУ поставляется как отдельная сборочная единица. Все датчики контролирующие параметры работы АИПа и управляющие модули, спрятаны в одном корпусе. Такое технологическое решение связано с особенностями эксплуатации АИПа в зонах с экстремальными климатическими условиями.

Корпус РИУ влагозащищен, все электрические входы/выходы загерметизированы, что исключает попадание внутрь влаги и преждевременный выход из строя оборудования. Так же при проведении профилактических работ исключен контакт между сотрудником и управляющим оборудованием. Это предотвращает возможный преждевременный выход из строя модулей и датчиков. Такое технологическое решение повышает долговечность, безотказность и срок службы системы.

Система мониторинга (автоматического сбора данных и архивации) сделана на основе отечественного оборудования, унифицированных активных датчиков тока (5шт), напряжения (1шт) и пассивных датчиков температуры (3шт).

На рис. 6 показано расположение РИУ, контроллеров и АКБ в климатическом шкафу.



Рисунок 6. Расположение РИУ, контроллеров и АКБ в климатическом шкафу.

Система мониторинга позволяет получать реальные данные работы всей электрической системы АИПа в целом. Архив массива данных, возможно, скачать из модуля, который отвечает за сохранение данных с помощью

специализированного программного обеспечения, либо непосредственно с карты памяти, которую возможно извлечь на "горячую" из этого модуля. Так же в определенных модификациях возможно использование передачи данных по GSM/GPRS каналу, что позволяет получать данные в онлайн режиме.

Для настройки оборудования необходимо иметь специализированное программное обеспечение и достаточно высокую квалификацию для проведения работ по настройке, наладке и перенастройке управляющих модулей.

За основу системы мониторинга взят аппаратный комплекс, состоящий из программируемого логического контроллера со встроенным GSM модемом, модулем архивации и модуль сбора данных с датчиков.

В табл. 6 приведены основные технические характеристики РИУ.

Таблица 6. Основные технические характеристики РИУ-МСД.

Номинальное напряжение	24 В
Максимальное напряжение	36 В
Максимальный потребляемый ток	200 мА
Количество датчиков на аналоговые входы	9
Диапазон рабочих температур	от минус 40°С до 40°С

Мониторинг температур осуществляется 3мя датчиками для улицы, АКБ и шкафа. На рис. 7 показано расположение датчиков.

АИП эксплуатируется в течение года. На рисунке 8 представлен график температур за январь 2016 года, где видна работа теплозащитного контура (температуры улицы и внутри шкафа сильно отличаются):

- ◆ Красная кривая на графике отображает состояние температуры на улице. Датчик защищен от воздействия ветра и солнечных лучей, исключая искажение данных. Видны заметные колебания в течение дня и месяца.

- ◆ Синяя кривая на графике отображает состояние температуры внутри шкафа в верхней его области. В этой части шкафа установлено управляющее, распределительное, сигнальное оборудование и так же система мониторинга. Кривая визуально повторяет красную кривую, но с заметным меньшим диапазоном по верхним и нижним точкам. Разница по вертикали между уличной температурой и температурой внутри шкафа достигает порядка 8 – 10°С. Такая ощутимая разница говорит о том, что теплозащитенность контейнера работает.

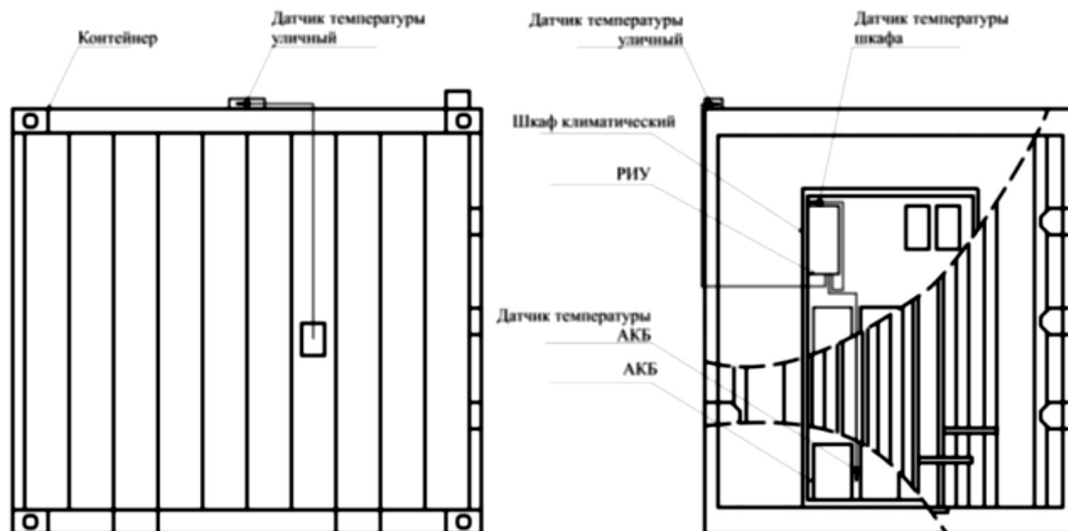


Рисунок 7. Расположения датчиков температуры.

♦ Зеленая кривая на графике отображает состояние температуры внутри шкафа в нижней части (область расположения АКБ). Кривая так же визуально повторяет красную и синюю кривые, но с еще более уменьшенным диапазоном по верхним и нижним точкам. Разница по вертикали с уличной температурой достигает порядка 10

– 12°C, а с температурой верхней части шкафа порядка 2 – 4°C.

Такой эффект возможен благодаря низкой тепловой инерционности АКБ (масса с электролитом составляет порядка 545,5 кг). Поэтому кривая получается более плавная относительно остальных.

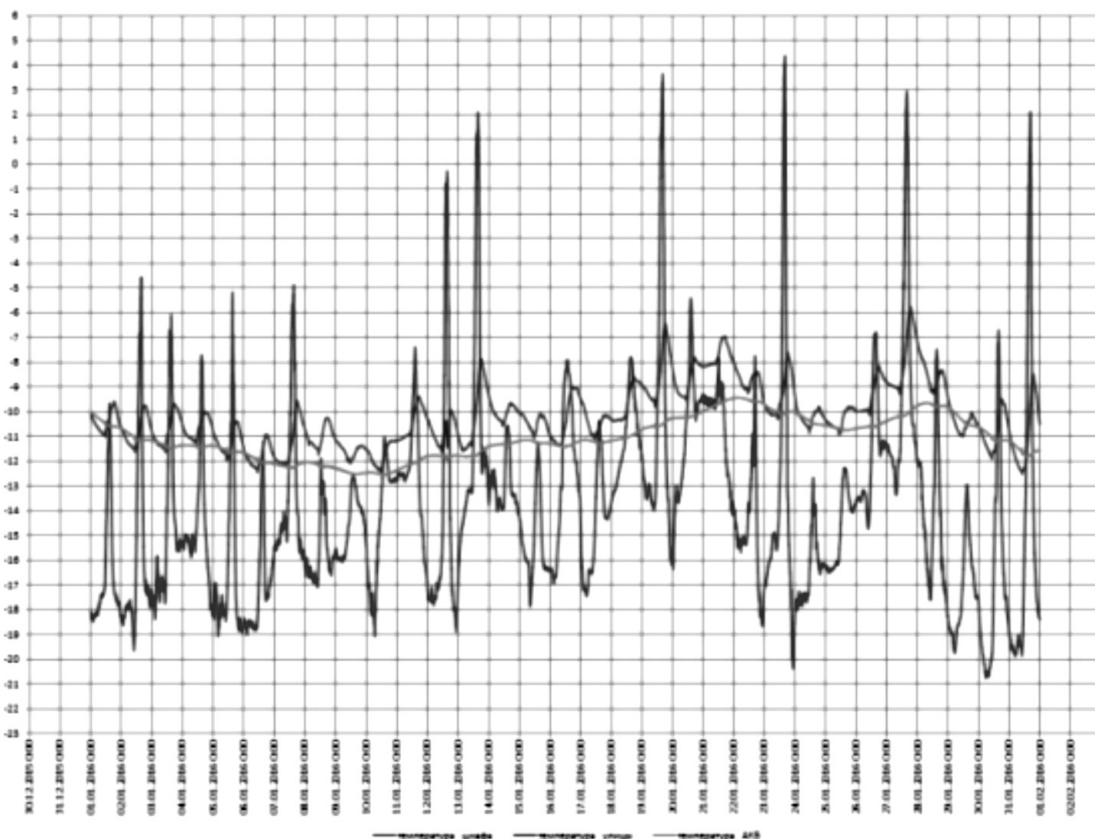


Рисунок 8. График температур за январь.

Эффективное распределение энергии заключается в том, чтобы получаемую энергию полностью использовать. На рис. 9 изображена помесечная выработка электроэнергии СП и ВЭУ в кВт, следует учитывать, что номинальная мощность ВЭУ 0,5 кВт, а сборки СП 1,04 кВт.

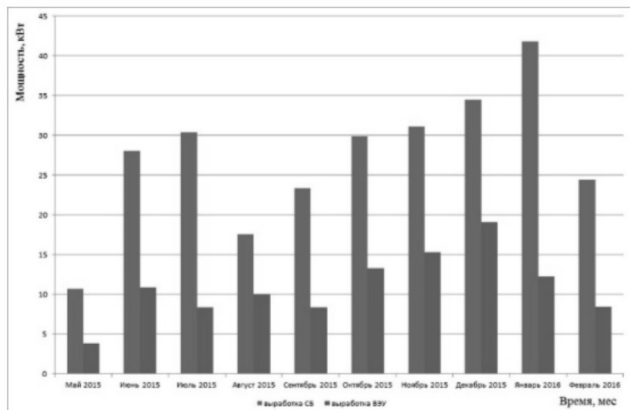


Рисунок 9. Помесечная выработка ВЭУ и сборки СП в кВт.

При определённых режимах работы энергоустановки появляется необходимость сбрасывать получаемую энергию от источников питания. Такой режим возникает в том случае, когда аккумуляторы полностью заряжены, потребитель электроэнергии выключен, а СП или ветрогенератор вырабатывают электроэнергию. Тогда электроэнергия поступает на встроенные в шкаф ТЭНы для поддержания оптимальной рабочей температуры АКБ.

#### Заключение

АИП был установлен в дальневосточном федеральном округе на полуострове Камчатка. Система на протяжении всего времени эксплуатации работала в безаварийном режиме. Весь комплекс собран из комплектующих отечественного производства, включая контроллеры и АКБ и другие важные компоненты системы. Это важно т.к. в связи с политической обстановкой импортзамещение поощряется правительством РФ.

На основе анализа собранных статистических данных за 1 год эксплуатации описанного выше источника альтернативной энергии для удаленных регионов было выявлено, что система отлично справляется со своими функциями и исправно обеспечивает потребителя требуемой электроэнергией.

При проектировании солнечные панели было предложено установить вертикально для того чтобы избежать налипания снега в зимние месяцы, грязи в летние месяцы. Практическая эксплуатация подтвердила, что такой расположение панелей способствовало минимальному загрязнению СП.

Подтвердилась разработанная на этапе проектирования математическая модель тепловых расчетов контейнера и климатического шкафа.

Ветроэнергетическая установка вырабатывала электроэнергию порядка 30% относительно сборки СП, что говорит о ее высокой эффективности.

По эффективным показателям источник показал себя с наилучшей стороны, что подтверждается статистическими данными, которые были собраны благодаря встроенной системе мониторинга.

В процессе эксплуатации был определен ряд направлений на доработку составных частей АИПа и организаций транспортировки некоторых элементов системы. В частности это относится к конструктивным особенностям контейнера, транспортировке модуля ветрогенератора и системе мониторинга.

На основе полученного опыта эксплуатации системы планируется:

- ◆ Дальнейшая доработка контейнера с учетом требований по климатическим условиям крайнего севера;
- ◆ Модернизация системы мониторинга;
- ◆ Увеличение мощности АИПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статья в эл. журн. "Беллона" (англ. Bellona) (международное экологическое объединение) апрель 2005 г, режим доступа по прямой ссылке <http://bellona.ru/2005/04/02/radioizotopnye-termoelektricheskie-g/>
2. П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков Ветроэнергетика. М.: "Интехэрего-Издат", 214. –304с.
3. Каргиев В.М., Мартиросов С.Н. Ветроэнергетика. М.: Интерсоларцентр, 2001. 62 с.
4. Виссарионов В.И. Методы расчетов ресурсов возобновляемых источников энергии. 144 с.