

УДК 621.362.2

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

Долгих П.П., Иброгимов Р.И.

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск,  
e-mail: dpp10@yandex.ru

Альтернативные источники энергии на базе термоэлектрических генераторов применяют для электроснабжения децентрализованных потребителей малой мощности в силу их экологичности, автономности, надежности и простоты эксплуатации. Повысить эффективность таких систем электроснабжения можно путем рациональных режимов эксплуатации. Предложено перед их созданием промоделировать возможные основные четыре режима работы термогенераторных модулей: холостого хода, зарядки аккумулятора, переменной нагрузки, разрядки аккумулятора и один аварийный режим: перегрев. В работе представлено техническое решение в виде стенда для испытания термогенераторных модулей, который позволит повысить эффективность систем электроснабжения путем отладки на стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации. Произведенный расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными термоэлектрическими генераторными модулями позволил установить, что среднетемпературные термоэлектрические генераторные модули занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Разработана система электроснабжения данного объекта с применением термоэлектрических генераторов, работающих от энергии отопительно-варочного или отопительного устройства.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, системы децентрализованного электроснабжения, малая энергетика, потребители малой мощности, термоэлектрический генератор, испытательный стенд, режимы работы, эффективность

## DEVELOPMENT OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF DECENTRALIZED CONSUMERS OF SMALL POWER BASED ON THERMOELECTRIC GENERATORS

Dolgikh P.P., Ibrogimov R.I.

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, e-mail: dpp10@yandex.ru

Alternative energy sources based on thermoelectric generators are used to supply decentralized low-power consumers due to their environmental friendliness, reliability, and ease of operation. Increase the efficiency of such power supply systems can be achieved through rational operating modes. It was suggested before their creation to simulate the possible basic four operating modes of thermal generators: idling, charging the battery, varying the load, discharging the battery and one emergency mode: overheating. The paper presents a technical solution in the form of a test bench for thermo-generator modules, which will improve the efficiency of power supply systems by debugging rational operating modes at the design stage. The calculation of the power supply system for the consumers of the harvesting and receiving center for harvesting wild-growing plants with two different technologies: low- and medium-temperature thermoelectric generator modules made it possible to establish that the medium-temperature thermoelectric generator modules occupy 2.3 times the area to produce comparable amounts of energy than low-temperature ones. Also, their work requires the creation of higher temperatures in the source of thermal energy, which may be associated with additional costs to create these conditions. A power supply system for this facility has been developed using thermoelectric generators operating on the energy of a heating / cooking or heating device.

**Keywords:** alternative energy, decentralized power supply systems, small power engineering, low power consumers, thermoelectric generator, test bed, operating modes, efficiency

Особенностью России, в первую очередь характерной для регионов Сибири и Дальнего Востока, является весьма низкая плотность населения на громадных, слабо освоенных в производственном отношении территориях. Поэтому даже в районах с развитой энергетической системой имеется значительное количество мелких удаленных и малонаселенных поселений.

Проблема надежного и качественного электроснабжения малых удаленных и малонаселенных поселений остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах и требует срочного решения.

На территории России существуют потребители, изолированные от централизованного электроснабжения и имеющие слабые транспортные связи с промышленно развитыми районами. В основном такие потребители располагаются в удаленных районах проживания сельского и коренного населения. По информации [1] количество населения, проживающего в зонах децентрализованного электроснабжения, составляет 3,2 млн жителей. Их централизованное энергоснабжение нецелесообразно, так как оно потребовало бы строительства протяженной и дорогой инфраструктуры по пере-

даче энергии, а в процессе передачи происходили бы ее высокие потери. Поэтому энергоснабжение малых удаленных потребителей организовано децентрализованно.

На рис. 1 представлена карта Красноярского края с указанием районов, имеющих централизованное и децентрализованное электроснабжение. Электроснабжение децентрализованных потребителей выполнено с применением дизельных электростанций, имеющих высокий уровень себестоимости вырабатываемой электроэнергии, обладающих высокими экологическими рисками.

Альтернативная энергетика может играть важную роль для энергоснабжения малых децентрализованных потребителей. В связи с этим очень актуальным становится использование термогенераторных модулей (ТГМ) для получения электроэнергии [2].

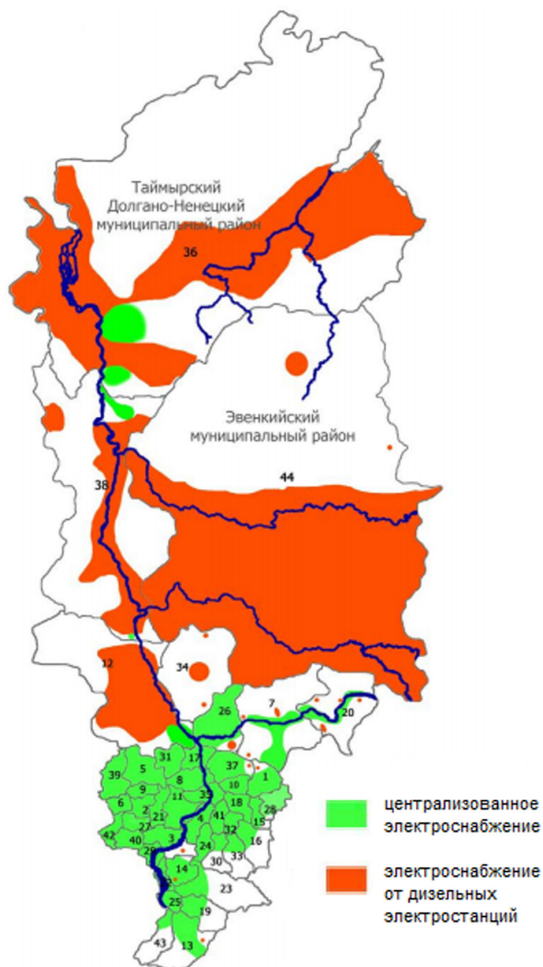


Рис. 1. Карта Красноярского края с указанием районов, имеющих централизованное и децентрализованное электроснабжение

Термоэлектрические устройства генераторного типа, обеспечивающие прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, удовлетворяют требованиям безопасности, экологичности, автономности, надежности и простоты эксплуатации.

На рис. 2 представлены серийно выпускаемые технические решения ТГМ и термоэлектрических генераторов (ТЭГ) [3].

Для построения систем электроснабжения на базе ТЭГ необходимо на стадии проектирования производить оценку эффективности работы ТГМ для определения диапазона регулирования мощности в зависимости от реальных условий. Другими словами, промоделировать возможные режимы работы на специальном оборудовании (стенде).

Патентный обзор позволил установить следующее:

Известна модельная установка с термоэлектрическим генератором [4], содержащая термоэлектрический генератор, отводную трубу, систему трубопроводов и регулируемую арматуру, насос для подачи охлаждающей воды, расходомер, фильтр, нагрузочное устройство, патрубки.

Недостатком известного устройства является низкая функциональная возможность, не позволяющая проводить исследования режимов работы термогенераторных модулей с различной электрической нагрузкой и в аварийном режиме.

Известна принципиальная схема экспериментальной установки [5], включающая тепловой двигатель, термоэлектрический генератор, нагрузочное устройство, вольтметр, амперметр, термометр, расходомер, насос, резервуар с водой, выхлопной трубопровод, отводную трубу.

Недостатком известного устройства является низкая эффективность работы схемы, так как она не позволяет производить оценку мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур.

Из уровня техники известно [6], что оценка мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур позволит подобрать точку максимума при некоторой температуре, при которой показатель эффективности термоэлектрического преобразования полупроводникового вещества будет наивысшим.

На сегодня известно [3], что существуют среднетемпературные генераторные модули, вырабатывающие более 40 Ватт электрической мощности на разности температур в 400 °С и предназначенные для применения совместно с источником тепла, обеспечивающим температуру 500 °С, а также низкотемпературные генераторные модули с температурой горячей стороны от 150 до 280 °С.

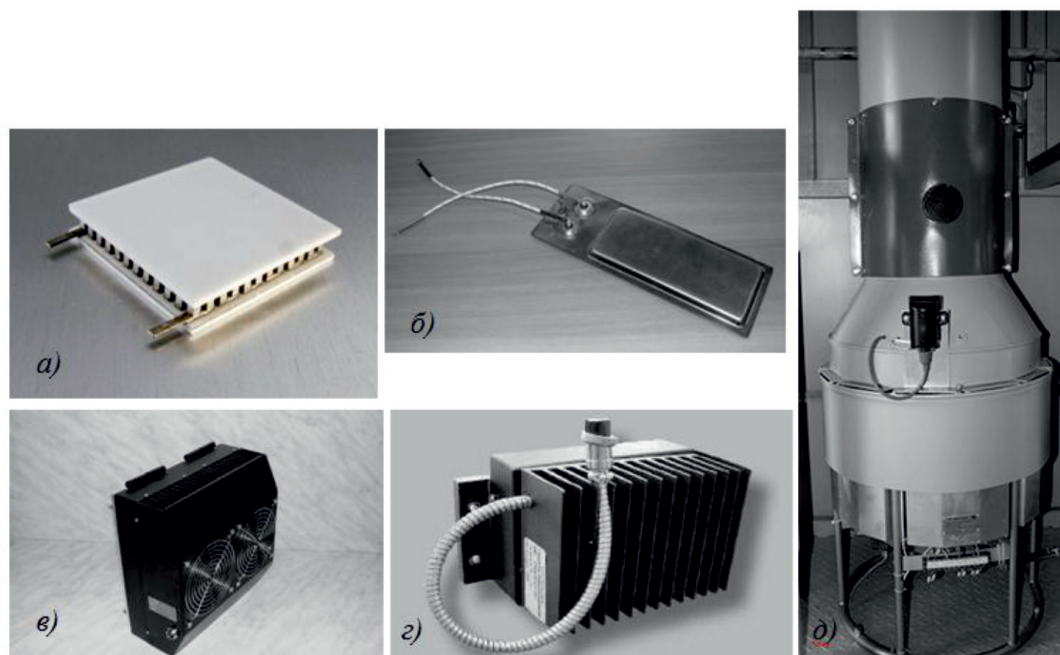


Рис. 2. Генераторные модули и термоэлектрические генераторы: а – низкотемпературный генераторный термоэлектрический модуль; б – среднетемпературный генераторный модуль серии Mars; в – универсальный термоэлектрогенератор В25-12 (М), работающий от энергии горения дров; г – универсальный термоэлектрический генератор В4М; д – термоэлектрический генератор ГТЭГ, работающим на природном газе, пропане или пропано-бутановой смеси

Также известно [7], что эффективность работы термогенераторных модулей зависит от режимов работы нагрузки (потребителей).

Таким образом, необходимо повысить эффективность работы систем электроснабжения путем производства оценки мощности термогенераторных модулей в расширенном интервале температур.

Целью является повышение эффективности систем электроснабжения децентрализованных потребителей малой мощности на базе ТГМ путем отладки режимов на стадии проектирования.

#### Задачи

1. Провести анализ технических решений для реализации систем электроснабжения на основе термоэлектрических генераторов.

2. Разработать стенд и методику для исследования режимов работы термоэлектрических генераторных модулей.

3. Произвести расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными ТГМ.

4. Разработать систему электроснабжения объекта с применением низкотемпературных и среднетемпературных термоэлектрических генераторов, работающих от тепловой энергии отопительно-варочного или отопительного устройства.

#### Материалы и методы исследования

На рис. 3 представлен разработанный авторами стенд для исследования термогенераторных модулей [8]. Стенд содержит три блока. Первый – топливный блок 1 – содержит газовый баллон 4 с манометром 5 и редуктором 6, соединенный посредством гибкого шланга 7 с горелкой 8, содержащей пьезоэлемент 9. Второй – испытательный блок 2 – содержит радиатор 10 с вентилятором 11 и теплоприемник 12. Между радиатором 10 и теплоприемником 12 помещается термогенераторный модуль 13 с проводниками 14. Конструкция скреплена пружинными шайбами 15. Третий – измерительный блок 3 – укомплектован измерителем-регулятором технологическим 18 с датчиком высоких температур 16 и датчиком низких температур 17, вольтметром 19, амперметром 20, аккумулятором 21, переменным реостатом 22, щитом управления 23.

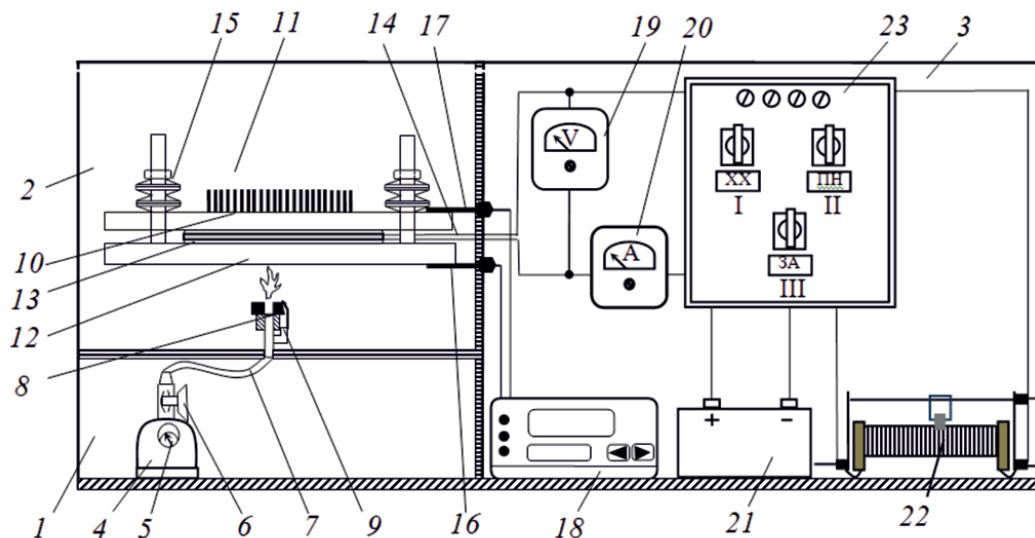


Рис. 3. Оборудование для исследования термоэлектрических генераторных модулей

Стенд работает следующим образом. Перед началом испытаний в испытательном блоке 2 между радиатором 10 и теплоприемником 12 помещается испытуемый термогенераторный модуль 13. Конструкция скрепляется пружинными шайбами 15. Затем редуктором 6 открывается газ, который поступает из баллона 4 по гибкому шлангу 8 и поджигается с помощью пьезоэлемента 9. Из горелки 8 пламя воздействует на теплоприемник 12 и одна сторона термогенераторного модуля 13 нагревается, а другая – охлаждается путем радиатора 10 с вентилятором 11. В это же время на концах проводов 14 возникает разность потенциалов (термоэдс), величина которой отслеживается по вольтметру 19. Отслеживая расход газа по манометру 5, редуктором 6 регулируется величина факела пламени до тех пор, пока датчик высоких температур 16 и датчик низких температур 17 не измерят такие оптимальные для работы термогенераторного модуля 13 значения температур, при которых вольтметр 19 покажет максимальное значение напряжения и которые зафиксируются измерителем-регулятором технологическим 18.

Исследования параметров работы термогенераторных модулей в четырех режимах: холостого хода, зарядки аккумулятора, переменной нагрузки, разрядки аккумулятора – и аварийном режиме: перегрев, проводятся следующим образом.

1. Режим холостого хода. В данном режиме переменный реостат 22 и аккумулятор 21 отключены с помощью переключателя I в щите управления 23. Данный режим

возможен в реальных условиях эксплуатации в том случае, когда электрическая нагрузка выключена, источник тепловой энергии функционирует, а аккумулятор не требует подзарядки или отсутствует.

2. Режим зарядки аккумулятора. Для осуществления данного режима необходимо в щите управления 23 с помощью переключателя II подключить аккумулятор 21. Величина термоэдс наблюдается по вольтметру 19, а зарядный ток отслеживается по амперметру 20. Данный режим применяется, когда электрическая нагрузка выключена, источник тепловой энергии функционирует и имеется техническая возможность зарядки аккумулятора.

3. Режим переменной нагрузки. В этом режиме стенд работает следующим образом. Включается переключатель III в щите управления 23. Ток поступает на переменный реостат 22 и аккумулятор 21. С помощью переменного реостата 22 имитируется снижение/увеличение нагрузки. Величина термоэдс наблюдается по вольтметру 19, а ток отслеживается по амперметру 20. Данный режим в реальных условиях соответствует основному рабочему режиму и применяется, когда функционирует источник тепловой энергии в оптимальном режиме, а нагрузка потребителей изменяется в зависимости от технологических нужд.

4. Режим разрядки аккумулятора. Здесь с помощью переменного реостата 22 имитируется снижение/увеличение нагрузки, запитанной напрямую от аккумулятора 21. Данный режим в реальных условиях применяется, когда источник тепловой энер-

гии не функционирует, термогенераторный модуль не работает, а нагрузка потребителей изменяется в зависимости от технологических нужд.

В первых трех режимах предполагается, что источник тепловой энергии функционирует в оптимальных условиях, обеспечивающих максимальный КПД термогенераторного модуля.

5. Режим перегрева термогенераторного модуля. Данный режим можно обеспечить двумя способами: путем увеличения количества подаваемого газа из баллона 4 редуктором 6 увеличивается величина факела пламени и тем самым температура теплоприемника 12, либо отключается вентилятор 11 на радиаторе 10.

В реальных условиях данный режим может наступить по причине неправильной эксплуатации, выхода из строя оборудования и т.п.

В стенде датчик высоких температур 16 и датчик низких температур 17 зафиксируют критичные для работы термогенераторного модуля 13 значения температуры, которые в виде сигнала поступят на измеритель-регулятор технологический 18, а тот в свою очередь подаст сигнал на закрытие редуктора 6.

Предложенное техническое решение позволит повысить эффективность работы стенда для исследования термогенераторных модулей путем отслеживания разности потенциалов (термоэдс) по вольтметру, а редуктором с манометром регулировки величины факела пламени до тех пор, пока датчик высоких температур и датчик низких температур не измерят такие оптимальные для работы термогенераторного модуля значения температур, которые зафиксируются измерителем-регулятором технологическим, при которых вольтметр покажет максимальное значение напряжения.

Расширение функциональных возможностей стенда достигается путем соединения вольтметра и амперметра, посредством щита управления с аккумулятором и переменным реостатом, а посредством проводов – с термогенераторным модулем.

Стенд для исследования термогенераторных модулей прост по конструкции, надежен в эксплуатации и может быть использован в промышленности, сельскохозяйственном производстве в экспериментальных лабораториях и в учебном процессе.

Предложенное техническое решение в виде стенда для испытания ТГМ позволит повысить эффективность систем электроснабжения на базе ТЭГ путем отладки на

стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации системы электроснабжения на базе ТЭГ в практических условиях необходимо изучить режимы работы основного оборудования, обеспечивающего работу ТГМ, и дать рекомендации по его использованию. В проекте предполагается разработать систему электроснабжения для объекта с применением в одном случае низкотемпературных ТГМ, а во втором – среднетемпературных.

Произведем расчет нагрузки потребителей на примере заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов, представляющего из себя двадцатитонный контейнер площадью 14 м<sup>2</sup>. Для расчета системы электроснабжения были приняты во внимание маломощные потребители электрической энергии, представленные в табл. 1. Электрическая нагрузка рассчитана с учетом коэффициента одновременности 0,9.

Таблица 1

#### Маломощные потребители электрической энергии

Потребители	Мощность, Вт
Система освещения (светодиодные лампы ЭРА В35 Е27 6W 230V)	24
Телевизор ЖК	50
Холодильник	100
Зарядное устройство	5

Для реализации системы электроснабжения используем представленное на рис. 4 устройство прямого преобразования тепловой энергии в электрическую энергию, которое может быть использовано в отопительно-варочных печах для обеспечения работы термоэлектрического генератора в автономном режиме [9]. Этот технический результат достигается тем, что в отопительно-варочной печи, содержащей топочную камеру с верхней частью и воздушными каналами, дополнительно установлены теплоизолирующие экраны, в верхнюю часть топочной камеры плотно встроен термоэлектрический генератор, его нижняя поверхность с горячими спаями опущена внутрь топочной камеры, а холодные спаи охлаждаются водой, циркулирующей по термосифонному контуру, снабженному аккумулялирующим баком. Мощность ТЭГ прямо пропорциональна перепаду температуры и площади поверхности спаев.

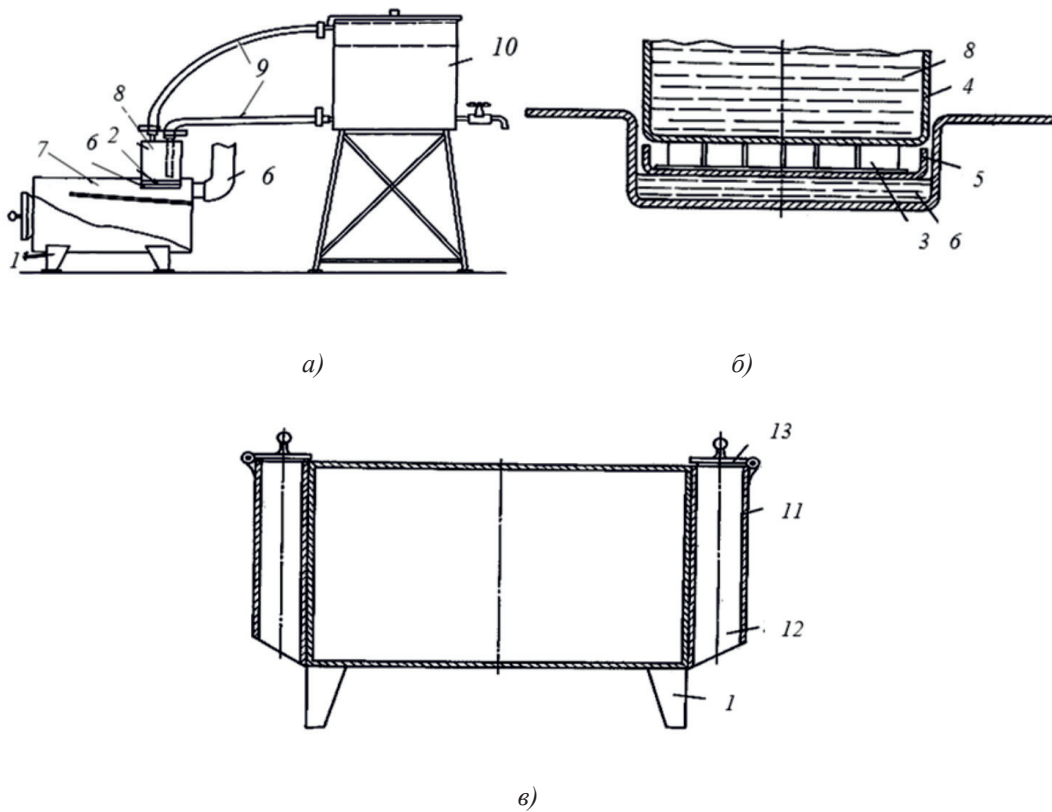


Рис. 4. Отопительно-варочная печь: а) общая схема с ТЭГ; б) ТЭГ с термостабилизирующим покрытием; в) печь и воздушный канал: 1 – опоры; 2 – ТЭГ; 3 – термобатарея; 4 – холодные спаи; 5 – горячие спаи; 6 – термостабилизирующее покрытие; 7 – топочная камера; 8 – емкость; 9 – гибкие шланги; 10 – аккумуляторный водяной бак; 11 – печной кожух; 12 – воздушный канал; 13 – заслонки

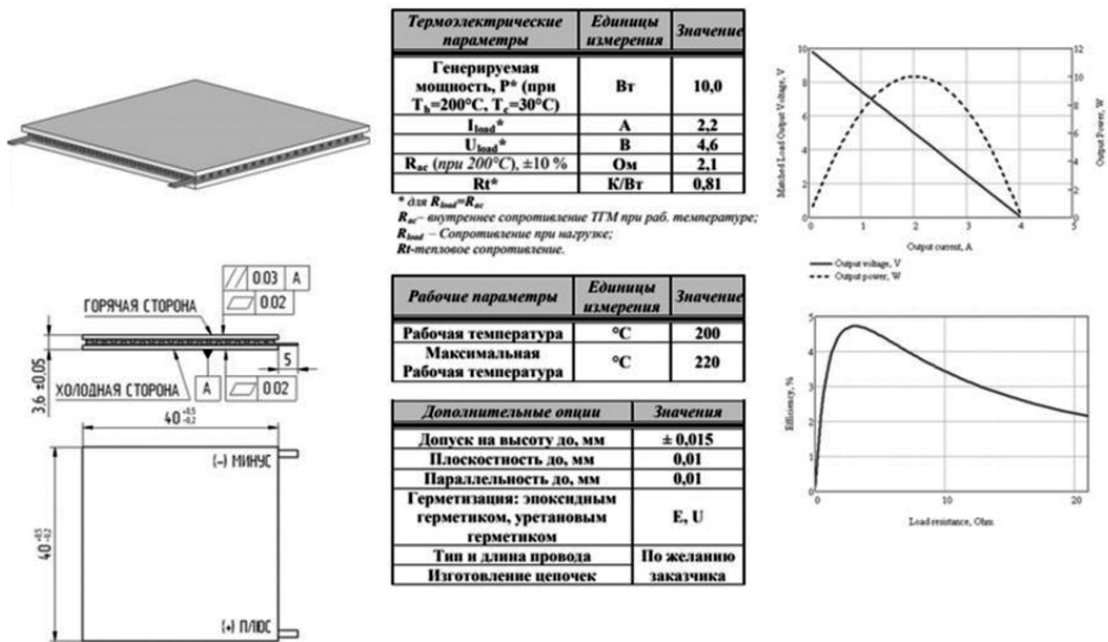


Рис. 5. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля ТТМ-199-1.4-1.15

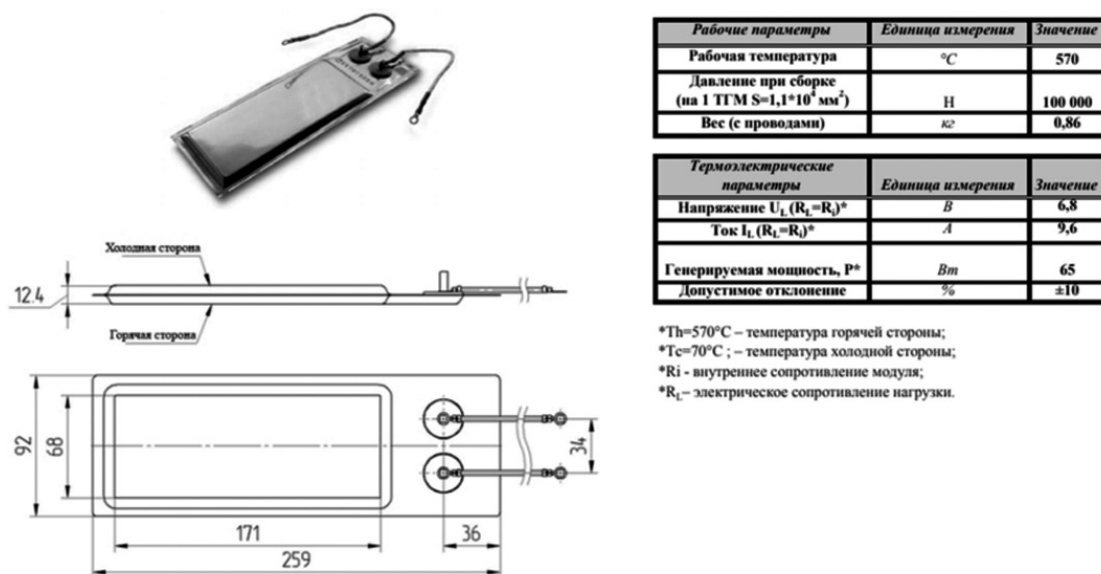


Рис. 6. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля MAPC-65

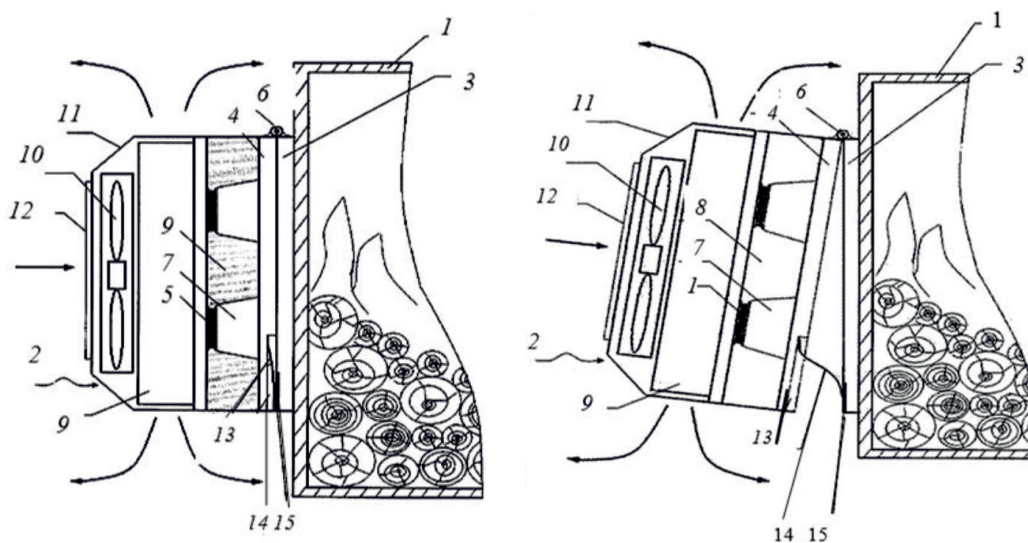


Рис. 7. Отопительное устройство с термоэлектрическим генератором и термоэлектрический генератор: а) устройство в исходном состоянии; б) устройство в нагретом состоянии: 1 – стенки печи; 2 – термоэлектрический генератор; 3 – опорная нагреваемая металлическая пластина; 4 – тепловыравнивающая металлическая пластина; 5 – холодные спаи; 6 – петля; 7 – металлический теплопроводящий блок; 8 – теплоизоляционный материал; 9 – массивные ребра; 10 – вентилятор; 11 – закрытый кожух; 12 – защитная решетка; 13 – биметаллическая пластина; 14 – пазы; 15 – теплоизоляционная прокладка

Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую энергию, поддержание в помещении тепла, выработка электричества и получение теплой воды, возможность использования в отопительно-варочных печах ТЭГ для обеспечения работы в автоном-

ном режиме – это достоинства отопительно-варочной печи.

Для реализации схемы были применены низкотемпературные ТГМ типа ТГМ-199-1.4-1.15 с генерируемой мощностью 10 Вт (рис. 5) [10]. К установке принимаем

18 ТГМ. С площади 16 см<sup>2</sup> можно получать 10 Вт. При площади ТГМ 288 см<sup>2</sup> мощность ТЭГ составит 180 Вт.

Второй вариант системы электроснабжения произведем с применением среднетемпературных ТГМ МАРС-65 с генерируемой мощностью 65 Вт (рис. 6) [11].

К установке принимаем 3 ТГМ. С площади 238 см<sup>2</sup> можно получать 65 Вт. При площади ТГМ 715 см<sup>2</sup> мощность ТЭГ составит 195 Вт.

Так как для работы ТГМ МАРС-65 требуются более высокие температуры для эффективной работы, то в качестве источника тепловой энергии применяем отопительное устройство, представленное на рис. 7.

Отопительное устройство имеет в своем составе элемент, преобразующий энергию горения топлива в тепловую, на корпусе которого закреплен один или несколько ТЭГов. В состав ТЭГа входит опорная нагреваемая пластина, на которой подвижно с применением биметаллических пластин закреплена тепловыравнивающая пластина с установленными на ней термоэлектрическими генераторными модулями [12]. Дан-

ное техническое решение построено по модульному принципу.

Достоинство – техническое решение позволяет снизить массогабаритные показатели отопительного устройства, а также обеспечить постоянный уровень генерируемого напряжения на выходе ТЭГ и обеспечить защиту ТЭГ от перегрева.

В табл. 2 представлен сравнительный анализ систем электроснабжения, построенных на двух различных технологиях: с применением низко- и среднетемпературных ТГМ.

Как видно из табл. 2, среднетемпературные ТГМ занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные ТГМ. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Данные обстоятельства необходимо учитывать при построении систем электроснабжения.

Система электроснабжения с применением низкотемпературных или среднетемпературных ТГМ представлена на рис. 8.

Таблица 2

Анализ систем электроснабжения

Генераторные модули	Количество, шт	Площадь ТГМ, см <sup>2</sup>	Генерируемая мощность, Вт	Мощность с единицы площади, Вт/см <sup>2</sup>
ТГМ-199-1.4-1.15	18	288	180	0,625
МАРС-65	3	715	195	0,27

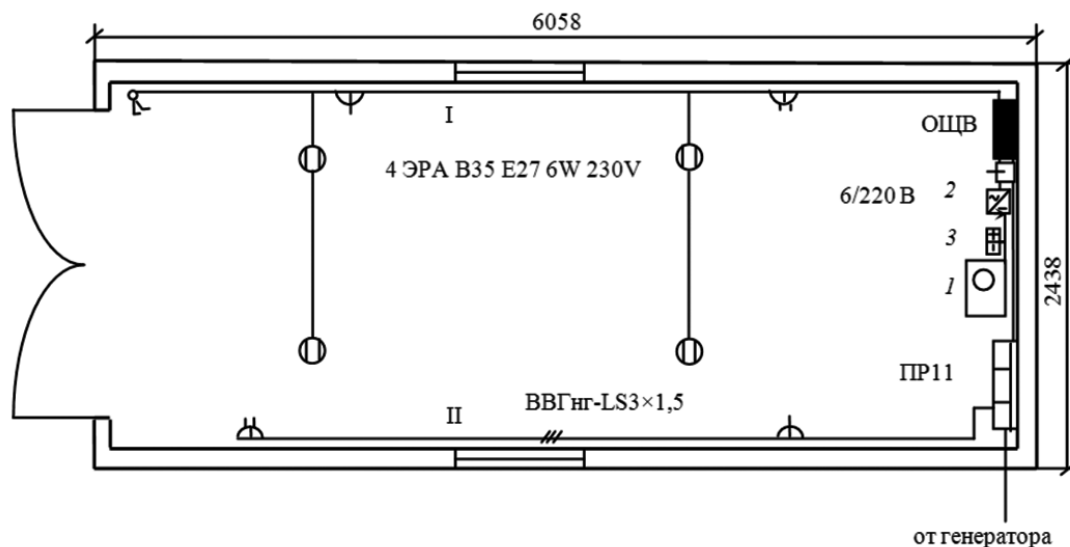


Рис. 8. Система электроснабжения заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов на основе термоэлектрических генераторов



Система содержит два источника электроэнергии: первый – генератор, который используется в качестве резервного источника, второй – отопительно-варочная печь или отопительное устройство 1 с ТГМ, инвертором 2 и аккумуляторной батареей 3. Потребители представлены розеточной группой с двухполюсными розетками и системой освещения на лампах ЭРА мощностью 6 Вт в количестве 4 штук и запитаны кабелем ВВГнг-LS3×1,5.

Ввод от резервного источника выполнен через распределительный пункт ПР11, который питает отдельную розеточную группу и соединен через переключатель управления с осветительным щитом ОЩВ.

Система работает следующим образом. При работе отопительно-варочной печи или отопительного устройства 1 выделяется тепловая энергия, которая преобразуется в электрическую энергию низкого напряжения 6–7 В постоянного тока. Далее она преобразуется в инверторе 2 в электрическую энергию переменного тока напряжением 220 В и через переключатель управления подается в осветительный щит ОЩВ, который запитывает через кабель ВВГнг-LS3×1,5 потребителей розеточной группы I и осветительную нагрузку. В том случае, если нагрузка отключена или потребители работают на неполную нагрузку, происходит зарядка аккумуляторной батареи 3.

Если отопительно-варочная печь или отопительное устройство отключены, электроснабжение осуществляется от аккумуляторной батареи 3. При ее разрядке система электроснабжения запитывается от генератора. Совместная работа генератора и ТГМ возможна, когда требуется подключение нагрузки, большей, чем та, на которую рассчитан ТГМ. В этом случае запитывается розеточная группа II.

### Выводы

Проблема надежного и качественно-го электроснабжения малых удаленных и малонаселенных поселений остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах и требует срочного решения.

Проведенный анализ технических решений для реализации систем электроснабжения на основе термоэлектрических генераторов показал, что на сегодня существует мощная научная и техническая база, позволяющая решить проблемы децентрализованных потребителей электрической энергии.

Разработанные в проекте стенд и методика для исследования режимов работы

термоэлектрических генераторных модулей позволят повысить эффективность систем электроснабжения на базе ТЭГ путем отладки на стадии проектирования рациональных режимов эксплуатации.

Произведенный расчет системы электроснабжения потребителей заготовительно-приемного пункта по сбору дикоросов с двумя различными технологиями: низко- и среднетемпературными ТГМ позволил установить, что среднетемпературные ТГМ занимают в 2,3 раза большую площадь для выработки сопоставимого количества энергии, чем низкотемпературные ТГМ. Также для их работы требуется создание более высоких температур в источнике тепловой энергии, что может быть связано с дополнительными затратами на создание этих условий. Данные обстоятельства необходимо учитывать при построении систем электроснабжения.

Разработанная система электроснабжения объекта с применением низкотемпературных и среднетемпературных термоэлектрических генераторов, работающих от тепловой энергии отопительно-варочного или отопительного устройства, отвечает требованиям надежности и может быть реализована у децентрализованных потребителей малой мощности.

### Список литературы

1. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. 2012. № 3 (4). С. 103–108.
2. Ибромимов Р.И. Термоэлектрические установки для электроснабжения потребителей малой мощности // Инновационные тенденции развития российской науки. Часть I: мат-лы X международ. науч.-практ. конф. мол. учен., посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ (г. Красноярск, 22–23 марта 2017 г.). Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2017. С. 136–139.
3. Термоэлектрические модули Пельтье и комплексные системы охлаждения [Электронный ресурс]. URL: <http://kyothermtec.com/ru/> (дата обращения: 08.11.2018).
4. Виноградов С.В., Халыков К.Р. Использование термоэлектрических генераторов в судовых энергетических установках, как устройств прямого преобразования тепловой энергии в электрическую // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. Астрахань, 2014. № 4. С. 48–56.
5. Виноградов С.В., Халыков К.Р., Конг Доан Нгуен. Методика расчета и оценки параметров экспериментального термоэлектрического генератора // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. Астрахань, 2011. № 1. С. 84–91.
6. Шостаковский П.Г. Термоэлектрические генераторы промышленного применения. Ч. 1 // Современная электроника. 2016. № 1. С. 1–5.
7. Высокоэнергетическая электроника: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Е. Фортова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 687 с.

8. Иброгимов Р.И., Долгих П.П. Стенд для исследования режимов работы термогенераторных модулей / European scientific conference: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Ч.1. Пенза: МЦНС: «Наука и Просвещение». 2018. С. 155–158.

9. Пат. 2172448 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F24B 5/06. Отопительно-варочная печь / Заддэ В.В., Никитин Б.А., Стребков Д.С.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. № 2000107194/06; заяв. 24.03.2000; опубл. 20.08.2001. Бюл. № 23.

10. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля ТГМ-199-1.4-1.15 [Электронный ресурс]. URL:

[http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/ru/TGM-199-1.4-1.15\\_rus.pdf](http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/ru/TGM-199-1.4-1.15_rus.pdf) (дата обращения: 11.11.2018).

11. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля МАРС-65 [Электронный ресурс]. URL: [http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/Spec\\_Mars-65-ru.pdf](http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/Spec_Mars-65-ru.pdf) (дата обращения: 11.11.2018).

12. Пат. 2419749 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F24H 3/12. Отопительное устройство с термоэлектрическим генератором и термоэлектрический генератор / Баукин В.Е., Винокуров А.В., Корнеев А.Д., Кузнецов А.А., Лапковский А.Я., Малышев В.Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «КРИОТЕРМ». № 2010103708/06; заяв. 03.02.2010; опубл. 27.05.2011. Бюл. № 15.