

## МНОГОТОПЛИВНАЯ МИКРОТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ МОЩНОСТЬЮ 1–10 кВт ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

*А.Д. Мехтиев, В.В. Югай, А.Д. Алькина, Н.Б. Калиаскаров, У.С. Есенжолов  
Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан*

Проблема эффективного электроснабжения сельских потребителей не решена в полном объеме до сих пор. Одним из путей решения данной проблемы является разработка микротепловой электростанции, способной функционировать практически на любом топливе. Использование собственного источника энергии позволит снизить затраты на ее производство для фермерского хозяйства. Существенно повышаются показатели надежности электроснабжения и обеспечивается ее бесперебойная поставка потребителю. Предложенная нами электростанция приводится в действие тепловым двигателем с внешним подводом теплоты. Приведены некоторые результаты компьютерного моделирования двигателя с внешним подводом тепла, который работает по принципу Стирлинга. Рассмотрены конструктивные особенности разрабатываемого двигателя.

*Ключевые слова: тепловая электростанция, двигатель Стирлинга, когенерация, тепловая энергия, комплексное производство, альтернативная энергетика, сельское хозяйство.*

### **Введение**

Одним из показателей себестоимости сельскохозяйственной продукции является стоимость энергии, которую приходится закупать по гораздо большему тарифу, чем городским жителям. Основные причины – это транспортные потери и тарифная политика местных владельцев электрических сетей. С транспортными потерями практически ничего нельзя сделать, так как обновление сельских электрических сетей происходит очень медленно. В основном в эксплуатации остались линии, построенные во времена бывшего СССР. Государство вкладывает средства в строительство новых линий, но это не решает проблемы в ближайшие десятилетия. Значительная удаленность, разброс и малая мощность потребителей делают нерентабельной систему электроснабжения в определенных ситуациях фермерского хозяйства. Строительство линии электропередачи – очень затратный процесс, и фермерские хозяйства не могут себе позволить данное строительство. В более выгодных условиях находятся жители сельских районных центров, где еще можно надеяться на решение данной проблемы [1].

Однако могут возникнуть трудности с местными владельцами электрических сетей, которые завышают тарифы и практически не вкладывают средства в их модернизацию. Проблема энергообеспечения фермерских хозяйств и удаленных от них электрических сетей требует решений. Например, стоимость тех же овощей, выращенных в южных регионах Казахстана, остается достаточно высокой, по причине того, что для полива используются насосы с приводом бензиновых и дизельных двигателей. Завозить топливо за 300–400 км очень дорого, оно дорожает в 2–3 раза. Использование альтернативной энергетики (энергия ветра и

солнца) может решить данную проблему, но у них есть следующие недостатки: непостоянство и сложность в регулировании баланса мощности производства и потребления [2]. Эту проблему можно решить частично, используя аккумуляторный накопитель энергии, но он тоже стоит немалых средств. Соответственно, фермеру необходимо найти немалые денежные средства на покупку и монтаж солнечных батарей или ветрогенератора, что большинство частных хозяйств себе позволить не могут. Развитие агропромышленного комплекса напрямую зависит от стоимости и доступности энергоносителей, поэтому обеспечение доступной электроэнергии даст толчок для развития сельских регионов.

### **Актуальность, научная значимость с кратким обзором**

Одним из решений данной проблемы эффективного и недорогого электроснабжения сельских потребителей, особенно удаленных от районных центров, когда прокладка линии электропередачи многократно превышает стоимость объекта и не может окупиться, является производство электрической и тепловой энергий на месте потребления, с помощью многотопливной микротепловой электростанции (МТЭС). Силовой агрегат предложенной МТЭС работает на любом виде топлива. Сельский житель может эксплуатировать МТЭС на доступном в регионе топливе, основанном на отходах сельскохозяйственного производства и животноводства. На месте можно наладить производство топливных брикетов, используя несложное в эксплуатации оборудование [3].

МТЭС является передвижной и полностью автономной установкой, способной производить электрическую и тепловую энергию на месте без

транспортных потерь. Сельский житель или фермерское хозяйство будут сами производить необходимое количество энергии и быть независимыми от внешней электрической сети. Простая по конструкции МТЭС будет недорогой в эксплуатации, и в случае необходимости ее ремонт можно выполнить в сельской мастерской [4].

Есть разработки зарубежных компаний, которые производят МТЭС для различных нужд, в основном для городских особняков, загородных домов и дач, но в качестве топлива они используют природный газ, что не приемлемо в условиях полного отсутствия газификации села, а использование баллонного газа очень недешево обходится даже городскому жителю. Стоимость таких элитных автоматических систем с микропроцессорным управлением настолько высока, что просто исключает их использование [5]. Для их эксплуатации требуется высококвалифицированная сервисная служба ремонта и наличие оригинальных запасных частей. Конечно, над этим вопросом работают и разработчики МТЭС ближнего зарубежья, которые считают, что для автономного электроснабжения современная промышленность должна предложить сельскому жителю, помимо бензиновых и дизельных электрических генераторов, производство тепловых электростанций, основой которых является двигатель с внешним подводом тепла, работающий по циклу Стирлинга. На российском рынке присутствует ряд компаний, производящих экспериментальные МТЭС, способные работать на низкокалорийном топливе и отходах деревообработки. Как сказано ранее, имеются зарубежные разработки МТЭС, использующие двигатели с внешним подводом теплоты, с экономическими показателями и техническими характеристиками, превосходящие двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинные установки (ГУ) [6]. Лидирующие позиции в прошлом веке по производству МТЭС, основанные на использовании двигателя с внешним подводом теплоты, занимались фирмы: Philips, STM Inc., Daimier Benz, Solo, United Stirling.

Выпущенные ими серийные образцы эксплуатировались в быту и в сельском хозяйстве до настоящего времени, особенно в развивающихся странах третьего мира. Сегодня на рынке можно купить МТЭС производства Японии, Германии, Великобритании и других стран. Например, МТЭС VIESSMANN – VITOTWIN 300 W примерной стоимостью 11 тысяч евро или Whisper Tech стоимостью более 12 тысяч евро, мощностью 1 кВт, работающие только на природном газе, позволяют получать примерно на 1 кВт произведенной электрической мощности 6 кВт тепловой мощности, что может хватить для отопления небольшого дома [7]. Примерно такую же продукцию предлагают фирмы: Ecorpower, WhisperGen, Microgen, Lion-Powerblock, EcoGen, Honda. Их диапазоны элек-

трической мощности от 1 до 50 кВт, общий КПД комплексного производства энергии составляет около 70–90 %.

### Постановка задачи

Нами разработана концепция производства электрической и тепловой энергии для сельского потребителя, при помощи МТЭС, мощность которой от 1 до 10 кВт. Одним из вариантов мини-МТЭС может быть конструктивная схема с компоновкой двигателя с внешним подводом теплоты, работающая по циклу Стирлинга [8].

В качестве источника электрической энергии используется свободнопоршневой тепловой двигатель и линейный генератор, весь механизм которого не имеет вращающихся частей. Это позволяет существенно упростить установку и снизить ее габариты и металлоёмкость, так как эти обстоятельства напрямую влияют на важные параметры отношения массы на единицу мощности.

### Теоретическая часть

Принцип работы такого двигателя довольно простой и, в отличие от классического варианта двигателя Стирлинга, у него есть ряд существенных преимуществ, перечисленных ранее. Но важным параметром является его герметичность, что позволяет уйти от проблем с уплотнениями. В связи с этим такая конструкция имеет меньшую стоимость. Перемещение поршня и вытеснителя происходит вдоль оси, вверх и вниз. Здесь используется сила упругости рабочего тела. В качестве рабочего тела в таком двигателе может использоваться воздух, азот, гелий и водород, находящиеся под давлением в несколько десятков атмосфер. Перемещаясь, поршни приводят в действие линейный генератор на постоянных магнитах. Рабочее тело нагревается в нижней части и охлаждается в верхней [9]. Движение поршня и вытеснителя подчиняются гармоническому закону синусоидальных волн  $A \sin \omega t$ . Их можно представить вертикальными составляющими векторов перемещения с модулем  $A$ , который вращается с угловой скоростью  $\omega$ . Сумма колебаний волн  $A \sin \omega t$  и  $B \sin \omega t$  можно выразить общим вектором, равным  $A$  и  $B$ , опережающим на угол  $\varphi$ . Его работа за цикл равна  $W = \pi AB \sin \varphi$ . Мощность можно представить выражением.

$$\frac{W}{T} \cdot \frac{T}{t} = (\pi AB \sin \varphi) \left( \frac{\omega}{2\pi} \right) = \frac{\omega}{2} AB \sin \varphi. \quad (1)$$

При этом вектор скорости будет опережать вектор перемещения на  $90^\circ$ .

### Экспериментальная часть

Нами проведено компьютерное моделирование свободнопоршневого двигателя. Полученные результаты помогут создать оптимальную конструкцию с максимально возможным КПД. Установлен ряд зависимостей, влияющих на мощность,

## Альтернативные источники энергии

связанных с температурой нагревателя и охладителя, диаметром и ходом поршней, фазой и другими параметрами [10]. Отдельно проведены эксперименты, позволяющие построить диаграмму замкнутого теплового цикла Карно и рассмотреть зависимость давления и объема при различных положениях поршней. Результаты приведены на рис. 1.

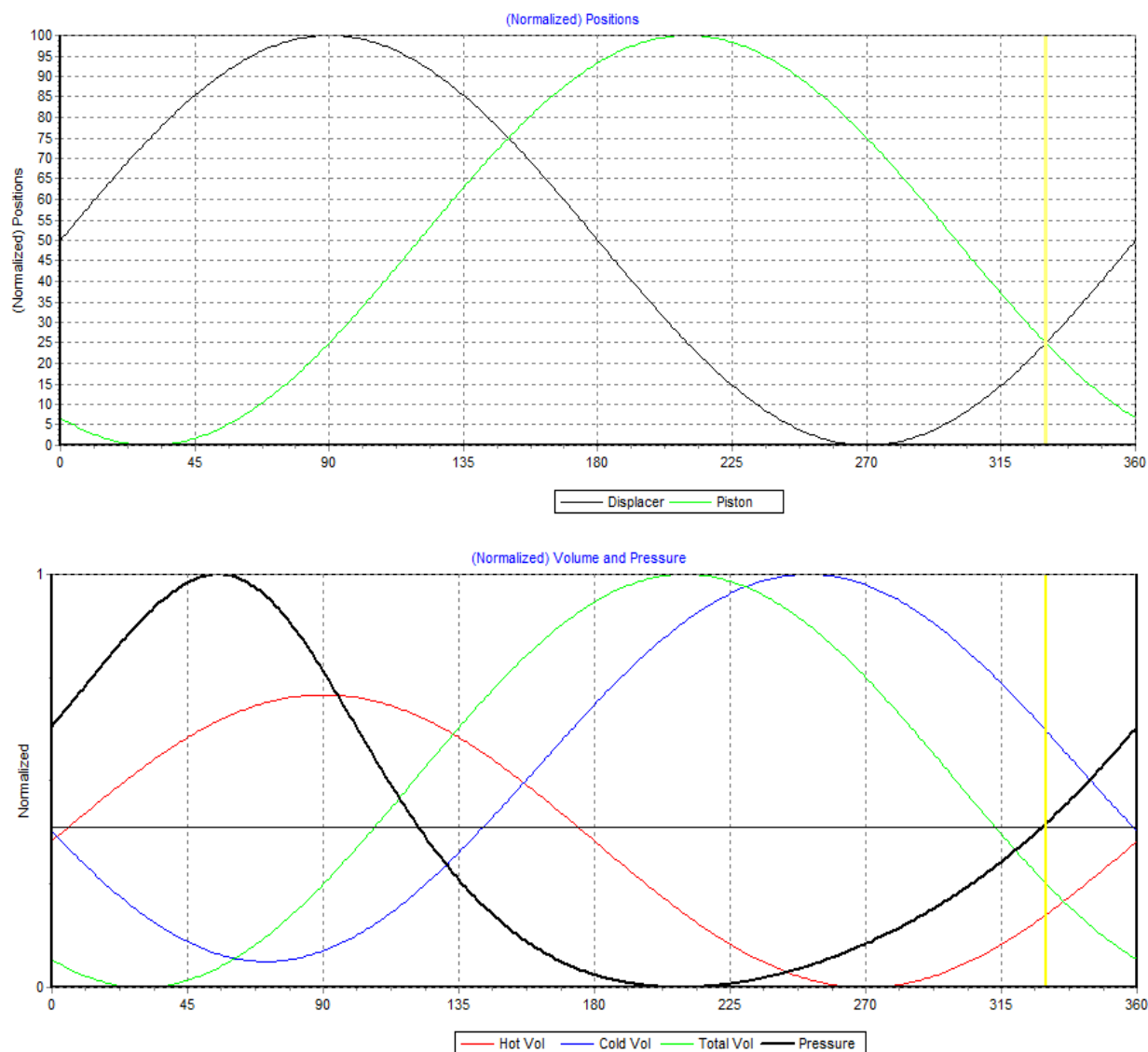
На рис. 2 приведена зависимость изменения давления и объема во внутренней полости двигателя. Образуется замкнутый термодинамический цикл Карно. Согласно диаграмме PV термодинамического цикла, показанной на рис. 2, мы видим, что она отличается от диаграммы идеального двигателя, предложенного Карно. В частности, в нем отсутствует явный переход от процесса по изотерме и по адиабате цикла Карно.

Проведенные исследования позволяют найти оптимальные параметры конструктивных частей теплового двигателя. Точно установить геометри-

ческие размеры поршня и вытеснителя, а также величину их хода с оптимальным значением фазового сдвига [11].

Данный тип теплового двигателя был изобретен в 50-е годы прошлого века в США фирмой «Санпауэр». Конструкция получилась настолько удачной из всего семейства Стирлингов, что инженеры НАСА разработали несколько вариантов для использования их на космических кораблях. Немецкие инженеры сделали ряд разработок для использования теплового двигателя в быту, он может работать как генератор, насос и термокомпрессор.

Видится огромная перспектива использования МТЭС со свободнопоршневым двигателем Стирлинга для энергообеспечения жилых и промышленных объектов сельской местности и фермерских хозяйств. Создание когенерационного альтернативного источника энергии на основе двигателя с внешним подводом теплоты и на основе цикла Стирлинга с линейным генератором



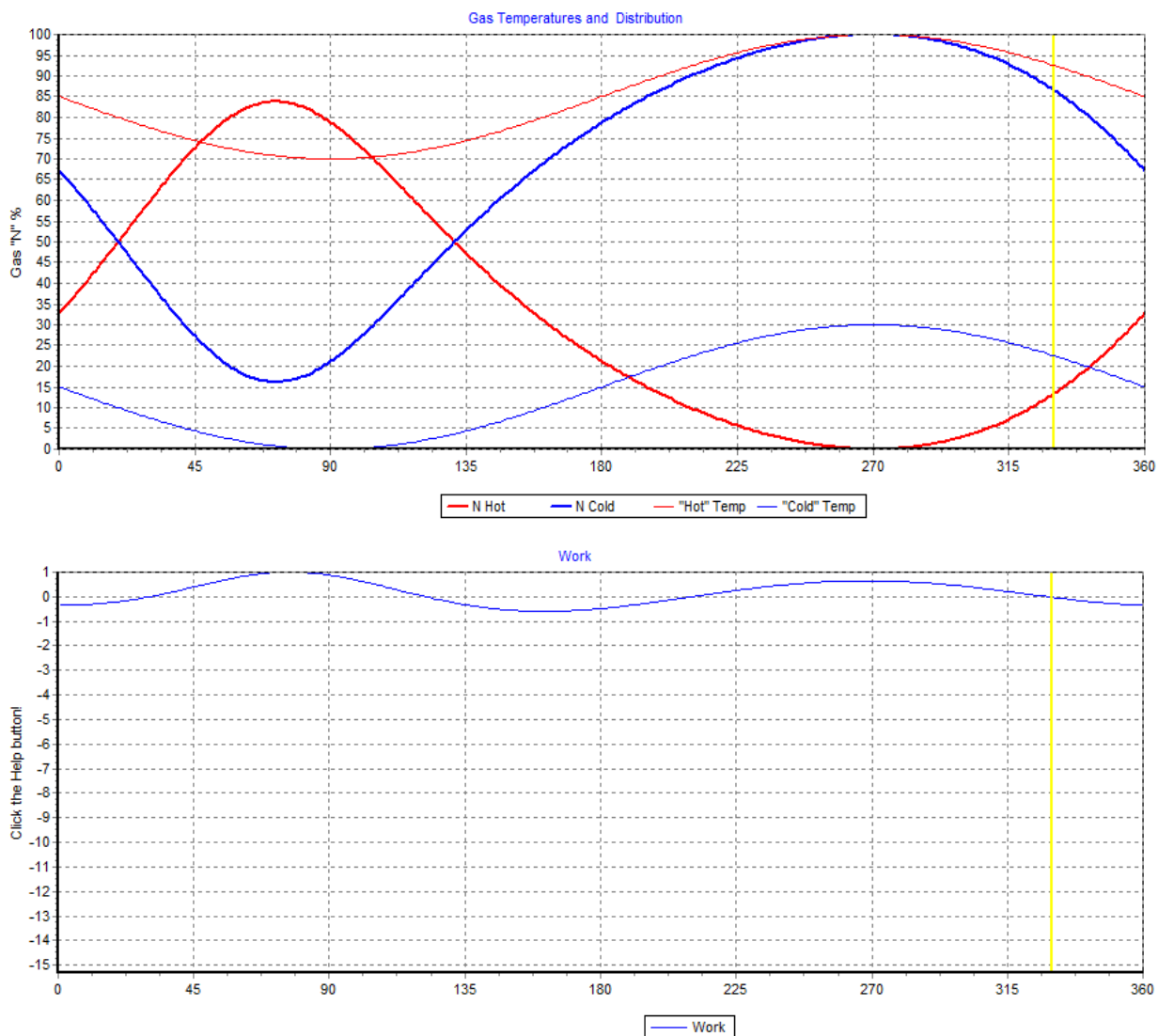


Рис. 1. Зависимости давления и объема при различных положениях поршней МТЭС  
свободнопоршневого двигателя при его работе

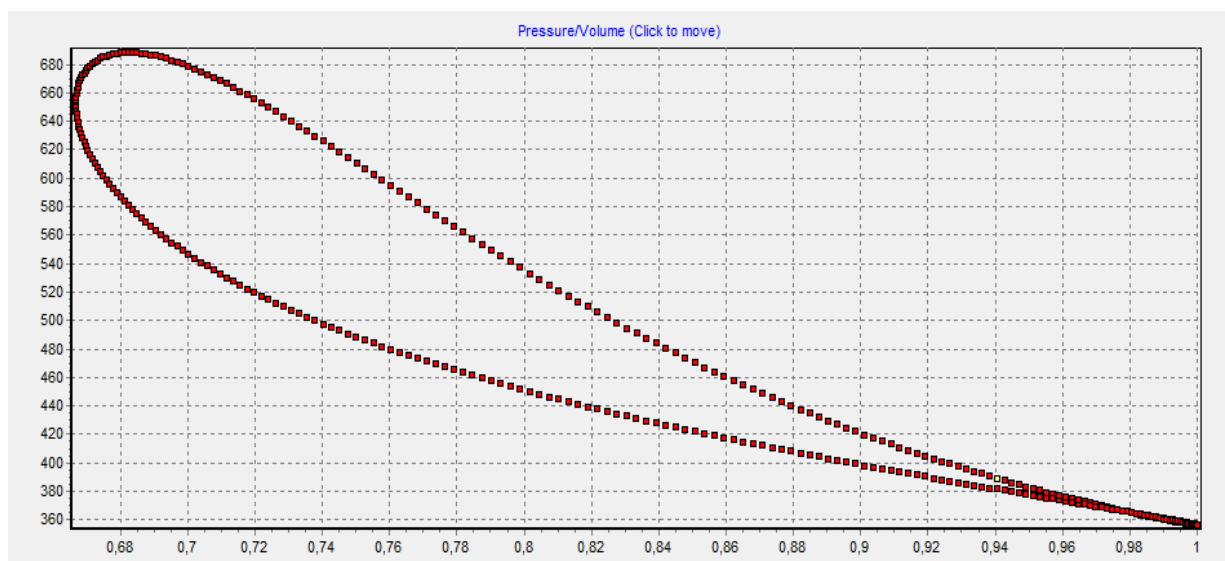


Рис. 2. Диаграмма PV термодинамического цикла

## Альтернативные источники энергии

без вращающихся частей, позволит создать надежный источник энергии, который может эксплуатироваться длительное время без ремонта на доступном для данной местности топливе. Исключение транспортных потерь при доставке электроэнергии потребителю позволит снизить ее стоимость. Использование МТЭС мощностью всего 1,1 кВт·ч позволит обеспечить электроэнергией небольшой сельский дом площадью около 60 м<sup>2</sup> и полностью отопить его в холодное время [12].

В своей конструкции мы используем для изготовления корпуса сталь 20Х23Н18, которая позволит обеспечить работу при температуре 700–950 °С. Внутреннее давление будет составлять 2–3 МПа. В дальнейшем планируется работать с давлением не менее 3 МПа. В качестве рабочего тела будем использовать воздух. Система охлаждения с принудительной циркуляцией и водным раствором автомобильного антифриза. Оптимальный параметр температуры воды на входе в тепловой двигатель в пределах от 20 до 25 °С, но желательно достижение значения в 15 °С. Этот показатель может быть достигнут только при увеличении площади радиатора, что увеличит металлоемкость и вес агрегата. Производительность помпы около 3–4 л/мин. Ожидаемая температура на выходе из системы охлаждения в диапазоне от 50 до 80 °С, но желательно достижение значения не более 60 °С. Напряжение на выходе из генератора может быть от 24 до 220 В, причем возможна прямая работа через преобразователь на зарядку аккумуляторов с дальнейшим инвертированием при необходимости в 220 В переменного тока [13]. Электрическая мощность генератора будет в пределах 1,1–1,2 кВт, достигается около 1200–1300 об/мин, при этом выделяемая мощность в виде тепловой энергии будет в пределах 3,5–4 кВт. В зависимости от эффективной работы системы охлаждения

возможно достижение значения 4,5–5 кВт. Экспериментальные лабораторные модели работали на газе, но в реальных условиях планируется работа на древесных отходах и отходах сельскохозяйственного производства.

На рис. 3 приведена условно упрощенная схема свободнопоршневого двигателя с линейным генератором на постоянных магнитах, который ляжет в основу нашей будущей МТЭС [14].

Владелец МТЭС будет сам приготавливать себе топливо из доступных в регионе веществ. Например, для обеспечения указанной мощности расход древесных пеллет будет примерно от 2,7 до 3 кг/ч, но расход топлива можно снизить, совершенствуя конструкцию МТЭС в дальнейшем, желательный расход древесных пеллет – до 2,6 кг/ч. В качестве рабочего тела будем использовать воздух для удешевления стоимости МТЭС, использование гелия и водорода может дать значительный рост производительности, но создает ряд технических проблем. Суммарный КПД установки достигает 80 %, при этом уровень шума не должен превышать 40 Дб. Примерный срок службы – 50 000 ч. Диаметр – около 500 мм, длина – 800 мм, масса – примерно 60 кг.

На рис. 4 приведена схема компоновки МТЭС. Для ее работы подойдет очень простая печь, которую сельский житель может легко сделать самостоятельно, без привлечения высококвалифицированных специалистов [15].

Желательно, чтобы ее стенки имели хорошую теплоизоляцию, что сократит потери тепла в атмосферу [16]. Загрузка топлива выполняется через бункер сверху. Для обеспечения хорошего прогорания топлива необходим нагнетатель воздуха. Чистка от остатков продуктов горения выполняется через специальный люк. Отработанные дымовые газы выходят через дымоход.

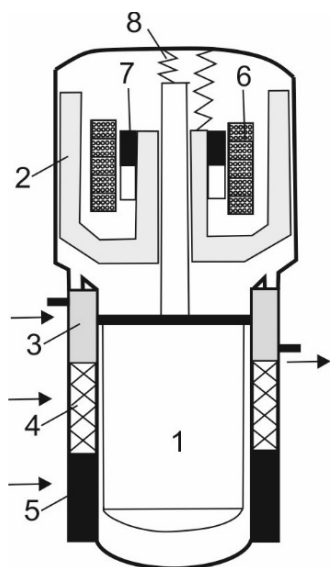


Рис. 3. Упрощенная схема свободнопоршневого двигателя с линейным генератором на постоянных магнитах: 1 – вытеснитель; 2 – поршень; 3 – охладитель с циркулирующей в нем жидкостью; 4 – регенератор; 5 – нагреватель; 6 – обмотка линейного генератора; 7 – постоянные магниты; 8 – пружина

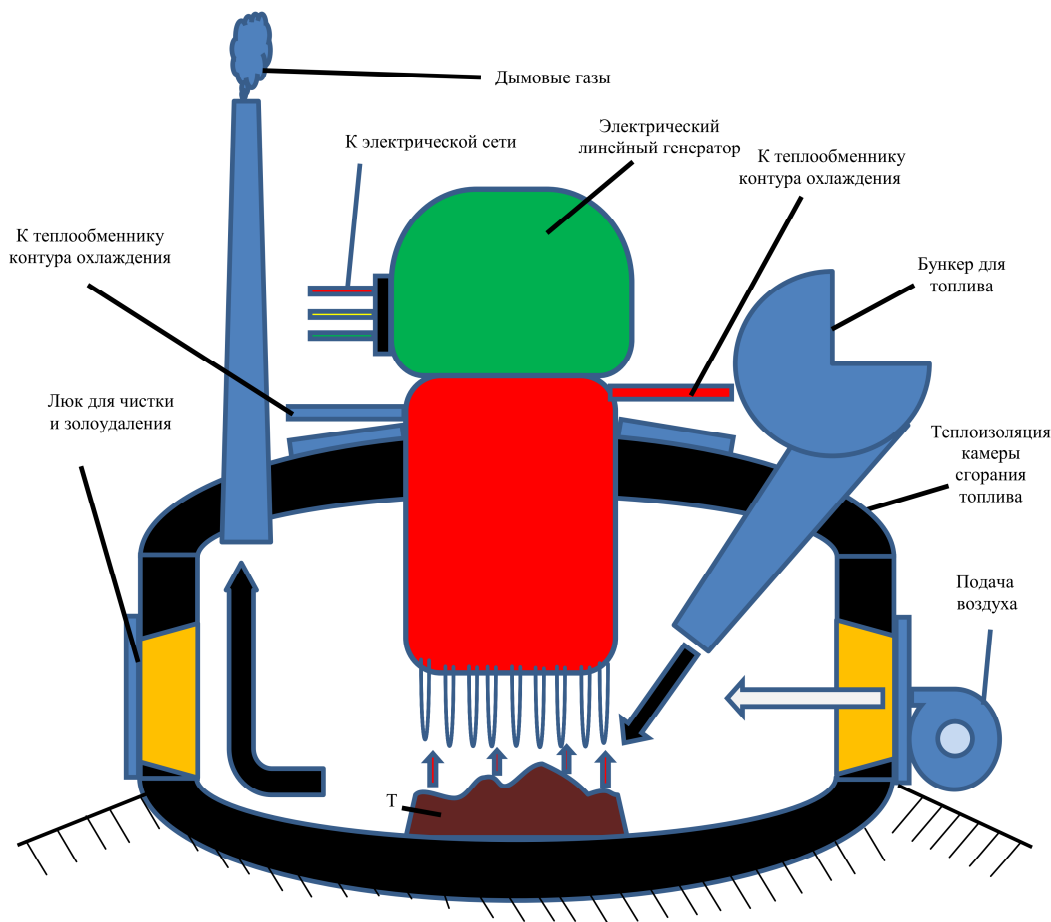


Рис. 4. Схема с компоновкой МТЭС

### Заключение

Для эффективной работы МТЭС необходима не только высокая температура со стороны нагревателя, но и обеспечение низкой температуры охладителя; чем выше разница в их значениях, тем выше КПД двигателя. Достигается цель снижения себестоимости производства энергии на уровне 4–5 тенге за 1 кВт·ч и исключения транспортных потерь энергии. Получена полная независимость потребителя от роста тарифов и политики энергетических компании. Ожидаемый результат проекта – достижение 50 % эффективности по отношению к лучшим мировым образцам МТЭС, но со стоимостью в пределах 30 % своих зарубежных аналогов; достижение КПД более 20 %, при выработке электрической энергии и 70 % комплексного производства энергии; создание МТЭС, способной конкурировать с другими источниками энергии.

### Литература

1. Бобылев, А.В. Математическая модель свободнопоршневого двигателя Стирлинга / А.В. Бобылев, В.А. Зенкин // *Техника. Технологии. Инженерия*. – 2017. – № 1. – С. 22–27.
2. Веревкин, М.Г. Метод комплексного теплового и конструкторского расчета термомехани-

ческого генератора / М.Г. Веревкин // *Известия вузов. Серия «Машиностроение»*. – 2004. – № 10. – С. 33–37.

3. Оценка КПД криогенного двигателя Стирлинга, входящего в состав газификатора сжиженного природного газа системы питания газовым потоком судового двигателя / В.А. Афанасьев, А.М. Цейтлин, П.Б. Поляков, Р.Ю. Гавлович // *Вестник АГТУ. Серия «Морская техника и технология»*. – 2013. – № 1. – С. 78–83.

4. Горожанкин, С.А. Комбинированные газотурбинные установки с двигателями Стирлинга / С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков, А.В. Чухаркин // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета*. – 2015. – № 2 (219). – С. 57–66. DOI: 10.5862/JEST.219.7

5. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права Республики Казахстан. Мини ТЭС с линейным генератором тока с рекуператором для утилизации отходов подверженных горению / А.Д. Мехтиев, В.В. Югай, А.Д. Алькина, П.М. Ким, О.В. Алдошина, Р.А. Мехтиев, Д.Д. Балапанова, А.В. Федорова. – № 0956; опублик. 2 3.05.2016.

6. Свидетельство о государственной регист-

рации прав на объект авторского права Республики Казахстан. Альтернативная теплоэнергетическая установка когенерационного типа мини-ТЭЦ / Ф.Н. Булатбаев, В.В. Югай, А.Д. Алькина, Е.Г. Нешина. – № 2385; опублик. 15.11.2016.

7. Жаукешов, А.М. К выбору компонентов солнечной электростанции с двигателем Стирлинга / А.М. Жаукешов // Вестник КазНУ. Серия «Физическая». – 2014. – № 4 (51). – С. 85–89.

8. Ридер, Г. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. / Г. Ридер – М.: Мир, 1986. – 464 с.

9. Уокер, Г. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. / Г. Уокер. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

10. Langlois, Justin L.R. Dynamic computer model of a Stirling space nuclear power system / Justin L.R. Langlois // Annapolis: US Naval Academy. – 2006. – Trident Scholar project report no. 345.

11. Kouji Kumagai. Performance Prediction of Linear Stirling Power Generator with Two Displacers / Kouji Kumagai, Hiroyuki Yamasaki // 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), 2008. DOI: 10.2514/6.2008-5636

12. Kwanchai Kraitong. Numerical modelling and design optimisation of Stirling engines for power

production / Kwanchai Kraitong // World Renewable Energy Congress, 2011.

13. Hang-Suin Yang. A Nonlinear Non-dimensional Dynamic Model for Free Piston Thermal-lag Stirling Engine / Hang-Suin Yang, Chin-Hsiang Cheng // Energy Procedia. – 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.270

14. Ильин, Р.А. Эффективность использования двигателей Стирлинга в составе газо-газовых теплоэнергетических установок / Р.А. Ильин // Вестник АГТУ. – 2008. – Вып. 5 (46). – С. 110–113.

15. Светлов, В.А. Определение параметров теплообмена во внутреннем контуре двигателя Стирлинга / В.А. Светлов, Н.А. Иващенко, С.И. Ефимов // Двигатель-97: междунар. науч.-техн. конф. К 90 летию начала подготовки в МГТУ специалистов по двигателям внутреннего сгорания. Материалы конференции. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – С. 130–131.

16. Абакишин, А.Ю. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена в цилиндрах двигателя с внешним подводом теплоты / А.Ю. Абакишин, Г.А. Ноздрин, М.И. Куколев // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2012. – № 2–2 (1477). – С. 164–167.

**Мехтиев Али Джаванширович**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Технологии и системы связи», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; barton.kz@mail.ru.

**Югай Вячеслав Викторович**, доктор PhD., и.о. доцента, кафедра «Технологии и системы связи», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; slawa\_v@mail.ru.

**Алькина Алия Даулетхановна**, магистр технических наук, старший преподаватель, кафедра «Измерительная техника и приборостроение», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; alika\_1308@mail.ru.

**Калиаскаров Нурбол Балгабаевич**, магистр технических наук, преподаватель, кафедра «Технологии и системы связи», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; 90nurbol@mail.ru.

**Есенжолов Улан Серикович**, магистр технических наук, старший преподаватель, кафедра «Технологии и системы связи», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; newneil@mail.ru.

*Поступила в редакцию 15 мая 2018 г.*

## MULTI-FUEL MICRO-THERMAL 1–10 kW CAPACITY POWER PLANT FOR REMOTE RURAL LOCALITIES AND FARM SITES

A.D. Mekhtiev, barton.kz@mail.ru,  
V.V. Yugay, slawa\_v@mail.ru,  
A.D. Al'kina, alika\_1308@mail.ru,  
N.B. Kaliaskarov, 90nurbol@mail.ru,  
U.S. Esenzholov, newneil@mail.ru

Karagandy State Technical University, Karagandy, Kazakhstan

The problem of efficient electricity supply to rural consumers has not yet been fully resolved. A way to solve this problem is to develop a micro thermal power plant that can function on virtually any fuel. Using own energy source will reduce the cost of its production for the farm, significantly increase the reliability of electricity supply, and ensure its uninterrupted supply to consumers. The suggested power plant is driven by a thermal motor with external heat supply. The results of computer simulation of an engine with external heat supply, which works based on Stirling principle, are given. The design features of the engine being developed are considered.

*Keywords:* thermal power station, Stirling engine, cogeneration, thermal energy, integrated production, alternative energy, agriculture.

### References

1. Bobylev A.V., Zenkin V.A. [The Mathematical Model of Stirling's Free-piston Engine]. *Bulletin of Equipment Technologies. Engineering. Ser. Power Engineering*, 2017, no. 1, pp. 22–27. (in Russ.)
2. Verevkin M.G. [Method of Complex Thermal and Design Calculation of a Thermomechanical Generator]. *Bulletin of Proceedings of Higher Educational Institutions. Ser. Mechanical Engineering*, 2004, no. 10, pp. 33–37. (in Russ.)
3. Afanas'ev V.A., Tseytlin A.M., Polyakov P.B., Gavlovich R.Yu [Estimation of the Efficiency of the Cryogenic Stirling Engine, which is Part of the Gasifier of Liquefied Natural Gas, the Gas-powered System of the Marine Engine]. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Ser. Marine Engineering and Technologies*, 2013, no. 1, pp. 78–83. (in Russ.)
4. Gorozhankin S.A., Savenkov N.V., Chukharkin A.V. [Combined Gas Turbine Units with Stirling Engines]. *Bulletin of the Founder and Publisher of the Journal is the St. Petersburg State Polytechnical University*, 2015, no. 2 (219), pp. 57–66. (in Russ.) DOI: 10.5862/JEST.219.7
5. Mekhtiev A.D., Yugay V.V., Al'kina A.D., Kim P.M., Aldoshina O.V., Mekhtiev R.A., Balapanova D.D., Fedorova A.V. *Mini TETs s lineynym generatorom toka s rekuperatorom dlya utilizatsii otkhodov podverzhennykh goreniyu*. [Mini CHP with a Linear Current Generator with a Recuperator for Recycling Waste Combustible]. Certificate of State Registration of Rights to the Object of Copyright of the Republic of Kazakhstan, no. 0956, 23.05.2016.
6. Bulatbaev F.N., Yugay V.V., Al'kina A.D., Neshina E.G. *Al'ternativnaya teploenergeticheskaya ustanovka kogeneratsionnogo tipa mini-TETs*. [Alternative Heat-Power Plant Cogeneration Type Mini-CHP.]. Certificate of State Registration of Rights to the Object of Copyright of the Republic of Kazakhstan, no. 2385, 15.11.2016.
7. Zhaukeshov A.M. [To the Selection of Components of a Solar Power Station with a Stirling Engine]. *Bulletin of Herald of the Kazakh National University. Ser. Physical*, 2014, no. 4 (51), pp. 85–89. (in Russ.)
8. Rider G. *Dvigateli Stirlinga: per. s angl.* [Stirling Engines]. Transl. from Engl. Moscow, Mir Publ., 1986. 464 p.
9. Uoker G. *Dvigateli Stirlinga: per. s angl.* [Stirling Engines]. Transl. from Engl. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 408 p.
10. Langlois Justin L. R. *Dynamic Computer Model of a Stirling Space Nuclear Power system*. Annapolis: US Naval Academy, 2006. Trident Scholar project report no. 345.
11. Kouji Kumagai, Hiroyuki Yamasaki. Performance Prediction of Linear Stirling Power Generator with Two Displacers. *6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC)*, 2008. DOI: 10.2514/6.2008-5636
12. Kwanchai Kraitung. Numerical Modelling and Design Optimisation of Stirling Engines for Power Production. *World Renewable Energy Congress*, 2011.



13. Hang-Suin Yang, Chin-Hsiang Cheng. A Nonlinear Non-Dimensional Dynamic Model for Free Piston Thermal-Lag Stirling Engine. *Energy Procedia*, 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.270

14. Il'in R.A. [Efficiency of Using Stirling Engines in Gas-and-Gas Heat and Power Plants]. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2008, no. 5 (46), pp. 110–113. (in Russ.)

15. Svetlov V.A., Ivashchenko N.A., Efimov S.I. [Determination of Heat Transfer Parameters in the Internal Circuit of the Stirling Engine]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsi* [Intern. Scientific-Techn. Conf. To the 90th Anniversary of the Start of Training at MSTU Specialists on Engines Int. Combustion: Collected Papers]. Moscow, MSTU, 1997, pp. 130–131. (in Russ.)

16. Abakshin A.Yu., Nozdrin G.A., Kukolev M.I. [Numerical Modeling of Heat and Mass Transfer Processes in Engine Cylinders with External Heat Input]. *Bulletin of the Founder and Publisher of the Journal is the St. Petersburg State Polytechnical University*, 2012, vol. 2, no. 2 (1477), pp. 164–167. (in Russ.)

*Received 15 May 2018*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Многотопливная микротепловая электростанция мощностью 1–10 кВт для удаленных объектов сельской местности и фермерских хозяйств / А.Д. Мехтиев, В.В. Югай, А.Д. Алькина и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 62–70. DOI: 10.14529/power180208

### FOR CITATION

Mekhtiev A.D., Yugay V.V., Al'kina A.D., Kaliaskarov N.B., Esenzholov U.S. Multi-Fuel Micro-Thermal 1–10 kW Capacity Power Plant for Remote Rural Localities and Farm Sites. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 62–70. (in Russ.) DOI: 10.14529/power180208