

УДК 44.29.29

А.М. Жукешов, А.У. Амренова, А.Т. Габдуллина*, С.К. Бейсембаев,
О.К. Туенбаев, Т.Сундетов, А. Серик, Ж. Рысбекова, Д. Ауельбек

НИИ экспериментальной и теоретической физики, Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: a_gabdullina@mail.ru

К выбору компонентов солнечной электростанции с двигателем Стирлинга

В статье рассматриваются вопросы создания солнечной электростанции (СЭС) на основе двигателя Стирлинга с учетом экономических и климатических особенностей Казахстана. Создание солнечных электростанций на основе двигателей Стирлинга является новым и перспективным направлением исследований в Казахстане, поскольку такие системы в мире только начинают разрабатывать. Двигатель Стирлинга более эффективен в преобразовании солнечного излучения в электроэнергию (КПД 18-32%), чем большинство современных фотоэлектрических элементов и солнечных электростанций концентрационного типа. В работе предлагается создание экспериментальной СЭС малой мощности на 1-3 кВт, которая будет прототипом коммерческих станций для нужд населения и для применения в отдаленных от электрических сетей районах. Обсуждаются выбор двигателя, солнечного концентратора и автоматизированной системы слежения за солнцем. Для разрабатываемого двигателя предложены конструкции концентратора и трэкера на основе собственных инновационных разработок. Для отражателя предлагается использовать легкую и прочную алюминиевую конструкцию сборного типа, с нанесенным покрытием методом микродугового оксидирования.

Ключевые слова: электрические станции, двигатель Стирлинга, солнечный концентратор, трэкер.

A.M. Zhukeshov, A.U. Amrenova, A.T. Gabdullina, S.K. Beisenbaev,
O.K. Tuenbaev, T.Sundetov, A. Serik, Zh. Rysbekova, D. Auelbek

To select a component for solar power plant with Stirling engines

This article discusses the creation of solar power (SES) based on Stirling engine with regard to economic and climatic features of Kazakhstan. Creating solar power plants based on Stirling engine is a new and promising area of research in Kazakhstan, as such systems in the world are just beginning to develop. The Stirling engine is more efficient in converting solar radiation into electrical energy (efficiency 18 to 32%) than most modern photovoltaic cells and solar power concentration type. The paper proposes the creation of an experimental SEP low power 1-3kW, which will be a prototype commercial stations for the needs of the population and for use in remote areas of electrical networks. The selection of the engine are discussed, a solar concentrator and automated tracking system for the sun. Developed for the engine design proposed concentrator and tracker based on its own innovation. Reflector is proposed to use a light and durable aluminum construction precast, coated by micro-arc oxidation.

Key words: Electric plant, Stirling engine, solar concentrator, tracker.

Ә.М. Жүкешов, А.У. Амренова, А.Т. Габдуллина, С.К. Бейсембаев,
О.К. Түенбаев, Т.Сундетов, Серік А., Ж. Рысбекова, Д. Әуелбек

Стирлинг қозғалтқыш негізінде күн электр станциясының компоненттерін таңдау сурағына

Мақалада Қазақстанның экономикалық және климаттық ерекшеліктерін еске алып Стирлинг қозғалтқышы негізінде күн электр станциясын жасау мәселелері қарастырылған. Стирлинг қоз-

ғалтқышы негізінде күн электр станциясын жасау Қазақстанда жаңа және перспективті бағыт болып табылады. Стирлинг қозғалтқышының ПӘК 18-32% жетеді, осы жағынан ол фотоэлектрлік элементтер және концентрациялық типті күн электр станциясынан тиімді. Жұмыста алыс аудардан да және электр жүйелері жетпейтін жерлерде 1-3 кВт қуатты күн электр станциясының прототипі ұсынылған. Қозғалтқыштың, күн концентраторының және аутоматты күн бақылау жүйесінің таңдауы талқыланады. Концентратор мен трэкердің құрылымдары авторлардың өздік инновациялық жасақтаулар негізінде жобалауға ұсынылған. Шағылдырғыш үшін микродоғалық оксидтеу әдісі пайдалануымен қабат жасалынған жеңіл және мықты алюминий құрылымы ұсынылады.

Түйін сөздер: электр станциясы, Стирлинг қозғалтқыш, күн концентраторы, трэкер.

Введение

Сейчас в мире актуально развитие энергосистем на основе возобновляемых источников, в том числе солнечных электростанций (СЭС) на основе двигателя Стирлинга. Создание солнечных электростанций на основе двигателей Стирлинга является новым и перспективным направлением исследований в Казахстане, поскольку такие системы в мире только начинают разрабатывать. Есть перспективы широкого применения двигателей Стирлинга не только в области СЭС, но и в машиностроении, холодильной технике и космосе. В Республике есть инженерный потенциал в области машиностроения и оптимальные географические условия, что позволит в будущем занять эту нишу. Солнечная энергетическая установка на основе двигателя Стирлинга характеризуется неприхотливостью, бесшумностью и надежностью конструкции двигателя Стирлинга. Достоинствами системы являются: возможность использования соосного электрогенератора промышленной частоты; стабильность вращения двигателя в широких пределах изменения энергии; способность наращивать систему для получения большой мощности. Двигатель Стирлинга более эффективен в преобразовании солнечного излучения в электроэнергию (КПД – 18-32%), чем большинство современных фотоэлектрических элементов и солнечных электростанций концентрационного типа.

Солнечная энергия, безусловно, в будущем станет одним из крупнейших и основных источников энергии в промышленности [1]. В последние годы наблюдается усиленное субсидирование некоторыми странами PV (фотоэлектрических) систем, которые заполнили мировые рынки. Вместе с тем, существует определенный спрос на электростанции с концентрацией солнечной энергии (КСЭ) на основе двигателей Стирлинга. Впервые в истории появляется энергетическая технология,

которая может конкурировать с традиционной энергетикой в тех же рыночных условиях, но без субсидий. Существует огромный, растущий спрос, особенно в Азии, на Ближнем Востоке и африканском рынках, где действительно требуется эта технология [2].

Стирлинг-система понимается как наиболее эффективная технология среди систем с КСЭ. Еще один важный атрибут – это модульная конструкция, что упрощает его адаптацию в существующие распределительные структуры с низкой потребностью в воде, благодаря своей замкнутой цепи охлаждения. В Стирлинг-системе используется параболическое зеркало для отражения солнечного излучения в двигатель Стирлинга. Точечная фокусировка оптики приводит к высокой температуре в процессе преобразования мощности и, таким образом, достигается высокая эффективность преобразования энергии. Рабочий газ передает энергию Солнца для вращения двигателя Стирлинга, который, в свою очередь, питает генератор, который вырабатывает электричество. Антенна вращается по двум осям и следит за Солнцем, чтобы поддерживать максимальную производительность, так как положение Солнца меняется по отношению к панели.

Таким образом, основным узлом солнечной станции является двигатель Стирлинга. Внутри двигателя реализуется тепловой цикл Стирлинга для рабочего газа. Двигатель Стирлинга не содержит клапаны. Этот факт, на первый взгляд, делает его очень простым устройством, но реализовать термодинамический цикл Стирлинга очень трудно (двигатель по циклу Стирлинга невозможно разделить на несколько частей, которые могут быть рассчитаны по отдельности, подобно тому, как, например, может быть разделен поршневой паровой двигатель) [3].

Двигатель Стирлинга был запатентован Ро-

бертом Стирлингом (1790-1878) в 1816 году, первый прототип был построен два года спустя [4]. Впоследствии двигатель Стирлинга был использован только для применения с небольшими требованиями по мощности, или для случаев, которые требуют низкого технического обслуживания, высокой надежности работы и дешевого топлива. Благодаря нефтяному кризису в 70-х гг. XX века было предусмотрено использование двигателя Стирлинга в качестве двигателя для привода личных автомобилей, потому что он может использовать другие виды топлива, кроме бензина. Эта идея была реализована компанией Ford, которая основала компанию United Stirling по развитию автомобильного двигателя Стирлинга. Оперативные тесты показали нецелесообразность двигателя Стирлинга в качестве привода автомобиля, но развитие этого направления продолжается в настоящее время [5]. Компания United Stirling (Швеция) использовала опыт создания автомобильного двигателя Стирлинга для развития нового двигателя Стирлинга для стационарного применения. Начало этого развития было в 80-х гг. XX века, и этот двигатель был назван United Stirling V161 (α -конфигурация, V-образный, объем одного цилиндра 161 см³, рабочий газ гелий). Мощность этого двигателя можно бесступенчато регулировать через изменение давления и температуры рабочего газа, и она составляет около 10 кВт. В настоящее время это самый технологически продвинутый двигатель Стирлинга на рынке [6]. В текущее время разработка двигателей Стирлинга ориентирована на области малой энергетики для преобразования возобновляемых ресурсов на производство электрической энергии до 50 кВт мощности. Например, устройство с двигателем Стирлинга, который использует биомассу, более эффективен, чем устройство с классическим паровым циклом той же мощности. Этот проект осуществляется в сотрудничестве университетов Дании и Швеции [6].

Двигатели Стирлинга

Выработка электроэнергии от солнечной радиации через двигатели Стирлинга является очень эффективным способом. Тем не менее, большинство проектов все еще только в стадии разработки. В большинстве систем двигатель Стирлинга с генератором установлен в фокусе параболического рефлектора, куда направляется

один или несколько лучей, так как мощность отдельного блока только от 5 до 50 кВт. В фокусе параболы температура от 650 до 900°C и там располагается нагреватель. Охлаждение двигателя осуществляется с помощью водяного охладителя с вентилятора, расположенного на противоположной стороне двигателя, чем нагреватель. Охлаждение может быть реализовано так же с помощью специального контура охлаждения, где охлаждающая жидкость подается по трубкам, прикрепленным к балке. Проблемы связаны с ориентацией двигателя, который не является горизонтальным (смазки, уплотнения осей) и с перегревом нагревателя, что также опасно. Рассмотрим основные параметры типичных СЭС на двигателях Стирлинга. В экспериментальной солнечной установке Euro Dish SOLO двигатель Стирлинга V161 находится в фокусе параболического отражателя. Электрический выход 7,9 кВт при инсоляции 850 Вт·м⁻², при эффективности преобразования 15,3% [7]. Двигатель Стирлинга V-180 экспериментальной установки чешской фирмы Strojny Bohdalice, имеет α -конфигурацию, рабочий газ гелий, электрическая мощность 10 кВт, термическая 25 кВт. Весьма внушительными параметрами обладает система нового поколения от United Systems International с двигателем Стирлинга V4-90, который имеет ряд особенностей, что делает его более эффективным, чем его конкуренты: электрическая мощность до 35 кВт, объем 360 см³, двойного действия.

Резюмируя сказанное, отметим преимущества стирлинговых СЭС: длительный срок службы системы до 25 лет, высокая эффективность преобразования солнечной энергии по сравнению с PV (солнечные батареи) на 10-15%, более гибкие требования к месту, более последовательный выход энергии, чем PV, который помогает при подаче энергии в сеть. В настоящее время разрабатываются двигатели Стирлинга для космических зондов [8] и небольшой блок питания для внеземных баз [9]. Для этих случаев предполагается радиоизотопный аппарат в качестве теплового ресурса (SRG-Стирлинг радиоизотопного генератора). Эта система имеет преимущество с более высокой эффективностью около 26% по сравнению с термоэлектрическим блоком около 8%. В последние годы двигатель Стирлинга используется для комбинированного производства тепла и электроэнергии для не-

больших подразделений, на основе эффекта ко-генерации [10, 11].

Наконец, рассмотрим кратко параметры антенны и системы слежения. Типичная антенна имеет диаметр 8-12 м, с отражательной способностью до 94%. Материал зеркал может быть металлом либо полимером. Трэкинг-система позволяет отслеживать солнце со скоростью 60° в час, может иметь микроконтроллер и выход в интернет. В приводе обычно используются серво моторы. Система может противостоять ветру со скоростью до 160 км/час.

Для Казахстана, имеющего значительные ресурсы солнечной энергетики, разработка СЭС на Стирлинге оправдана. Наличие удаленных населенных пунктов с малой численностью проблемы с транспортировкой топлива делают актуальной задачу создания малых СЭС для этих потребителей. С другой стороны, существует постоянный спрос на инновационные разработки в области энергетики и со стороны малого бизнеса. Наконец, предстоящая выставка ЭКС-ПО-2017 также является определенным стимулом для авторов проекта.

Как уже было отмечено, разработка нового двигателя Стирлинга – это очень не простая задача и требует многолетних исследований [11]. В связи с этими обстоятельствами предлагается исследовать уже готовый вариант двигателя и сосредоточить усилия на его эффективном применении. Здесь основными проблемами являются разработка конструкции нагревателя и регенератора для обеспечения приемлемой эффективности работы двигателя в условиях солнечного нагрева. Что касается антенны и трэкера, то основными проблемой для разработчиков является выбор материала покрытия и метод крепления для достижения малого веса и точ-

ности позиционирования. В этом направлении могут пригодиться уже имеющиеся наработки в области вакуумных плазменных покрытий и систем позиционирования для фотовольтаических панелей [12-15]. В связи с этим новизна исследований определяется рядом факторов: впервые будет разработана СЭС на основе Стирлинга с учетом экономических и климатических особенностей Казахстана. Для разрабатываемого двигателя будут разработаны конструкции концентратора и трэкера на основе собственных инновационных разработок. Для отражателя предлагается использовать легкую и прочную алюминиевую конструкцию сборного типа, с нанесенным покрытием методом микродугового оксидирования. Достоинство метода в том, что можно покрывать большие площади и обеспечить хорошую сплошность покрытия. Для системы позиционирования предлагается использовать модификацию уже имеющегося программного обеспечения по управлению положением телескопа, так как задачи аналогичные.

Заключение

В рамках энергетического кружка молодые ученые и студенты КазНУ им. аль-Фараби будут проводить разработку собственного двигателя мощностью 1 кВт. На его базе будет создана СЭС для бытового применения с антенной от любого спутника. Выбор такой мощности обусловлен среднесуточным потреблением электрической энергии населением. Этот двигатель найдет применение у широких слоев населения не только как компактная электростанция, но и как символ инновационной энергетики. В этом смысле поддержка инициативной творческой молодежи является важной задачей для государства.

References

- 1 Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г. / пер. сангл. – М.: Энергия, 1980. – 255 с.
- 2 United Sun Systems International Ltd, Generic Presentation, version 2014.4
- 3 Walker G. Stirling engine, 1980. Oxford: Oxford University Press.
- 4 Hirata K. History of Stirling engines.
- 5 Web: <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/english/history3.htm>, 2011.
- 6 Lundholm G. The experimental V4X Stirling engine – a pioneering development, Proceedings of the 11th International Stirling engine conference, 19-21. November 2003. Roma: Department of Mechanical and Aeronautical Engineering University of Rome “La Sapienza”.
- 7 Brignoli V. One year of operation of a SOLO 161 Stirling solar unit in Italy, Proceedings of the 11th International Stirling engine conference, 19-21. November 2003. Roma: Department of Mechanical and Aeronautical Engineering University of Rome “La Sapienza”.

- 8 Oko-Energiemaschinen Vertriebs GmbH, Vyrobcе Stirlingovych motoru. Web: <http://www.sunmachine.at/>, 2012.
- 9 Oleson, S., McGuire M., COMPASS Final Report: Radioisotope Electric Propulsion (REP) Centaur Orbiter, New Frontiers Mission, 2011.
- 10 Geng S., Briggs, M., Penswick B. Test Results From a Pair of 1-kWe Dual-Opposed Free-Piston Stirling Power Convertors Integrated With a Pumped NaK Loop, 2011.
- 11 Stirling energy. Obchodnizastoupenispolecnosti Cleanergy// Efficient Home Energy. - Brno, 2013.
- 12 Кириллов Н.Г. Производство двигателей Стирлинга – новая отрасль в машиностроении 21 века // Турбины и дизели, 2010. - № 8. - С. 2-5
- 13 Zhukeshov A.M., Gabdullina A.T., Amrenova A.U., S.P. Pak. Structure and microhardness of steel samples after pulse plasma flows processing // Materials Sciences and Applications: Scientific Research Publishing, 2013. – №4. – P.35-41.
- 14 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Пак С.П., Амренова А.У., Кайбар А., Кульжанова С.К. Принципы разработки вакуумных систем для плазменных приложений // Вестник КазНУ, № 1(40), 2012. - С. 28-32
- 15 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Амренова А.У., Пак С.П. Молдабеков Ж., Мухамедрыскызы М. К воздействию импульсной плазмы на поверхность нержавеющей стали // Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2013. – №2. – С. 71-74.
- 16 Zhukeshov A. M., Amrenova A. U., Gabdullina A. T. The improvement of stainless steel properties after pulse plasma processing // International Journal of Materials Science and Applications. - Vol. 3, No. 2. – 2013. - P. 115-119.