

УДК 621.41 (088.8)

НАГРЕВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛА

Арапов Б.Р., Сейтказенова К.К., Сералиев Г.Е., Арапов Б.Б., Арапова Ш.К.

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова,
Шымкент, e-mail: galimastana@mail.ru*

Приведены новые конструкции нагревателей для двигателя с внешним подводом тепла, адаптированные для его работы от сконцентрированных солнечных лучей. Предложены два вида плоских теплопринимающих элементов, имеющих дискообразные формы. Нагреватели состоят из четырех равных частей в виде сектора диска, и каждая часть предназначена для нагревания рабочей среды в одном цилиндре четырехцилиндрового двигателя двойного действия. Первый вариант нагревателя изготавливается из цельной плиты нержавеющей стали, в котором путем сверления выполняются нагревательные каналы, объединенные в коллекторы. Во втором варианте, к двум коллекторам, расположенным перпендикулярно и пересеченным в центре диска, припаиваются теплопринимающие трубки, имеющие форму дуги круга и расположенные по концентрическим окружностям. Трубки расположены в два ряда друг за другом так, чтобы лучи света, идущие от параболоида, полностью задерживались на нагревателе.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, конструкция, нагреватель, коллектор, солнечные лучи, диск, форма

THE HEATER OF THE SOLAR ENGINE WITH THE EXTERNAL SUPPLY OF HEAT

Arapov B.R., Seytkazanova K.K., Seraliyev G.E., Arapov B.B., Arapova S.K.

South Kazakhstan State University of a name of M. Auezov, Shymkent, e-mail: galimastana@mail.ru

New designs of heaters for the engine with an external supply of heat, adapted for its work from the concentrated sun beams are given. Two types of the flat heat absorbing elements having disk-shaped forms are offered. Heaters consist of four equal parts, in the form of sector of a disk and each part is intended for heating of a working environment in one cylinder of the four-cylinder engine of double action. The first variant of a heater is made of one-piece plate of stainless steel in which by drilling the heating channels united in a collectors are carried out. In the second variant, to two collectors located perpendicularly and crossed in the center of a disk, the heat absorbing tubes having a form of an arc of a circle and located on concentric circles are soldered. Tubes are located in two row one after another so that beams of light going from a paraboloid completely were delay on a heater.

Keywords: Stirling engine, design, heater, collector, sun beams, disk, form

Наряду со сложностью обеспечения герметичности рабочей среды в двигателе с внешним подводом тепла (двигатель Стирлинга) и, связанной с этим проблемой создания надежной уплотнительной системы рабочих поршней и их штоков, существуют трудности в конструировании нагревательного устройства (теплоприемника) двигателя. Нагреватели двигателя Стирлинга являются наиболее важными и в тоже время уязвимыми его элементами, которые имеют различные конструкции в зависимости от его мощности [1–5]. Для двигателей, мощность которых менее одного кВт используются простые конструкции нагревателя. Такие нагреватели называются ребристыми, простота их конструкций заключается в том, что на горячую часть рабочего цилиндра с его наружной поверхности устанавливаются теплообменные ребра различной формы. Эти ребра, взаимодействуя с горячими газами (пламенем) продуктов горения топлива, увеличивают площадь теплообменной поверхности горячей части рабочего цилиндра. Такие нагреватели имеют простую конструктивную форму и ком-

пактны (рис. 1), дешевле в изготовлении, однако у них низкие коэффициенты теплопередачи и поэтому используются в двигателях малой мощности. Как показано на рис. 1, для улучшения теплопередачи рабочему телу, теплообменные ребра могут быть установлены и с внутренней стороны рабочего цилиндра.

Большинство двигателей с внешним подводом тепла снабжаются продольно расположенной камерой сгорания с трубчатыми нагревателями. Для мощных двигателей фирмой «Филипс» разработаны различные конструкции трубчатых нагревателей. Конструктивная схема одного из вариантов таких нагревателей показана на рис. 2 [1]. Трубчатые нагреватели представляют собой два ряда сильноизогнутых труб, по которым циркулирует рабочая среда (левая половина трубок на рис. 2), а снаружи трубки подогреваются потоком нагревающей среды, то есть пламенем горения горючей смеси. Для повышения теплоотдачи наружный ряд трубок снабжается дополнительно ребрами. Сильноизогнутые трубки в ходе эксплуатации были склонны к растрескиванию.

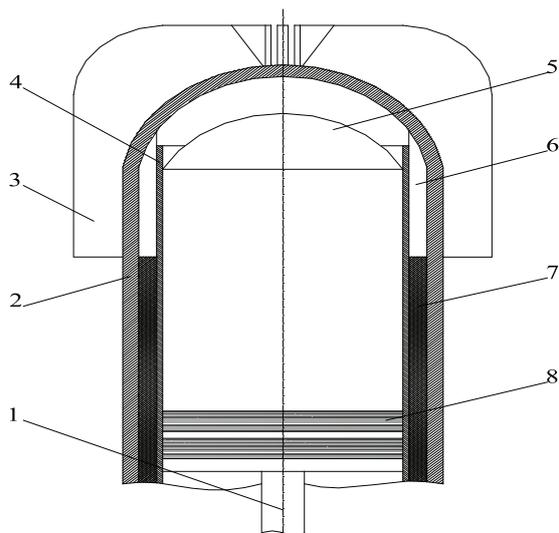


Рис. 1. Горячая часть рабочего цилиндра с теплообменными ребрами [1]:
1 – шток поршня; 2 – наружная стенка рабочего цилиндра; 3 – наружные теплообменные ребра; 4 – внутренний цилиндр; 5 – поршень; 6 – внутренние теплообменные ребра; 7 – кольцевой регенератор; 8 – поршневой сальник

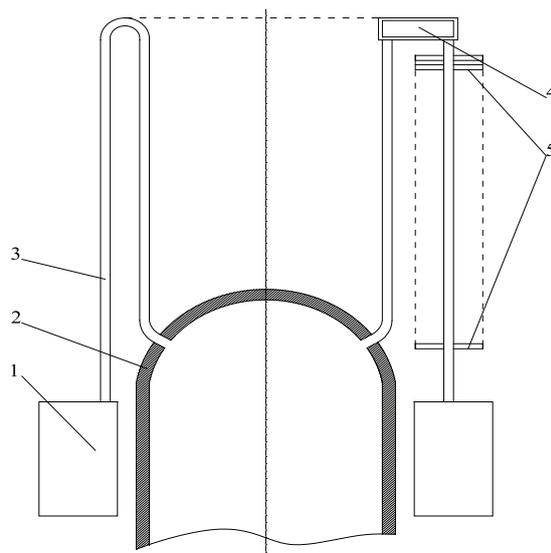


Рис. 2. Схема трубчатых нагревателей (теплообменник) [1]:
1 – регенератор; 2 – рабочий цилиндр;
3 – сильноизогнутые теплообменные трубки нагревателя; 4 – кольцевой коллектор;
5 – теплообменные ребра

Причиной растрескивания является влияние остаточных напряжений, поэтому в последних разработках фирмы «Филипс» трубки нагревателей были объединены в кольцевой коллектор (правая половина трубок на рис. 2).

Однако вышеописанные конструкции нагревателей приспособлены для эффективной работы в условиях, когда в качестве источника тепла применяется открытое пламя сжигаемого газа или жидкого топлива. Они непригодны или малоэффективны для работы от солнечных лучей. Поэтому возникает необходимость разработки новых конструкций нагревателей, наиболее эффективных и подходящих для работы от солнечных лучей

Цель исследований. Для решения данной проблемы поставлена цель – разработать несколько вариантов конструкций нагревателей, работающих от энергии сконцентрированных солнечных лучей и обеспечивающих эффективную работу двигателей с внешним подводом тепла.

Материал и методы исследований

Объектом исследования являются нагреватели, один из которых, изготовленный в виде круглого диска из нержавеющей стали и предназначенный для установления перпендикулярно направлению потока сконцентрированных солнечных лучей представлен на рис. 3. При этом корпус нагревателя нагревается до высокой температуры. Накопленное тепло далее передается рабочему телу, циркулирующему по внутренним каналам нагревателя.

Данный нагреватель состоит из четырех одинаковых секций и каждый сектор (1/4 части диска) является нагревателем для отдельного рабочего цилиндра четырехцилиндрового двигателя двойного действия. Отдельные секторы объединяются и закрепляются тыльной стороной на общее основание, образуя круглый диск (рис. 3, а), лицевая сторона которого является теплоприемником нагревателя. При помощи параболического концентратора солнечные лучи собираются и фокусируются на теплопринимающую поверхность нагревателя. При этом плоскость теплопринимающей поверхности нагревателя устанавливается с некоторым смещением от оптического фокуса параболоида ближе к концентратору так, чтобы лучи равномерно распределялись на всей поверхности нагревателя. Корпус 1 (рис. 3, б) нагревателя в виде цельного диска из стали X18N10T толщиной 22 мм, вырезается из листа и предварительно обрабатывается так, чтобы создать кольцевую канавку 6 прямоугольного сечения глубиной и шириной, равным 14–16 мм.

Наружный диаметр диска составляет 500 мм. После выполнения кольцевой канавки диск вдоль взаимно перпендикулярных диаметров разрезается на равные четыре части. При этом образуются отдельные секторы, показанные на рис. 3, б. В секторах просверливают коллектор 4 в виде отверстия круглого сечения диаметром 14–16 мм и теплообменные отверстия диаметром 8 мм. Также выполняют отверстия и для патрубков. Входное отверстие коллектора, концы и середина кольцевой канавки заглушаются перегородками 5. Для обеспечения герметичности кольцевая канавка закрывается кольцевой накладкой. Все стыки патрубков, перегородок и кольцевой канавки соединяются аргоно-дуговой сваркой.

При расчете эффективная площадь теплообмена $A_{эф}$ равняется произведению общей теплообменной площади на поправочный коэффициент, равный

0,75. Эффективная теплообменная площадь получается меньше, чем общая теплообменная площадь, поскольку подвод тепла на теплопринимающий диск

производится только с лицевой стороны, а тыльная сторона во избежание потерь тепловой энергии, теплоизолируется.

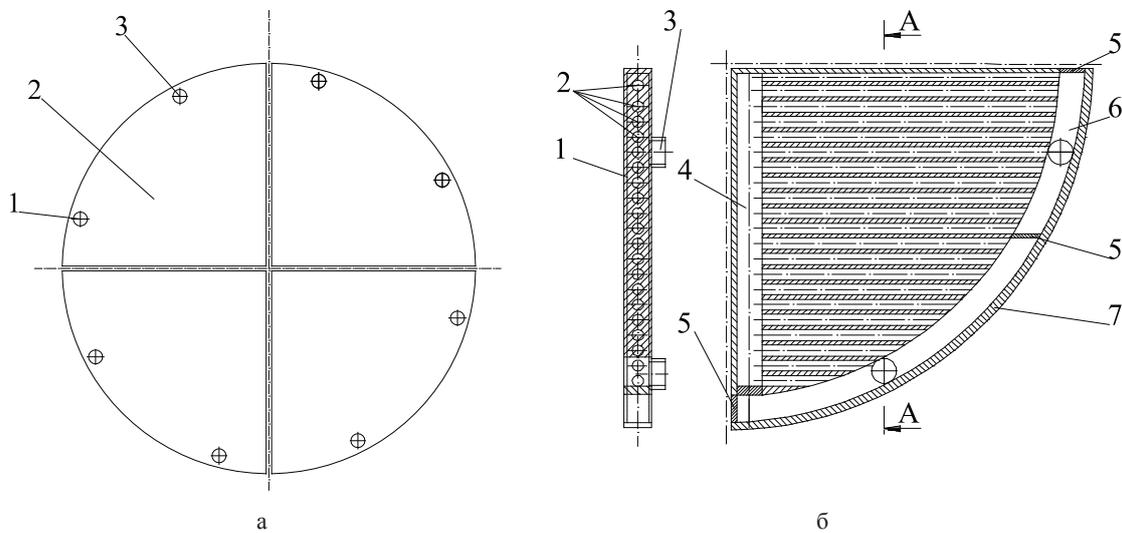


Рис. 3. Нагреватель в виде круглого диска:

- а – собранный диск нагревателя:
- 1 – входной патрубок; 2 – сектор, предназначенный для нагрева рабочей среды в одном рабочем цилиндре; 3 – выходной патрубок;
- б – отдельный сектор в разрезе:
- 1 – корпус; 2 – нагревательные каналы в виде просверленных отверстий; 3 – патрубки;
- 4 – коллектор в виде цилиндрического отверстия; 5 – перегородка-заглушка;
- 6 – кольцевой канал прямоугольного сечения, выполненный путем проточки первоначально целого диска; 7 – кольцевая накладка

Общая площадь теплообменной поверхности $A_{об}$ каждого сектора определяется как сумма площадей поверхностей коллектора $A_{кл}$, теплообменных отверстий $A_{то}$ и кольцевой канавки прямоугольного сечения $A_{кк}$. Для диска вышеприведенных геометрических размеров эти площади равны:

$$A_{кл} = \Pi_{кл} \cdot l_{кл} = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 22,6 = 113,5 \text{ см}^2;$$

$$A_{то} = \Pi_{то} \cdot l_{то} = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 304,5 = 765 \text{ см}^2;$$

$$A_{кк} = \frac{\pi \cdot D_{диск}}{4} \cdot \Pi_{кк} = \frac{3,14 \cdot 42,5}{4} \cdot 1,6 \cdot 4 = 213,5 \text{ см}^2;$$

$$A_{об} = A_{кл} + A_{то} + A_{кк} = 1092 \text{ см}^2,$$

где $\Pi_{кл}$ – периметр окружности отверстия коллектора; $l_{кл}$ – длина отверстия коллектора; $\Pi_{то}$ – периметр окружности теплообменных отверстий; $l_{то}$ – общая длина теплообменных отверстий; $D_{диск}$ – средний диаметр окружности кольцевой канавки; $\Pi_{кк}$ – периметр сечения кольцевой канавки.

Тогда эффективная теплообменная площадь равняется:

$$A_{эф} = A_{об} \cdot 0,75 = 819 \text{ см}^2.$$

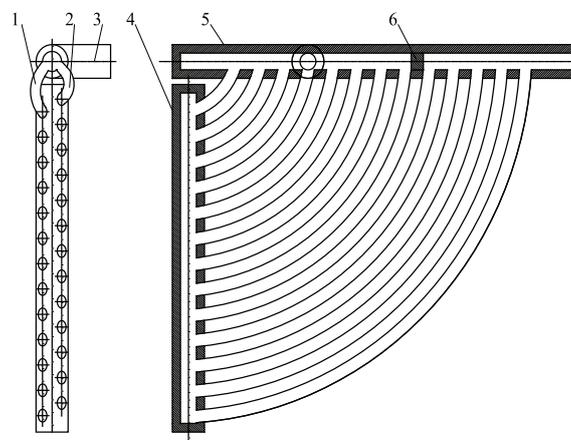


Рис. 4. Сектор с трубчатыми теплопринимающими элементами:

- 1 – верхний ряд теплопринимающих трубок; 2 – нижний ряд теплопринимающих трубок;
- 3 – патрубок; 4 – глухой коллектор; 5 – коллектор с патрубком; 6 – заглушка

В качестве второго варианта нагревателя для солнечных двигателей с внешним подводом тепла разработана конструкция с трубчатыми теплопринимающими элементами (рис. 4). Они также выполнены в виде диска и состоят из отдельных секторов, адаптированных для работы с параболическим концентратором и приема тепла сконцентрированных солнечных лучей.

В этом нагревателе дугообразные трубки располагаются по концентрическим окружностям в два ряда. Зазор между трубками верхнего ряда закрывается трубками второго ряда, расположенными за первым рядом. Места соединения нагревательных трубок с коллекторами запаиваются известными способами, применяемыми в Стирлинг двигателестроении. Таким образом, поток солнечных лучей, идущий от параболического концентратора, полностью поглощается теплопринимающими трубками нагревателя.

Общая площадь теплообменной поверхности трубок (при диаметрах: наружный 8 мм, внутренний 6 мм) и коллекторов равняется:

$$A_{об} = A_{кл} + A_{тр} = 157 + 1227 = 1284 \text{ см}^2.$$

При этом эффективная теплообменная площадь будет равна:

$$A_{эф} = A_{об} \cdot 0,75 = 963 \text{ см}^2,$$

где $A_{кл}$ – площадь теплообменной поверхности коллекторов; – площадь теплообменной поверхности всех трубок.

Результаты исследования и их обсуждение

Представленные конструкции нагревателей спроектированы для солнечной энергетической установки с четырехцилиндровым двигателем двойного действия с крестообразным расположением цилиндров и проектной мощностью до 8 кВт. Проектный рабочий объем цилиндров равняется 450 см³. Планируется снабдить данный двигатель параболическим концентратором солнечных лучей полезной площадью 55 м², диаметром диска 8,5 м. При средней интенсивности тепловой энергии

солнечных лучей в 1 кВт/ч·м² и коэффициенте отражательной способности зеркал 0,8, с указанной площади параболического концентратора можно собрать 44 кВт/ч тепловой энергии. С учетом к.п.д. двигателя и электрогенератора, при помощи проектируемой установки можно вырабатывать до 8 кВт/ч электрической и до 24 кВт/ч тепловой энергии.

Выводы

1. Разработанные конструкции нагревателей в наибольшей степени подходят для применения в солнечных энергетических установках. Сконцентрированные солнечные лучи собираются на фокусе параболического концентратора и приблизительно равномерно распределяются по площади пятна плоскости перпендикулярной к оси параболического концентратора, в этих условиях плоская дискообразная форма теплопринимающих элементов обладает наибольшей способностью к эффективной теплопередаче.

2. Предложенные конструкции нагревателей технологичны и не требуют больших затрат при изготовлении.

Список литературы

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга: пер. с англ. Б.В. Сутугина и Н.В. Сутугина. – М.: Машиностроение, 1985. – 216с.
2. Даниличев В.Н., Ефимов С.И., Звонов В.А., Круглов М.Г., Шувалов А.Г. Двигатели Стирлинга; под редакцией М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1977. – 151 с.
3. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга: пер. с англ. Б.В. Сутугина. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
4. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга / пер. с англ. д.т.н. С.С. Ченцова, к.т.н. Е.Е. Черейского и В.И. Кабакова. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
5. Бреусов В.П., Куколев М.И. Проектная разработка и технология изготовления двигателей с внешним подводом теплоты, работающих на биогазе // Двигателестроение. – 2009. – № 2. – С. 45–46.