

КИРСАНОВ Ю.И., студент гр. ТЭб-132 (КузГТУ), г. Кемерово
Научный руководитель СЛИВНОЙ В.Н., к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

В современном мире условием сохранения и развития цивилизации на Земле стало обеспечение человечества достаточным количеством топлива и энергии. Рост населения планеты и ограниченность ископаемых энергоресурсов заставляют человека искать альтернативные источники энергии, а также максимально рационально использовать традиционные.

Очень тесно к современной тенденции энергосбережения и применения возобновляемых источников энергии примыкает возможность реализации этой энергии в полезных целях с помощью двигателя Стирлинга. Данный двигатель представляет собой одну из вариаций двигателя внешнего сгорания и, в силу этой особенности, может быть легко переведен на работу от ВИЭ без вреда для экологии.

Работает данная машина за счет теплового расширения газа, за которым следует сжатие газа после его охлаждения. Двигатель Стирлинга содержит некоторый постоянный объем рабочего газа, который перемещается между "холодной" частью (обычно комнатной температуры) и "горячей" частью. Нагрев производится снаружи, поэтому двигатель Стирлинга относят к двигателям внешнего сгорания [1].

Двигатель Стирлинга был впервые запатентован шотландским священником Робертом Стирлингом в Эдинбурге, столице Шотландии 27 сентября 1816 года. Достижением автора является добавление регенератора (теплообменник). Он увеличивает производительность двигателя, удерживая тепло в тёплой части двигателя, в то время как рабочее тело охлаждается. Этот процесс намного повышает эффективность системы, его термический КПД равен КПД идеального цикла, т.е. цикла Карно и зависит лишь от температур горячего и холодного цилиндров. Помимо этого, у данного двигателя есть еще ряд достоинств:

Простота конструкции — конструкция двигателя относительно проста, он не требует дополнительных систем, таких как газораспределительный механизм и др. Он запускается самостоятельно и не нуждается в стартере. Его характеристики позволяют избавиться от коробки передач. Однако, как уже отмечалось выше, он обладает большей материалоёмкостью.

Увеличенный ресурс, простота конструкции, отсутствие многих "нежных" агрегатов позволяет агрегату обеспечить небывалый для других двигателей ресурс в десятки и сотни тысяч часов непрерывной работы.

Экономичность — в случае преобразования в электричество солнечной энергии двигатель Стирлинга иногда дают больший КПД (более 30 %), чем паровые машины и, тем более, солнечные батареи. По сравнению с ДВС городских автомобилей двигатели Стирлинга расходуют на 15-20% меньше топлива.

Бесшумность (точнее — малошумность) двигателя. Двигатель не имеет выхлопа, а значит — меньше шумит. Шумы при работе двигателя создают движущиеся части. Экологичность — сам по себе двигатель внешнего сгорания не имеет каких-то частей или процессов, которые могут способствовать загрязнению окружающей среды. Экологичность двигателя обусловлена, прежде всего, экологичностью источника тепла. Стоит также отметить, что обеспечить полноту сгорания топлива в двигателе внешнего сгорания проще, чем в двигателе внутреннего сгорания, так как в "стирлингах" процесс горения топлива происходит при постоянном давлении и достаточном количестве воздуха [1].

Двигатель Стирлинга можно использовать во всех областях, где требуется преобразование тепловой энергии в механическую. В самом деле, почти нельзя назвать ни одной какой-либо серьёзной области потенциального применения двигателя Стирлинга, в которой уже не было бы предпринято попытки его использования или такая возможность не изучалась. При этом нельзя выделить каких-то необычных областей применения, поскольку во всех случаях имеются альтернативные источники механической энергии аналогичного назначения. По рабочим характеристикам или приспособленности альтернативные установки порой могут уступать двигателю Стирлинга. Развитие двигателей Стирлинга, как и других источников механической энергии, стимулировалось, как правило, техническими и социально-экономическими требованиями времени. Так, например, о возможности использования двигателя Стирлинга на автомобиле особенно не задумывались до 1962г., когда общество начало испытывать беспокойство по поводу загрязнения окружающей среды, и только в 70-годах, в условиях энергетического кризиса, влияние которого ощущается еще и сейчас, в программы совершенствования автомобильных двигателей Стирлинга начали вкладывать значительные средства.

Рядом зарубежных фирм («Philips», «STM Inc.», «Daimler Benz», «Solo», «United Stirling») начато производство двигателей, технические характеристики которых уже сейчас превосходят ДВС и газотурбинные установки (ГТУ). Эти двигатели имеют эффективный КПД (до 45%), удельную массу от 3,8 до 1,2 кг/кВт, ресурс до 40 тыс. часов и мощность от 3 до 1200 кВт. Солнечные электростанции с применением двигателя Стирлинга

давно используются на западе. В Калифорнии имеются две модульные солнечные электростанции мощностью 500 МВт, диаметром концентратора 15 м и мощностью двигателя Стирлинга 25 кВт. Каждая станция состоит из 20 тысяч таких модулей. Компания Viessmann выпускает газовый водогрейный котел со встроенным двигателем Стирлинга, электрическая мощность которого 0,6-1 кВт [2,3].

Как видим, потенциал использования данной машины весьма велик. Достаточно постоянного источника теплоты, чтобы запустить двигатель и получать электроэнергию. Что касается нашего региона, - особенно актуально использование данной машины будет в отдаленных регионах, имеющих проблемы с электроснабжением.

В лаборатории кафедры теплоэнергетики имеется стенд двигателя Стирлинга, который может использоваться как в учебном процессе, так и в исследовательских целях. На данном стенде были проведены испытания, с целью определения его характеристик и выбора направлений возможного усовершенствования.

Одной из задач являлось определение КПД двигателя и сопоставление его с расчетом по выражению для цикла Карно, т.е. по температурам горячей и холодной частей цилиндра, а также зависимостей частоты вращения от перепада температур горячей и холодной части цилиндра, и от подводимой тепловой энергии. Для этого необходимо определять входную (подводимую) и выходную мощность двигателя.

Изначально нагрев предусматривался от сжигания сухого горючего, однако, при этом сложно точно определить подводимую к двигателю теплоту, т.е. учесть потери. Оптимальный, на наш взгляд, является электрический нагрев горячей части с помощью нанесенной на нее обмотки. Обмотка накладывалась на горячую часть двигателя в виде нихромовой спирали толщиной 0,5 мм.

Напряжение, подаваемого на обмотку, варьировалось 75-100 В. Однако, нанесенной теплоизоляции из асбестового шнура оказалось недостаточно, поверхность теплоизоляции имела температуру от 60 до 80 и часть подводимой энергии рассеивалась. По известной формуле Стефана-Больцмана определялись потери на излучение. Конвективные потери приближенно приняли равной половине потерь на излучение [4]. Определение выходной мощности на валу является следующим шагом исследования. Определялись следующие зависимости: температур горячей и холодной части цилиндра, частота вращения, подводимая мощность. К сожалению, пока не определена выходная мощность, необходимая для определения КПД двигателя и сопоставления с определенным по температурам горячего и холодного цилиндра. В данный момент

определение выходной мощности находится в стадии определения и обработки.

Частоту вращения замеряли с помощью стробоскопа. Измерения температур проводились с помощью термопар. Данные измерений и расчетов приведены ниже в таблице и графиках. Различие в показателях температуры в пп. 1 и 2 при одинаковых показателях тока и напряжения обусловлено временной выдержкой в 40 мин между измерениями.

Таблица 1. Результаты измерений.

	Напряжение , В	Сила тока, А	Температура горячей части, °С	Температура холодной части	Частота вращения , об/мин	Подводимая мощность с учетом потерь, Вт
1	75	2,5	160	37	260	155,97
2	75	2,5	204	45	340	153,64
3	93	3	230	50	410	244,3349
4	97	3,25	271	55	450	278,5066

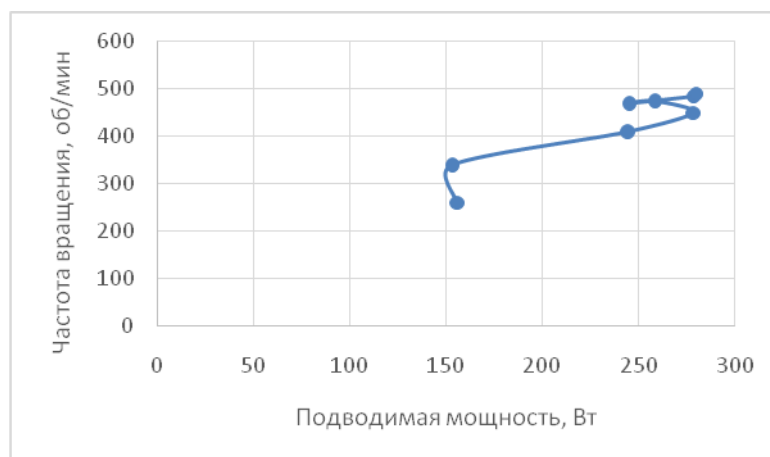


Рис 1. Зависимость частоты вращения от подводимой мощности

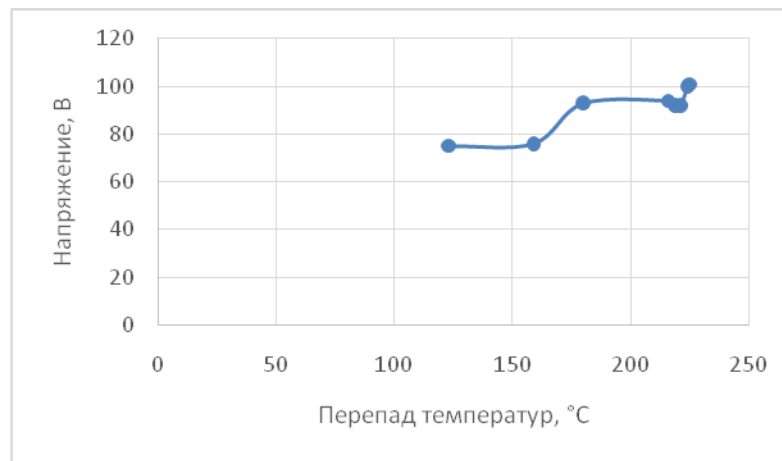


Рис 2. Зависимость напряжения от перепада температур.

В результате выполненных измерений приходим к следующим выводам:

1. С увеличением мощности растет частота вращения.
2. С увеличением времени нагрева начинает нагреваться холодная часть двигателя (рис. 2).
3. Также с увеличением мощности растет вибрация двигателя.

Исходя из изложенного, определены следующие направления работы:

- более тщательная теплоизоляция нагреваемого цилиндра, одновременное охлаждение холодной части;
- повышение качества уплотнения (например, с применением магнитных жидкостей);
- повышение давления внутри цилиндра;
- балансировка подвижных деталей двигателя.
- Определение выходной мощности (различными способами).

Подводя итог стоит отметить, что современные технологии машиностроения позволяют человечеству реализовывать самые смелые идеи, среди которых различные способы применения двигателя Стирлинга.

Список литературы

1. Уокер Г., Двигатели Стирлинга / STIRLING ENGINES, изд «Машиностроение» 1985 г, 410 с.
2. Грэхем Томас Ридер, Чарльз Хупер, ДВИГАТЕЛИ СТИРЛИНГА, 1986 г, 453 с.
3. Viessmann vitotwin, каталог товаров, VIESSMANN GROUP, 2014 г., 12 с.
4. Дэвинс Д, Энергия, изд. Энергоатомиздат, 1985 г., 360с.