

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

*М.Г. Веревкин, аспирант,*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия*

Приведены описание конструкции лабораторного образца термомеханического генератора (ТМГ) производства фирмы "Sunpower" (США) на базе свободнопоршневого двигателя Стирлинга (СПДС), а также полученные экспериментальные данные.

К преимуществам двигателей с внешним подводом теплоты можно отнести возможность использования различных источников тепловой энергии (начиная от традиционных органических топлив и заканчивая энергией радиоактивного распада, солнечной радиации и биогаза), относительно низкий уровень шума при работе, возможность создания установок с минимальным воздействием на окружающую среду, достаточно высокий КПД и длительный ресурс работы.

Свободнопоршневые двигатели Стирлинга можно классифицировать как двигатели Стирлинга  $\beta$ -модификации, в которых жесткие механические связи между поршнями заменены газодинамическими. Термомеханический генератор в свою очередь является разновидностью свободнопоршневого двигателя, в котором газодинамические связи между элементами заменены на механические посредством установки механических пружин. Преимуществами ТМГ являются возможность создания более технологичных по сравнению с СПДС установок, их компактность и герметичность внутреннего контура. Такие двигатели нашли применение на сегодняшний день в различных автономных энергетических установках, аппаратах "искусственное сердце", в рефрижераторных системах и водяных насосах [1, 3]. Однако в настоящее время в открытой печати практически отсутствует научно-техническая литература, посвященная вопросам исследования рабочих процессов в ТМГ и разработке их конструкций.

Целью данной работы являлось проведение экспериментальных исследований опытного образца ТМГ.

Конструктивно термомеханический генератор состоит из трех основных элементов – цилиндра и расположенных в нем рабочего и вытеснительного поршней. Поршни разделяют объем цилиндра на две полости – полость расширения и полость сжатия, соприкасающиеся между собой через нагреватель и холодильник. Принцип работы ТМГ аналогичен принципу работы двигателя Стирлинга с приводным механизмом с той только разницей, что поршни возвращаются в свои верхние мертвые точки под действием сил упругости механических пружин. Жесткая кинематическая связь между поршнями отсутствует. Масса вытеснительного поршня мала по сравнению с массой рабочего поршня, поэтому он быстрее реагирует на изменение давления газа в полостях и его колебания происходят с опережением рабочего поршня по фазе, что является необходимым условием получения полезной работы в машинах, работающих по циклу Стирлинга.

Рабочий процесс ТМГ протекает следующим образом. В момент запуска давление газа в рабочих полостях одинаково. Включение нагревателя приводит к повышению температуры и давления газа в полости расширения. Это вызывает перемещение вытеснителя вниз и, как следствие, перетекание рабочего тела из холодной полости в горячую. Давление газа при этом повышается. Под воздействием разницы давлений газа в рабочих полостях вытеснитель продолжает перемещаться вниз, переталкивая рабочее тело в горячую полость. При последующем увеличении давления начинает свое движение рабочий поршень. Через некоторое время объем полости сжатия становится ми-

нимальным и давление газа в рабочих полостях начинает падать. Движение поршней вниз продолжается до момента уравнивания действия газовых сил и сил инерции. Вытеснительный поршень намного легче рабочего поршня, поэтому он первым начинает перемещаться в обратную сторону. В это время рабочий поршень еще продолжает движение вниз. Рабочее тело начинает перетекать из полости расширения в полость сжатия, его давление падает, что вызывает движение поршня вверх под действием силы упругости пружин. Это движение продолжается до момента выравнивания давлений в полостях. При этом газ начинает перетекать из холодной полости в горячую и цикл продолжается.

Термомеханический генератор был смонтирован на испытательном стенде, схема которого приведена на рис. 1. Схема установки датчиков представлена на рис. 2, а основные конструктивные параметры термомеханического генератора приведены в таблице.

В ходе эксперимента контролировались следующие параметры рабочего процесса:

- температура рабочего газа в полости расширения ( $T_1$ );
- температура газа в полости сжатия ( $T_2$ );
- давление газа во внутреннем контуре ( $P$ );
- законы перемещения вытеснительного и рабочего поршней ( $X_p, X_d$ );
- частота колебаний поршней  $n$ .

Давление рабочего газа во внутреннем контуре контролировалось с помощью датчика давления ЛХ-415-10, а значения температур рабочего газа в полости расширения и сжатия термомпарами ХА-0,3, установленными в соответствующих зонах внутреннего контура. Законы перемещений вытеснительного и рабочего поршней контролировались с помощью двух индуктивных датчиков перемещений ДП-3, соединенных толкателями с поршнями.

В процессе эксперимента с целью набора статистических данных проводилась регистрация параметров при трех значениях температуры рабочего газа в полости расширения ( $T_1$ ):

- 453К;
- 513К;
- 573К.

Эксперимент проводился в нормальных климатических условиях.

В результате эксперимента была получена осциллографическая запись изменений контролируемых параметров в едином масштабе времени.

На основе полученных осциллограмм построены графики зависимости параметров рабочего процесса, при изменении температуры рабочего газа в полости расширения  $T_1$ . Полученные экспериментальные данные при рабочей частоте  $f = 12$  Гц, температуре в горячей полости  $T_1 = 573$  К и температуре холодной  $T_2 = 296$  К приведены на рис. 3 - 5.

Полученные экспериментальные значения параметров рабочего процесса помогут оценить степень адекватности создаваемой математической модели термомеханического генератора.

### Литература

1. Walker G., Senft J.R. Free-piston Stirling engines. New-York: Springer.- Verlag, 1985.- 286 p.
2. Uriely I., Berchowitz D. Stirling cycle engine analysis. Bristol:Adam Hilgar Ltd., 1984.- 250 p.
3. Уокер Г. Двигатель Стирлинга / Пер. с англ. Б.В. Сутугина, Н.В. Сутугина.– М: Машиностроение, 1985.– 408 с.
4. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена.– М.: Энергия, 1979.- 320 с.
5. Приходько И.М. Добросоцкий А.В. Фомин А.В. Разработка комплексной методики расчета математического моделирования и оптимизации параметров двигателя Стирлинга // Двигателестроение.- 1980.- № 7.– С. 22-24.

*Поступила в редакцию 06.05.03*

**Рецензент:** канд. техн. наук, Главный конструктор, доцент А.В. Белогуб, ОАО «АВТРАМАТ», г. Харьков.

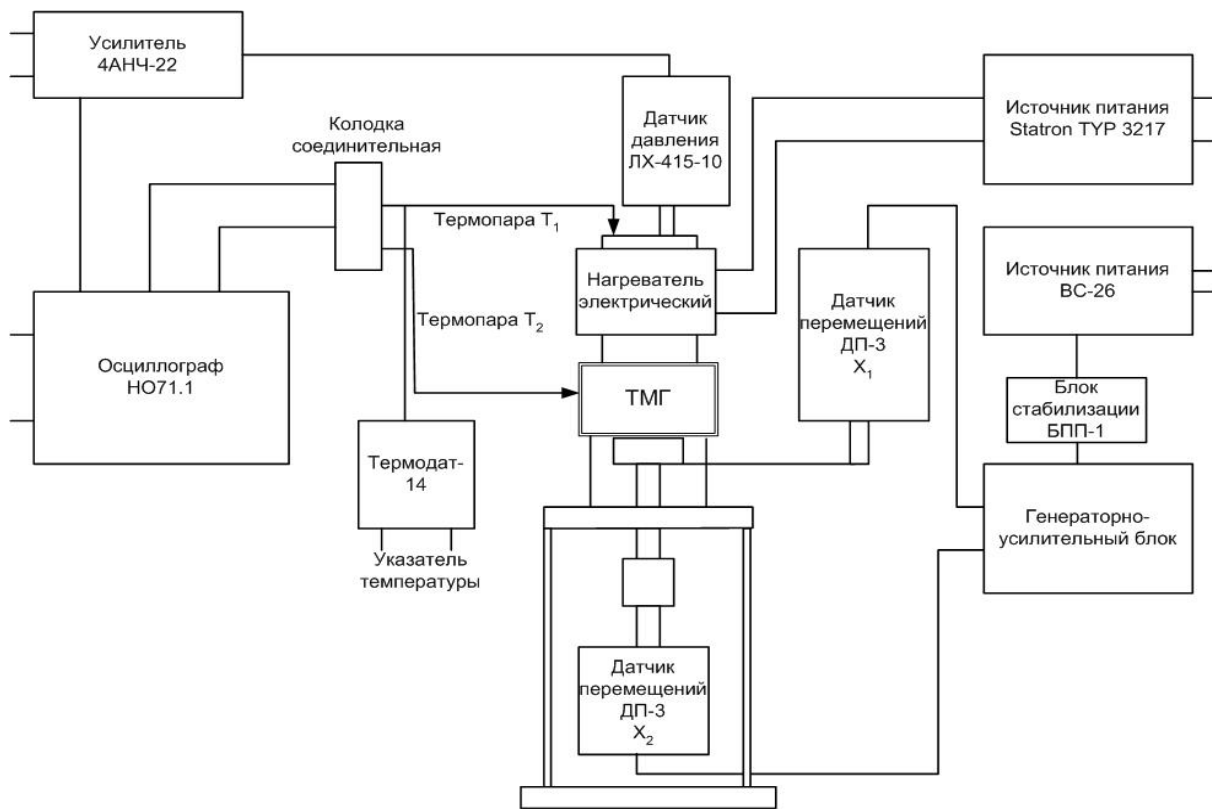


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

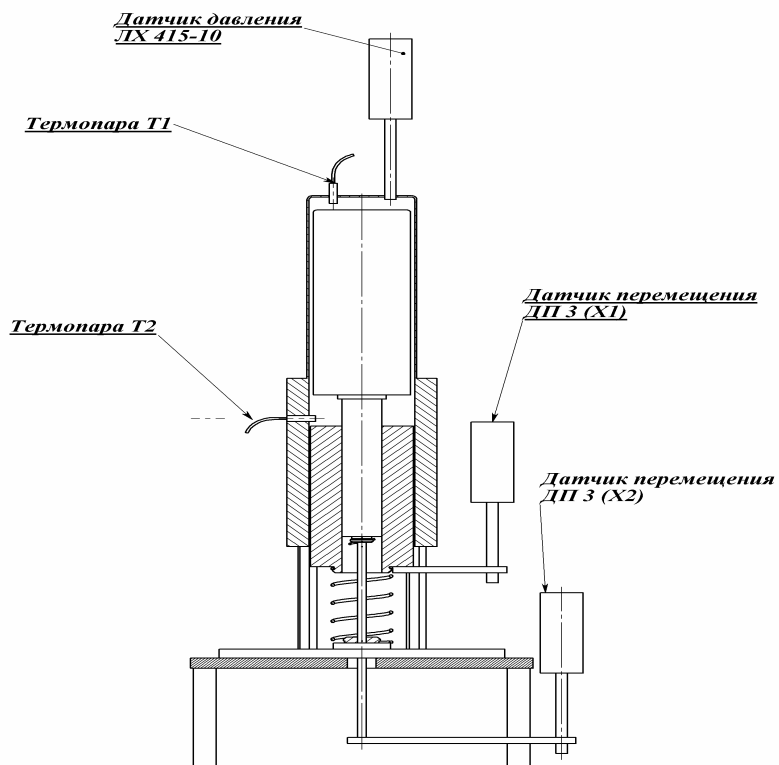


Рис. 2. Схема установки датчиков

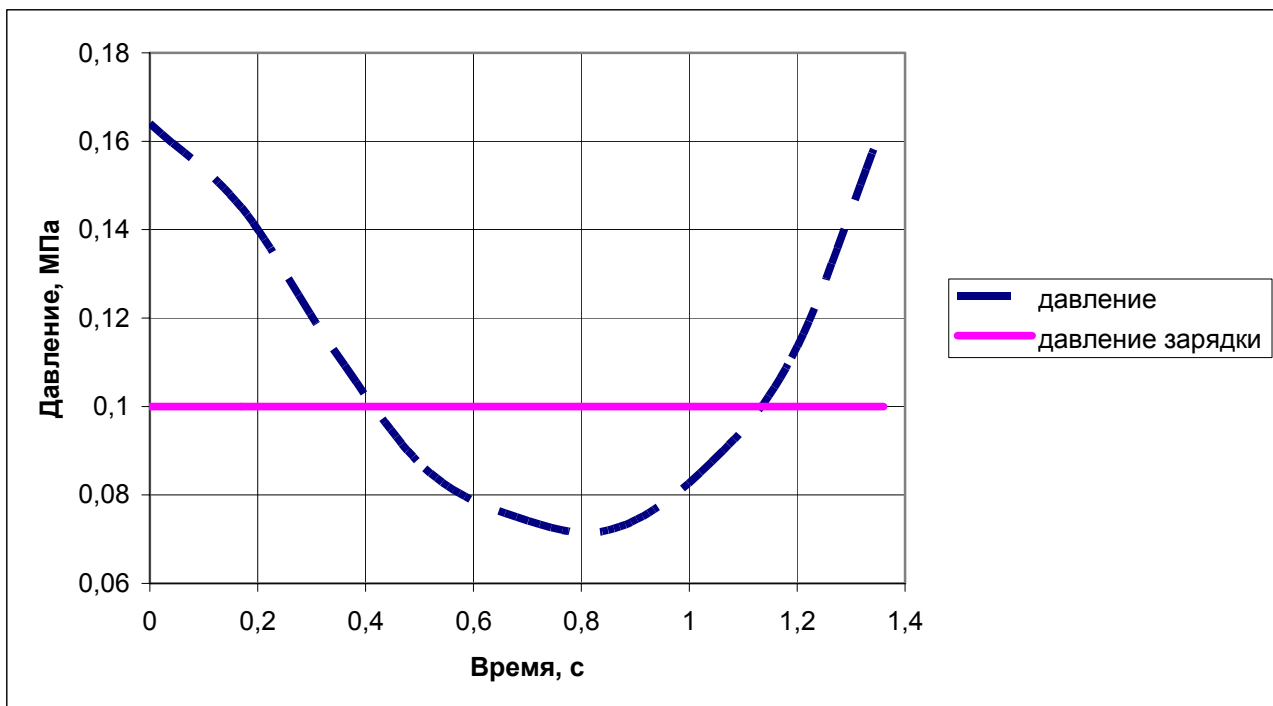


Рис. 3. График изменения давления

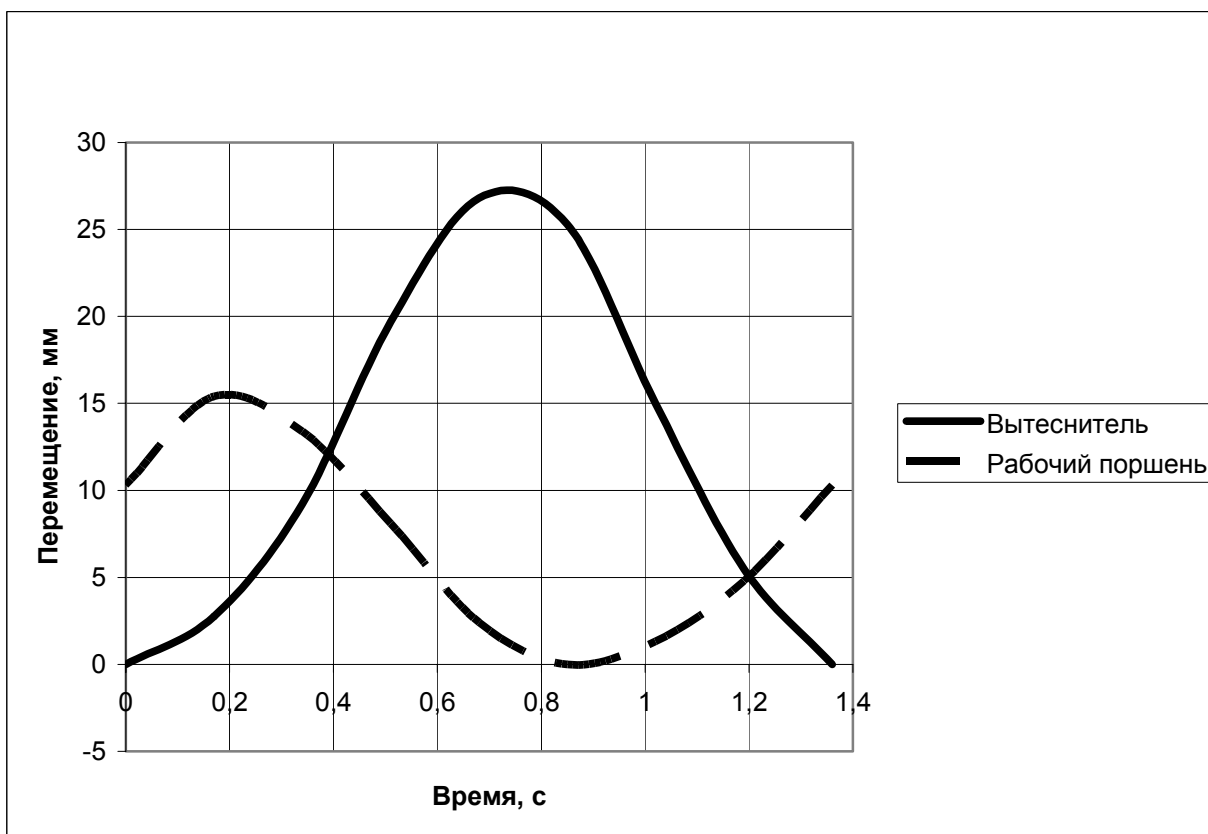


Рис. 4. Законы перемещения поршней

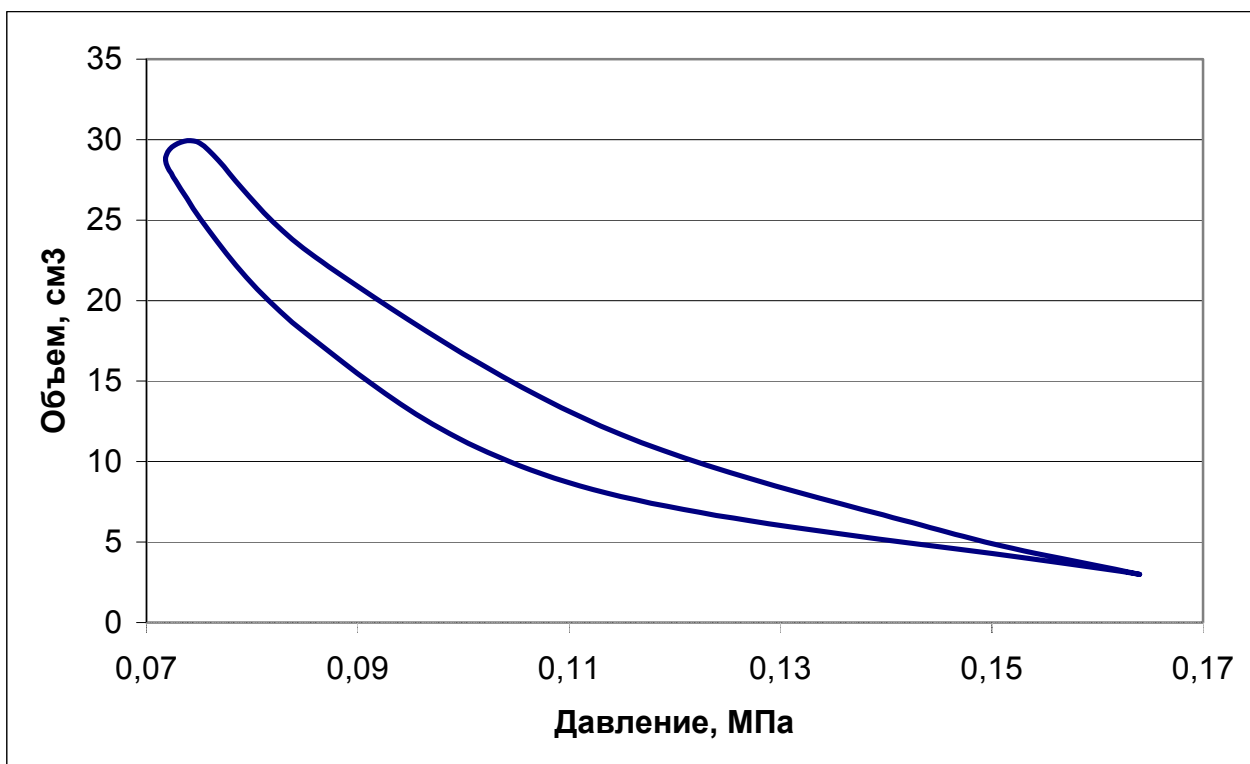


Рис. 5. Индикаторная диаграмма в холодной полости ТМГ

Таблица

Конструктивные параметры термомеханического генератора

Параметр	Значение
Диаметр вытеснительного поршня, мм	34
Масса вытеснительного поршня, г	75
Диаметр рабочего поршня, мм	36
Масса рабочего поршня, г	465
Диаметр штока, мм	14
Жесткость пружины вытеснительного поршня, Н/мм	6,2
Жесткость пружины рабочего поршня, Н/мм	1