электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 536.8

Модель и анализ цикла двигателя типа «Флюидайн»

***Бороновский Е.Г.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Теплофизика»

Научный руководитель: Чирков А.Ю. к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
chirkov@bmstu.ru

Почти каждая современная тепловая машина содержит в себе набор стандартных деталей, которые выполняют одну и туже функцию. К примеру, поршень, двигаясь поступательно в цилиндре, он преобразует тепловую энергию расширяющегося рабочего тела в механическую энергию, которую уже можно заставить выполнять полезную работу [1, 2]. Как правило, поршни выполняются из алюминия или чугуна, но бывают исключения. Пример такого отступления от правил будет рассмотрен в этой статье.

Двигатель «Флюидайн» – разновидность двигателя Стирлинга в котором вместо обычного твердого поршня используется «жидкий», то есть само рабочее тело является тем самым преобразователем тепловой энергии в кинетическую. В связи с тем, что поршни в этом двигателе из воды, он получил название жидкостной двигатель. Поддержание необходимой формы поршней обеспечивается корпусом двигателя, в качестве которого выступают U-образные стеклянные трубки. В отличие от автомобильных двигателей, которые сохраняют работоспособность при наличии углов крена и возвышения, а тем более авиационных двигателей, которым зачастую приходится работать «вверх ногами», жидкостной двигатель может работать только в вертикальном положении.

Двигатель представляет собой две U-образные трубки, соединенные тонкой трубочкой (см. рис. 1). Левая трубка называется вытеснителем, а правая – выходной трубкой. В обе трубки налита вода, хотя можно использовать и другую жидкость. Тоненькая трубочка соединяет между собой концы вытеснителя и левый конец выходной трубки.

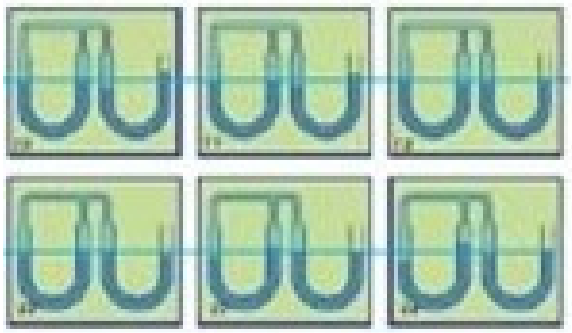

Рис. 1. Схема работы двигателя типа «Флюидайн»

Для запуска двигателя необходимо, по полной аналогии с двигателем Стирлинга, нагревать одну сторону вытеснителя и охлаждать другую. В данной конструкции левый конец трубки вытеснителя играет роль горячей полости вытеснителя. Ее нагрев можно осуществлять от внешнего источника тепла, например, от Солнца через линзу. Правый конец трубки охлаждается благодаря установке на нем небольшого радиатора, эффективность работы двигателя Стирлинга тем выше, чем больше перепад температур между горячей и холодной частями вытеснителя.

По мере прогрева воздуха, находящегося в ограниченном объеме вытеснительной трубки, будет расти его давление. Но скорость роста этого давления будет несколько неодинаковой в левом и правом концах вытеснительной трубки из-за ее малого сечения. Небольшое превышение давления в левом конце будет способствовать переталкиванию воды из левого конца вытеснительной трубки в правый.

По мере того, как вода из правого конца вытеснительной трубки перетекает в левый конец, воздух начнет двигаться в правую часть, где с помощью радиатора будет охлаждаться. В результате давление воздуха в соединительной трубке начнет падать. В какой-то момент времени вода по инерции проскочит точку равенства давлений и начнет движение в обратном направлении, причем вода в рабочей трубке будет увлекаться понижающимся давлением воздуха в соединительной трубке. Таким образом колебания рабочего тела обеспечивают работу двигателя «Флюидайн».

Термодинамический цикл двигателя «Флюидайн» (см. рис. 2) несколько отличается от двигателя Стирлинга (рис. 3) – в цикле «Флюидайн» изотермы заменены на изобары.

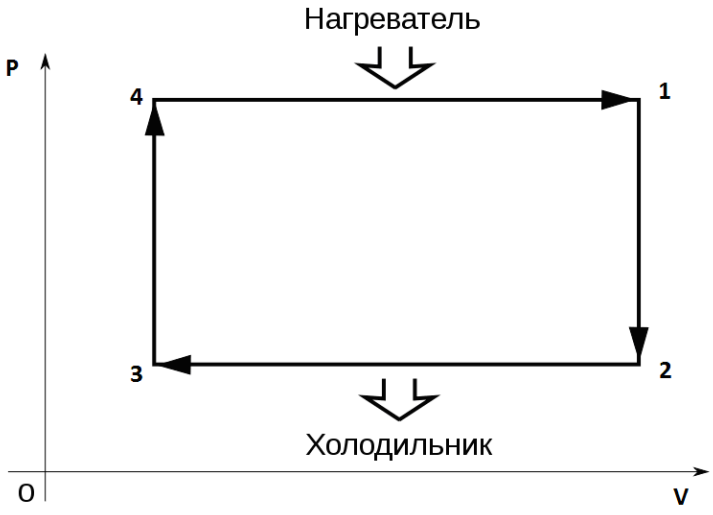

Рис. 2. Схема термодинамического цикла двигателя «Флюидайн»

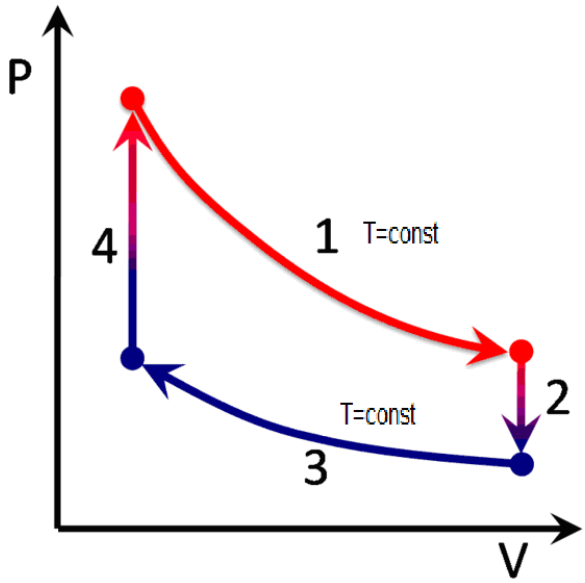

Рис. 3. Схема термодинамического цикла двигателя Стирлинга

Так же «Флюидайн» бывает «мокрого» и сухого» типов. В «мокром» режиме в горячем цилиндре происходит парообразование. Это увеличивает изменения давления в цикле, так что при нормальных рабочих температурах амплитуда колебаний давления в цикле в 5–7 раз выше, чем в случае однофазного газа. Соответственно возрастает развиваемая мощность, и, следовательно, мощность на единицу массы выше, чем в «сухом» режиме. Однако при наличии парообразования необходимо увеличивать подвод

тепла в систему, чтобы сбалансировать скрытую теплоту парообразования. В результате общий КПД получается весьма низким – обычно менее 1 %. Если воспрепятствовать парообразованию, то, несмотря на падение удельной мощности и уменьшение количества подводимой энергии, можно достигнуть увеличения КПД до 10 %. В то время как «мокрый» «Флюидайн» может работать при весьма низких температурах в горячей полости (80–100°С), работа в «сухом» режиме протекает при значительно более высоких температурах (в среднем при 400 °С).

В таблице 1 приведены параметры базовых точек для «мокрого» и «сухого» типа двигателей, относительно которых будет проводиться моделирование и анализ. Точки 11, 12, 13 и 14 соответствуют точкам на схеме термодинамического цикла для «мокрого» типа, а точки 21, 22, 23, 24 для «сухого» соответственно.

Таблица 1

Таблица базовых параметров в различных точках цикла

Точка	*P*, МПа	*V*, м$^{-3}$	*T*, К	Состояние рабочего тела
11	0,2	0,0015	400	Пар
21			640	Вода
12	0,1	0,0015	360	Вода
22			500	Вода
13	0,1	0,0005	300	Вода
23			375	Вода
14	0,2	0,0005	330	Вода
24			440	Вода

Фиксируя параметры в каждой точке цикла, из табличных данных [3] находим значения энтропии и энтальпии. Через законы сохранения массы и энергии можно определить внутренний расход рабочего тела в цикле. Увеличенный внутренний расход в сухом типе необходим для предотвращения парообразования в горячем цилиндре, что приведет к увеличению КПД всего цикла. Так же для данной системы через закон сохранения энергии определим подводимую и отводимую теплоту.

На рис. 4 приведен график изменения подводимой и отводимой теплоты от мощности цикла.

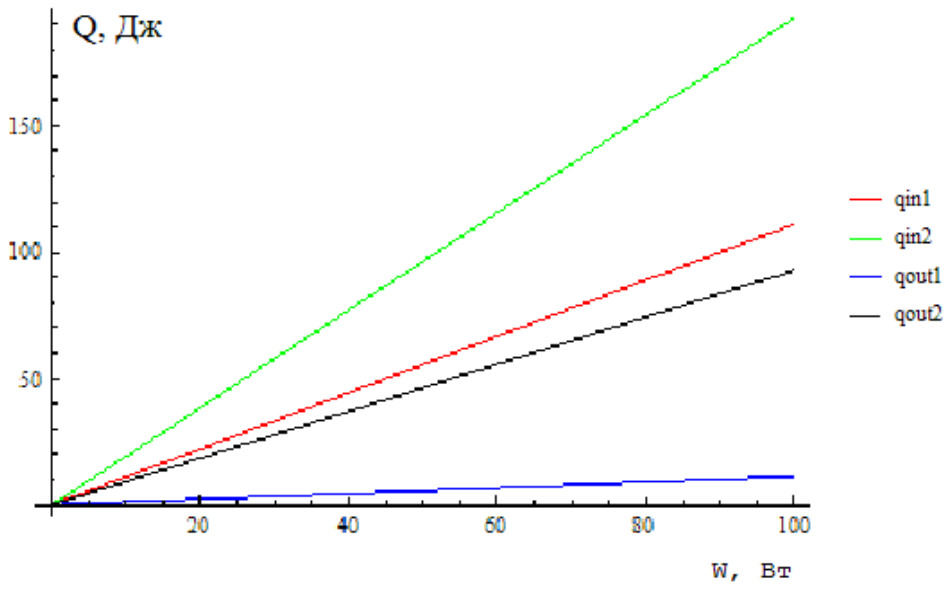

Рис. 4. Зависимость подведенной и отведенной теплоты для мокрого (1) и сухого (2) типа двигателя, где q_{in} – подведенная теплота, q_{out} – отведенная

Из графика видно, что для сухого цикла необходимо подвести больше теплоты, чем для мокрого для достижения той же мощности, что согласуется с тем, что нам необходимо подавлять парообразование и расход для сухого цикла больше. Но так же видно что отводимая теплота у мокрого цикла меньше, что связанно с тем что большая часть подводимой теплоты тратиться не на совершение работы а на изменение агрегатного состояния рабочего тела.

Далее определим КПД каждого цикла двумя способами. В первом случае рассчитаем КПД через изменение энтальпии $\eta = \dfrac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$,

а во втором через разницу температур $\eta = 1 - \dfrac{T_4 - T_3}{T_1 - T_2}$. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Таблица КПД для каждого типа двигателя

Тип цикла	Способ 1	Способ 2
«Мокрый»	0,31%	0,25%
«Сухой»	8.9%	6.3%

Так же рассчитаем коэффициент обратимости цикла $b = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_2}$. Согласно расчетам коэффициент обратимости для мокрого цикла равняется 0,05, а для сухого 0,32. Следовательно, в мокром цикле теряется большая часть энергии на парообразовании.

Кратко рассмотрев два типа двигателей «Флюидайн», можно сделать вывод, что более сложный сухой тип двигателя оказывается более производительным, хотя и требует подвод большего количества теплоты и повышенной температуры в горячем цилиндре. В тоже время мокрый тип двигателя позволяет работать при более низких температурах в горячем цилиндре и за счет парообразования способен создавать большее давление, чем сухой тип. Полученные результаты позволяют подобрать нужный тип двигателя «Флюидайн» под каждую конкретную задачу.

Список литературы

1. Moran M.J., Shapiro H.N. Fundamentals of engineering thermodynamics. 5th ed. New York: Wiley, 2006. 847 p.
2. Вукалович М.П., Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1968. 496 с.
3. Очков В.Ф., Яньков Г.Г. Облачный сервис по свойствам рабочих тел и материалов атомной энергетики // Автоматизация и IT в энергетике. 2012. № 3. С. 9–17.