

работой горелок. Регулирование процесса горения топлива (тепловая мощность, температура в печи и соотношение газ — воздух) в печи плавное, автоматическое при помощи электронного регулятора БАУ—ТП. На печи установлены приборы для визуального контроля всех необходимых параметров работы в печи.

В настоящее время печь запущена в эксплуатацию. На первом этапе в связи с увеличением капитальных затрат печь работает без рекуператора. Экономия топлива составила 20–30 %. При установке рекуператора уменьшение расхода газа должно составить 40–50 %.

Список литературы

1. Тринкс В. Промышленные печи. — М. : Металлургиздат, 1961. — 390 с.
2. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория печей. — М. : Металлургия, 1978. — 263 с.
3. Немзер Г.Г. Теплотехнология кузнечно-прессового производства. — Л. : Машиностроение, 1988. — 320 с.
4. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 352 с.
5. А.с. 859765 СССР, МКИЗ F 23 D 15/00. Горелка / В.С. Пикашов, А.Е. Еринов, В.А. Великодний и др. — Оpubл. 30.08.81, Бюл. № 32.
6. Багров О.Н. Евдокименко А.И. Минкевич В.И. и др. Горячее дутье в печах цветной металлургии. — М. : Металлургия, 1984. — 160 с.
7. Огнеупорные изделия, материалы и сырье : Справ. / Под ред. А.К. Карклита. — М. : Металлургия, 1991. — 418 с.

Поступила в редакцию 29.01.2010

Industrial Furnases Construction and Heating Work Development

Trotsenko L.N., Pikashov V.S.

The Gas Institute of NASU, Kiev

The example of heating furnace for chamber forge-pressing production modernization that allowed to increase the operational efficiency is presented.

Key words: furnace, recuperator, heating, fuel saving.

Received January 29, 2010

УДК 621.48; 621.577

Эффективность теплонасосной установки на базе машины Стирлинга УДС-1

Федиенко А.В., Студенец В.П.

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование основных характеристик и эффективности теплонасосной установки на базе машины Стирлинга с электроприводом. Получены значения основных характеристик установки, подтверждающие принципиальную возможность работы машины УДС-1 в режиме теплового насоса.

Ключевые слова: машина Стирлинга, тепловой насос, отопительный коэффициент.

Виконано теоретичне та експериментальне дослідження основних характеристик та ефективності теплонасосної установки на базі машини Стірлінга з електроприводом. Отримано значення основних характеристик установки, що підтверджують принципову можливість роботи машини УДС-1 в режимі теплового насосу.

Ключові слова: машина Стірлінга, тепловий насос, опалювальний коефіцієнт.

Использование тепловых насосов для обеспечения нужд в теплоснабжении зданий в последнее время приобретает широкое распространение. Существует несколько типов теплонасосных установок (ТНУ), среди которых наиболее распространены ТНУ, работающие по парокомпрессионному циклу. Однако существуют и другие установки, которые используются крайне редко, например, ТНУ, работающие по обратному циклу Стирлинга.

Некоторые авторы утверждают, что ТНУ, реализующая обратный цикл Стирлинга, может эффективно использоваться для теплоснабжения зданий [1].

Для исследования ТНУ такого типа был создан лабораторный стенд (рис.1) на базе машины Стирлинга УДС-1 [2, 3], на котором получены экспериментальные данные и сделан вывод об ее эффективности. Кроме того, выполнен теоретический расчет теплового насоса на базе УДС-1.

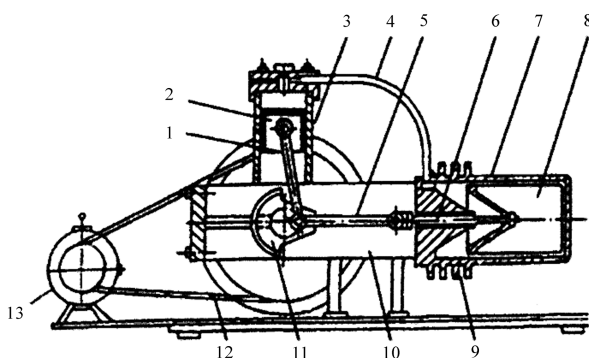


Рис.1. Схема теплового насоса на базе машины Стирлинга: 1 – шатун; 2 – рабочий поршень; 3 – рабочий цилиндр; 4 – трубка внутреннего контура; 5 – шатун; 6 – втулка; 7 – теплоприемник; 8 – вытеснительный поршень; 9 – теплоотдатчик; 10 – корпус; 11 – кривошип; 12 – ременная передача; 13 – асинхронный электрический двигатель.

Теплота, отводимая при изотермическом сжатии:

$$q_1 = \int_{V_M}^{V_{II}} p dV = RT_1 \ln(V_{II}/V_M) = RT_1 \ln \epsilon.$$

Теплота, подводимая при изотермическом расширении:

$$q_2 = RT_2 \ln \epsilon.$$

Работа термодинамического цикла Стирлинга:

$$l_{II} = q_1 - q_2 = R \ln \epsilon (T_1 - T_2).$$

Отопительный коэффициент рассчитывается так:

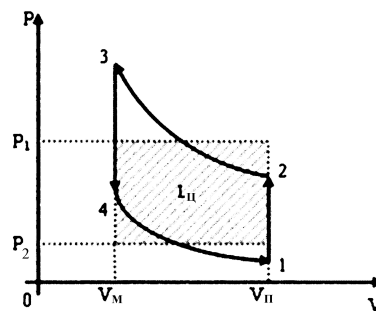


Рис.2. p, V-диаграмма цикла теплового насоса.

$$\phi = q_1 / l_{II} = (RT_1 \ln \epsilon) / [R \ln \epsilon (T_1 - T_2)] = T_1 / (T_1 - T_2).$$

Для сравнения идеального теплового насоса с тепловой машиной Стирлинга на базе УДС-1 выберем показателем температуру на поверхности теплоотдатчика T_1 . Для нахождения температуры T_1 необходимо знать реальную работу цикла установки и теплоту, которая подводится к теплоотдатчику при $T_2 = 288$ К (рис.2). Для оценки цикловой работы тепловой машины Стирлинга примем следующие допущения (табл.1): среднее термодинамическое давление процесса изотермического сжатия $P_1 = 140$ кПа; среднее термодинамическое давление про-

Таблица 1. Геометрические параметры тепловой машины на базе УДС-1

№ п/п	Параметр	Значение
1	Диаметр, мм	
	рабочего цилиндра D	– 40
	дополнительного цилиндра Dд	– 65
	вытеснителя dв	– 63,4
2	Ход поршня и вытеснителя S, мм	– 30
3	Рабочий объем Vр, см ³	– 37,68
4	Полный объем Vп, см ³	– 130,86
5	Мертвый объем Vм, см ³ (Vм = Vп - Vр)	– 93,18
Исходные параметры для теплового расчета		
1	Степень сжатия $\epsilon = V_{II} / V_M$	– 1,4
2	Масса воздуха m, кг	– 1,6·10 ⁻⁴
3	Рабочее тело: воздух	–
4	Температура окружающей среды T2, К	– 288
5	Давление рабочего тела:	
	до пуска тепловой машины P0, кПа	– 101, 33
	среднее термодинамическое изотермического сжатия P1, кПа	– 140
	среднее термодинамическое изотермического расширения P2, кПа	– 120
6	Привод – двигатель электрический асинхронный	
7	Количество оборотов привода n1, об/мин	– 1440
8	Тип передачи	– ременная
9	Передаточное число i	– 0,3
10	Количество оборотов тепловой n2, об/мин	– 440

цесса изотермического расширения $P_2 = 120$ кПа.

Тогда работа цикла равняется:

$$L_{\text{ц}} = P_1 (V_{\text{п}} - V_{\text{м}}) - P_2 (V_{\text{п}} - V_{\text{м}}) = 0,754 \text{ Дж.}$$

Вычислим теплоту, которая подводится при T_2 :

$$Q_2 = R T_2 m_{\text{в}} \ln \varepsilon = 4,486 \text{ Дж.}$$

Вычислим теплоту, которая отводится при T_1 :

$$Q_1 = l_{\text{ц}} + q_2 = 5,24 \text{ Дж.}$$

Вычислим расчетную температуру T_1 :

$$T_1 = Q_1 / (R m_{\text{в}} \ln \varepsilon) = 339 \text{ К.}$$

При этом отопительный коэффициент $\phi = 6,65$.

Полученное значение T_1 является расчетной температурой на внутренней поверхности теплоприемника. В результате проведенного эксперимента на тепловой машине Стирлинга на базе УДС-1 была зафиксирована температура на поверхности теплоприемника 301 К.

Полученные при проведении эксперимента данные и отопительный коэффициент тепловой машины представлены в табл.2 и на рис.3.

Таблица 2. Результаты эксперимента

t, c	0	80	105	140	200	280	425
T_1 , К	288	290	291	292	293	294	295
T_2 , К	288	288	288	288	288	289	289
ϕ		145	97	73	58,6	58,8	49,2
t, c	560	665	855	960	1085	1265	1490
T_1 , К	296	297	298	298	299	300	301
T_2 , К	290	291	291	292	292	293	294
ϕ	49,3	49,5	42,6	49,7	42,7	42,9	43

Данный расчет не учитывает некоторых конструктивных особенностей тепловой маши-

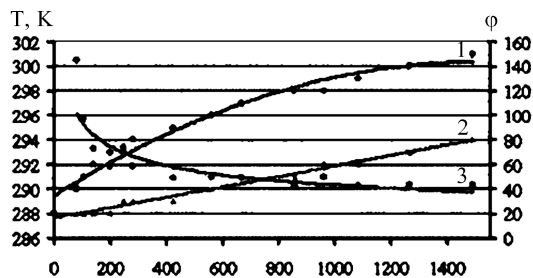


Рис.3. Графическое представление результатов эксперимента: изменение во времени температур теплоприемника (1), теплоотдача (2), отопительного коэффициента (3).

ны, что и обусловило различие экспериментальных и расчетных результатов.

Выводы

Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование основных характеристик и эффективности теплонасосной установки на базе машины Стирлинга с электроприводом. Получены значения основных характеристик установки, подтверждающие принципиальную возможность работы исследуемой машины УДС-1 в режиме теплового насоса.

Список литературы

1. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. — М. : Энергоиздат, 1982. — 224 с.
2. Долганов К.Е., Лисица В.П. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга модели УДС-1 // Двигателестроение. — 1989. — № 5. — С. 28–33.
3. Студенец В.П., Миротюк П.А. Исследование параметров динамического преобразователя в установке «солнечный имитатор — двигатель Стирлинга — электрогенератор» // Матер. X юбилейной международной науч.-практ. конф. «Возобновляемая энергетика XXI века», пгт Николаевка, АР Крым, 14–18 сент. 2009 г.

Поступила в редакцию 07.02.11

The Efficiency of Thermal Pump Unit on Stirling Machine UDS-1 Basis

Fedienko A.V., Stoudenets V.P.

National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv

The theoretical and experimental investigation of heating pump unit on the Stirling machine UDS-1 with electric drive basic characteristics is executed. The unit characteristics that confirms the opportunity of UDS-1 machine operation as thermal pump are obtained.

Key words: Stirling machine, thermal pump, heating coefficient.

Received February 7, 2011