

УДК 621.577

Г. М. Цейзер

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск
tseyzer93@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОГО ЦИКЛА КАРНО

Описан пример разработки математической модели обратного цикла Карно. Проведено теоретическое исследование с помощью разработанной модели. Описаны основные аспекты дальнейшей работы по совершенствованию разработанной моделью.

Ключевые слова: альтернативная энергетика; тепловые насосы; обратный цикл Карно.

G. M. Tseyzer

South Ural State University, Chelyabinsk

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE REVERSE CYCLE CARNO

An example of the development of a mathematical model of the Carnot reverse cycle is described. A theoretical study was conducted using the developed model. The main aspects of further work on improving the developed model are described.

Key words: alternative energy; heat pumps; Carnot reverse cycle.

Теплонасосная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений возобновляемой энергетики нашей страны, поскольку использование тепловых насосов может существенно модернизировать теплоэнергетический комплекс России.

Одним из фундаментальных аспектов разработки теплонасосных систем является теоретическое обоснование разрабатываемого проекта.

Компьютерное математическое моделирование является одним из наиболее эффективных вариантов проведения теоретических исследований.

В данной статье описан подход, направленный на моделирование физического процесса, на основании которого заложен принцип работы парокомпрессионных тепловых насосов, а именно – обратного цикла Карно. Новизной данного подхода является относительная простота описываемой модели. В математическом аппарате данной модели заложены лишь необходимые основы термодинамики. Такой подход позволяет минимизировать вычислительные мощности, требуемые для моделирования, без существенного ущерба точности.

Для разработки математической модели были приняты некоторые допущения. Во-первых, рабочим телом в данной модели является идеальная газ, единственными характеристиками которого являются его молярная масса и количество атомов в его молекуле. Взаимодействия между атомами и молекулами газа, размер и форма атомов и молекул и прочие физические составляющие, характеризующие рабочее тело цикла Карно пренебрегаются. Также пренебрегаются потери, возникающие в ходе совершения Цикла Карно, и технические аспекты работы компрессора, дроссельного вентиля, испарителя и конденсатора.

Далее был построена предварительная схема модели с, отмеченными на ней, узловыми точками, характеризующими переходные состояния рабочего тела. Так точка 1 характеризует переходное состояние между изобарным нагревом в испарителе и адиабатным сжатием в компрессоре. Соответственно точка 2 характеризует переходное состояние между компрессором и конденсатором, 3 – между конденсатором и дроссельным вентилем, 4 – между дроссельным вентилем и испарителем. Поскольку точки 1–4 описывают мгновенные состояния рабочего тела, величинами, характеризующими данными точки, были приняты основные термодинамические величины рабочего тела: объём (V , м³), температура (T , К) и давление (P , бар). Так для точки 1 данные

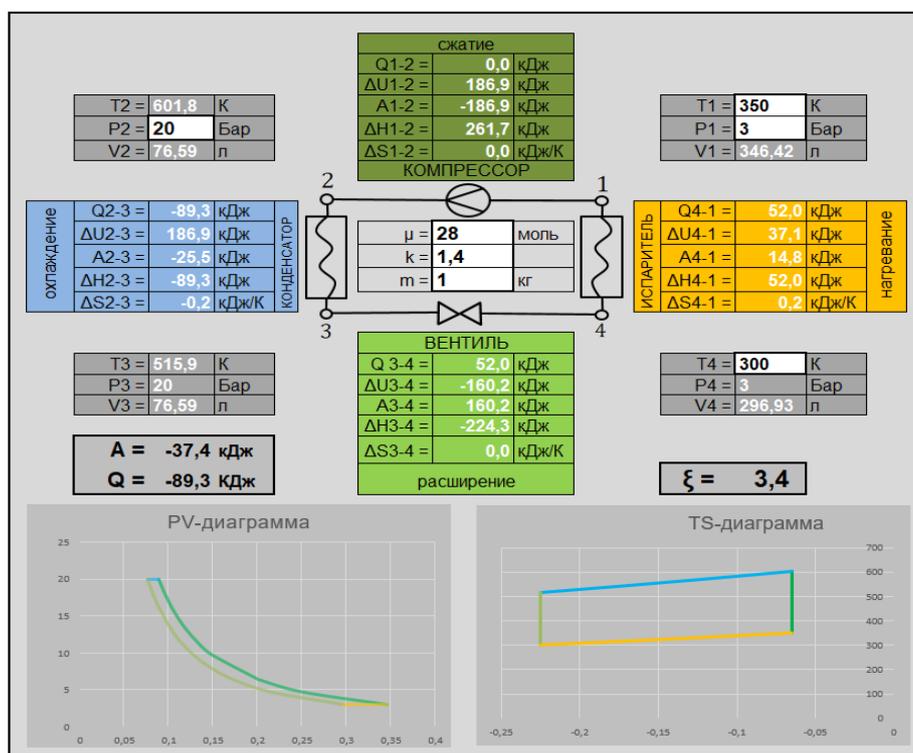
величины обозначаются соответственно V_1 , T_1 и P_1 . Так как, согласно принятым допущениям, система, описываемая разрабатываемой моделью, является герметичной, масса рабочего тела (m , кг) принимается неизменной [1].

Процессы цикла Карно в разрабатываемой модели соответственно обозначаются 1–2, 2–3, 3–4 и 4–1. Так процесс 1–2 является изохорным и описывает сжатие газа в компрессоре. Процесс 2–3 описывает изобарное охлаждение рабочего тела в конденсаторе, 3–4 – изохорное расширение в вентиле, 4–1 – изобарный нагрев в испарителе. Величинами, характеризующие данные процессы, являются: теплота (Q , кДж), термодинамическая работа (A , кДж), изменение внутренней энергии (ΔU , кДж), энтальпии (ΔH , кДж) и энтропии (ΔS , кДж) рабочего тела. Также, как и в случае с термодинамическими величинами, данные величины имеют свои значения для каждого процесса. К примеру, для процесса 1–2 данные величины соответственно обозначаются Q_{1-2} , A_{1-2} , ΔU_{1-2} , ΔH_{1-2} и ΔS_{1-2} .

Основными входными параметрами разрабатываемой математической модели были выбраны наиболее характерные значения температур и давлений рабочего тела. В качестве исходных данных была выбрана температура рабочего тела до и после совершения изобарного нагревания в испарителе (T_4 , T_1). Исходным давлением было выбраны давления рабочего тела до и после адиабатического сжатия в компрессоре (P_2 , P_1). Кроме того, в качестве исходных были выбраны данные, характеризующие само рабочее тело, а именно его масса (m , кг), молярная масса (μ , моль), а также показатель адиабаты k .

Основными выходными параметрами принимается приводная энергия ($W_{\text{ПРИВ}}$, кДж), полезная тепловая энергия ($Q_{\text{ПОЛ}}$, кДж) и коэффициент преобразования теплового насоса ξ .

Полученный математический аппарат был применён в программной среде Microsoft Office Excel. Графическое окно полученной математической модели представлено на рисунке.



Графическое окно математической модели

На данном рисунке изображен пример математического моделирования цикла Карно. Исходным рабочим телом послужил угарный газ (CO) с молярной массой $\mu = 28$ моль, массой $m = 1$ кг и показателем адиабаты $k = 1,4$. Температуры до и после адиабатического нагревания соответственно равны $T_4 = 300$ К и $T_1 = 500$ К. Как видно из рисунка, разработанная математическая модель представляет данные в целом соответствующие ожидаемым. $P-V$ и $T-S$ диаграммы соответствуют диаграмме цикла Карно.

Данная математическая модель позволяет смоделировать работу идеального теплового насоса при варьируемых начальных параметрах. Отличительной особенностью разработанной модели является относительная простота и минимальное требование вычислительных мощностей, что позволяет интегрировать проработанный математический аппарат данной модели в более сложные системы, моделирующие конкретные технологические процессы и схемы. Одним из примеров применения разрабатываемой модели является исследование эффективности применения тепловых насосов в целях утилизации сбросного низкопотенциального тепла в условиях городов средней полосы России [2].

Теоретическая база данного исследования предполагает создание обширной математической модели, позволяющей с учётом максимально возможных допущений смоделировать работу существующей системы централизованной системы теплоснабжения, характерного для крупных городов России, при внедрении в систему тепловых насосов.

Список использованных источников

1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей : учебное пособие. СПб. : СПбГТУРП, 2011. 149 с.
2. Цейзер Г. М., Пташкина-Гирина О. С., Кирпичникова И. М. Повышение эффективности системы теплоснабжения г. Челябинска путём утилизации сбросного низкопотенциального тепла // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2018. № 1–3. С. 26–36.