

## **Чивилёв Виктор Иванович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент  
кафедры общей физики Московского  
физико-технического института (МФТИ).  
Заслуженный работник высшей школы, заместитель  
председателя научно-методического совета  
Федеральной заочной физико-технической школы  
(ФЗФТШ) при МФТИ, член жюри Всероссийской  
олимпиады школьников по физике.*



## **Болгар Алексей Николаевич**

*Выпускник Московского физико-технического института  
(МФТИ), редактор по физике в журнале «Потенциал».*

# **Вакуумный двигатель – огнедышащая машина**

В статье рассказывается о действующей модели вакуумного двигателя. Рассматривается принцип работы этой необычной машины, а также приводятся результаты экспериментального исследования мощности и КПД данной модели.

## **1. Введение**

Что такое вакуумный двигатель? Если вы попробуете поискать по такому запросу информацию в Интернете, то с лёгкостью найдёте массу проектов двигателей, работающих на таинственной «энергии вакуума». Кому-то эти проекты могут показаться интересными, но практической пользы от них никакой. В лучшем случае они относятся к области научной фантастики, в худшем – к лженауке.

Мы же хотим рассказать о действительно работающей модели вакуумной машины в виде игрушки размером с ладонь (рис. 1), которую авторы этой статьи подвергли экспериментальным исследованиям. Машина, приобретённая

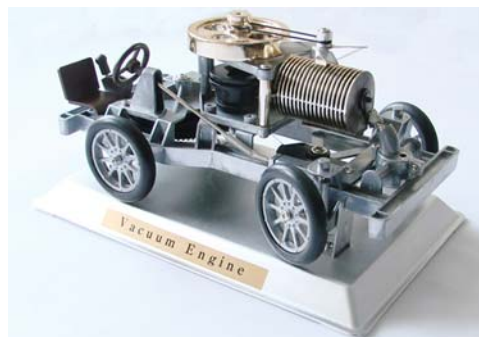


Рис. 1

через интернет-магазин умных развлечений «Семь пядей» ([www.7pd.ru](http://www.7pd.ru)), имеет упрощённую коробку передач, обеспечивающую движение вперёд только на одной передаче, движение

назад и «нейтралку». Поворот передних колёс осуществляется рулевым колесом, что даёт возможность двигаться машине по полу не только прямолинейно, но и по окружности. Энергию двигатель машины черпает от пламени спиртовой горелки, помещённой в передней части машины.



Сразу отметим, что речь пойдёт о довольно экзотическом представителе тепловых машин. Наш двигатель по принципу работы значительно отличается от своих собратьев и, в частности, от двигателя

внутреннего сгорания, знакомого большинству из школьного курса физики. Более того, эту машину следует отнести к двигателям внешнего сгорания. Здесь пламя горит вне двигателя. Кстати, следует сказать, что двигатели этого класса обладают рядом преимуществ перед двигателями внутреннего сгорания. Они проще по конструкции и, как следствие, более долговечны. Благодаря внешнему сгоранию, им подходит практически любое горючее. И ещё одно важное в наш век борьбы за экологическую чистоту преимущество – за счёт равномерного процесса горения топлива в таких двигателях уменьшается количество вредных выбросов в атмосферу, поскольку происходит более полное сгорание топлива. Благодаря этим преимуществам двигатели внешнего сгорания уже активно используются в некоторых технических приложениях. Например, в гелиоэнергетических установках двигатели Стирлинга (тоже относящиеся к двигателям внешнего сгорания) преобразуют энергию сфокусированных солнечных лучей в механическую энергию.

## 2. Принцип работы

После столь интригующего введения разберёмся, наконец, в прин-

ципе работы нашего диковинного двигателя. На рис. 2 показаны ос-

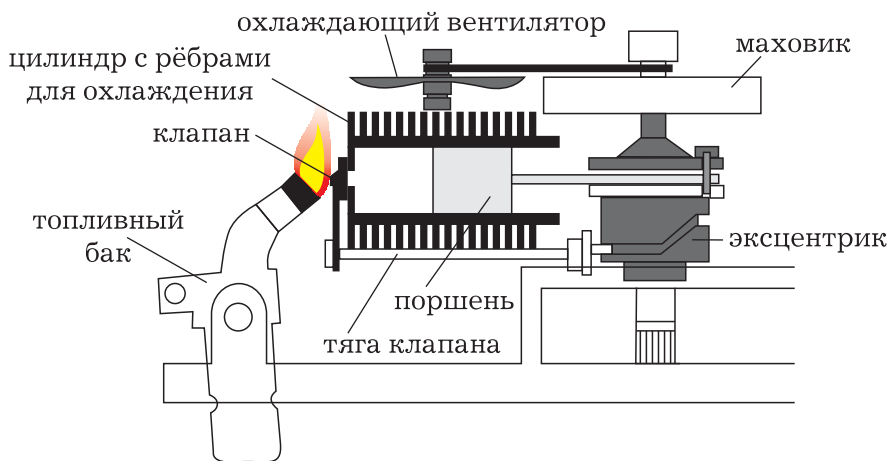


Рис. 2

новые элементы двигателя и их предназначение.

Рассмотрим весь рабочий цикл по этапам.

1) Клапан открыт, поршень движется вправо (рис. 3 а), и в цилиндр поступает горячий воздух (двигатель буквально засасывает пламя в цилиндр).

2) Поршень в своём движении достигает мёртвой точки (рис. 3 б), клапан закрывается, воздух в цилиндре охлаждается через стенки цилиндра, и поршень начинает обратное движение, т. к. давление в цилиндре становится меньше внешнего атмосферного.

3) Под действием разности давлений снаружи и внутри цилиндра поршень движется в сторону клапана (рис. 3 в).

4) Поршень доходит до второй мёртвой точки вблизи клапана (рис. 3 г) и под действием инерции маховика проходит мёртвую точку. Начинается движение поршня вправо. Далее цикл повторяется.

Теперь, после объяснения принципа работы становится ясно, почему двигатель называется вакуумным. Дело в том, что разность давлений на поршень, необходимая для его работы, достигается не за счёт высокого давления нагретых газов, а за счёт низкого давления остывших газов, которые создают в цилиндре некоторое подобие вакуума. При этом «изюминка» двигателя заключается в том, что рабочий ход поршня происходит за счёт давления атмосферы.

### 3. Постановка физических вопросов

Всякий человек, серьёзно увлекающийся техникой и физикой, наигравшись вдоволь с подобными развивающими игрушками, непременно задаст себе массу любопытных физических вопросов, на которые нет ответа в инструкции по применению. Не удержались от этого соблазна и авторы этой статьи. Мы размышля-

ры. Также, осознав принцип работы, становится ясно, что наше лирическое название «огнедышащая машина» следует в данном случае понимать буквально. Ведь двигатель действительно «вдыхает» пламя от спиртовой горелки и «выдыхает» продукты горения.

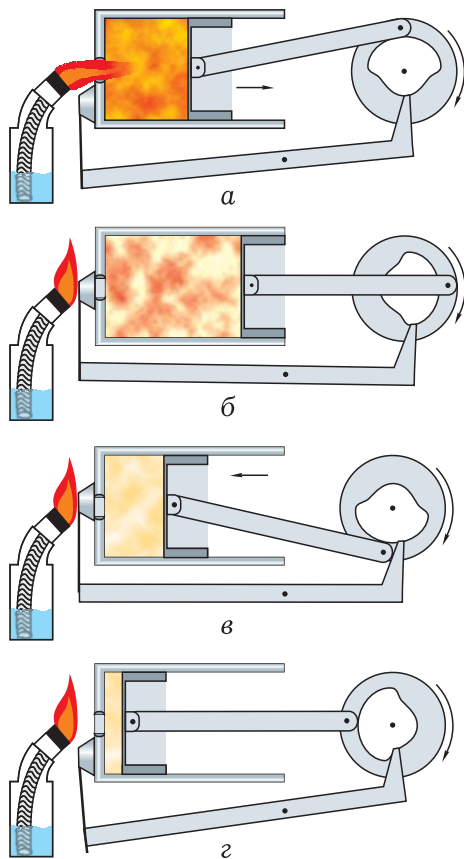


Рис. 3

ли следующим образом. У всякого двигателя есть такая характеристика, как оптимальный режим работы. Дело в том, что мощность двигателя зависит от частоты оборотов его вала и достигает максимума при некотором её значении. Представляет интерес путём какого-то несложного эксперимента оценить это опти-

мальное значение частоты оборотов. Кроме того, хотелось бы получить

приблизительное значение КПД в этом режиме.

#### 4. Эксперимент

Как же заставить вращаться вал двигателя с различными частотами, оставляя при этом возможность для измерения его мощности? Возникла очень простая идея: нужно намотать на ось ведущих колес нить, подвесить на её конце груз (рис. 4), измерить частоту вращения колёс, которая пропорциональна частоте оборотов вала двигателя.

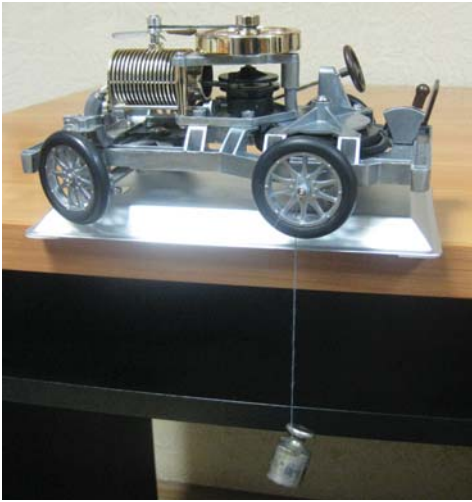


Рис. 4

Если закрепить машину на краю стола, включив передачу для движения вперёд, то при работе двигателя груз массой  $m$  будет подниматься. При каждой массе груза двигатель быстро выходит на режим, когда скорость подъёма груза становится постоянной. Если поделить изменение потенциальной энергии  $\Delta E$  груза на время  $t$  при его подъёме на высоту  $H$ , то получим полезную мощность:

$$N = \frac{\Delta E}{t} = \frac{mgH}{t}. \quad (1)$$

Измеряя время подъёма  $t$  различных грузов на фиксированную

высоту  $H$ , можно рассчитать частоту оборотов вала двигателя по формуле:

$$v = 10 \cdot \frac{H}{2\pi R t}, \quad (2)$$

здесь  $R$  – радиус оси колеса. Множитель 10 необходим для пересчёта частоты вращения ведущих колёс в частоту вращения вала двигателя, т. к. вращение от вала двигателя на колёса передаётся с помощью редуктора с передаточным числом, равным 1/10.

Очевидно, что чем больше масса груза  $m$ , тем меньше частота оборотов вала двигателя  $v$ . Поэтому, измерив время подъёма грузов разных масс и пользуясь формулами (1) и (2), можно построить зависимость  $N(v)$ . Это и было сделано. График полученной экспериментально зависимости  $N(v)$  показан на рис. 5.

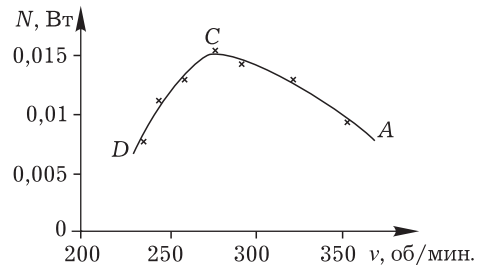


Рис. 5

Из рисунка видно, что мощность двигателя максимальна при частоте оборотов вала двигателя около 285 об/мин. Почему же мощность двигателя при уменьшении частоты оборотов сначала растёт, а затем падает (участки AC и CD на рис. 5)? Как это можно качественно объяснить? Для ответа на вопрос нужно ещё раз вникнуть в принцип работы двигателя и учесть, что мощность пропорциональна произведению действующей на поршень

силы и скорости поршня. При уменьшении частоты оборотов скорость поршня уменьшается, но охлаждение газа в цилиндре происходит в течение большего промежутка времени. Очевидно, что при этом газ охлаждается до более низкой температуры. Это приводит к увеличению разности давлений по обе стороны поршня. Как следствие, увеличивается действующая на поршень сила. Итак, мы установили экспериментально оптимальное значение частоты оборотов вала двигателя и объяснили качественно зависимость мощности от частоты оборотов.

Теперь перейдём ко второму из поставленных физических вопросов. Оценим КПД двигателя для режима работы на максимальной мощности. Согласно известной формуле для КПД:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{W_{\text{зат}}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Здесь  $A_{\text{пол}}$  – полезная работа, совершаемая двигателем,  $W_{\text{зат}}$  – энергия, затраченная на работу двигателя. В нашем случае полезной работой является подъём груза на высоту  $H$ :

$$A_{\text{пол}} = mgH. \quad (4)$$

Затраченная энергия – это та

энергия, которая выделяется при сгорании спирта:

$$W_{\text{зат}} = m_c \cdot q, \quad (5)$$

где  $m_c$  и  $q$  – масса сгоревшего спирта за время подъёма груза и его удельная теплота сгорания. Таким образом, используя экспериментальные данные и формулы (3)–(5), мы смогли оценить КПД двигателя. Было получено чрезвычайно малое значение  $\sim 0,01\%$ , что неудивительно, ведь почти вся тепловая мощность спиртовки (а это около 150 Вт) расходуется на нагрев окружающей среды.



## 5. Заключение

Несмотря на низкую энергетическую эффективность, нужно признать, что рассмотренная вакуумная машина является оригинальной развивающей технической игрушкой. Во-первых, даже просто собрать эдакое «чудо техники» собственными руками из отдельных

деталей очень интересно. Во-вторых, размышления над принципом работы двигателя, как мы увидели, приводят к занимательным физическим вопросам. Надеемся, что за время прочтения этой статьи у любопытного читателя возникли свои интересные вопросы

«Семь Пятей» – первая в России сеть магазинов и интернет-магазин умных развлечений. Здесь вы найдёте интеллектуальные наборы, конструкторы, наборы для исследований, сборные модели, наборы для творчества, настольные игры, развивающие игрушки и многое другое. Первый магазин «Семь Пятей» был открыт в 2006 году, сегодня в России работают пятнадцать магазинов.

Москва (495) 363-01-90, Санкт-Петербург (812) 333-17-17,

Нижний Новгород (831) 415-86-19,

<http://www.7pd.ru>