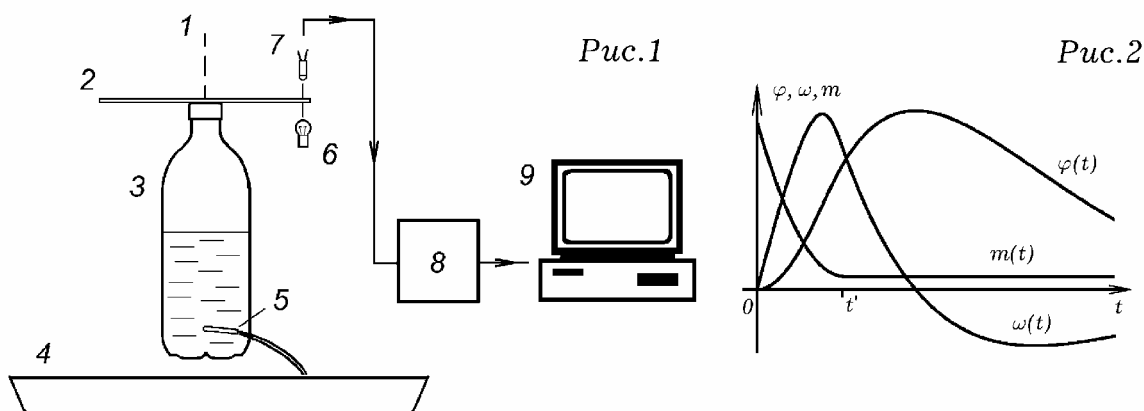


Майер Р.В.

Глазовский государственный педагогический институт
**ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ
С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА**

При изучении механики в курсах общей и теоретической физики рассматривают движение тел переменной массы, выводят уравнения Мещерского и Циолковского, анализируют реактивное движение. Методика экспериментального изучения этого явления не соответствует современному уровню развития техники и, как правило, сводится к демонстрации опытов качественного характера. Нами разработан эксперимент, в котором осуществляется серия измерений скорости вращения сегнерова колеса и строится график этой зависимости. В качестве измерителя скорости используется персональный компьютер, к параллельному порту LPT которого подключен оптодатчик или геркон.



Установка для изучения реактивного движения (рис.1) состоит из сегнерова колеса, выполненного в виде подвешенной на нити 1 двухлитровой пластиковой бутылки 3 с двумя изогнутыми трубками 5 диаметром 3–5 мм. К крышке бутылки прикреплен диск 2 диаметром 200 мм, по краю которого выполнены 96 или 48 прорезей. В верхней части бутылки имеется отверстие для воздуха. Вблизи края диска находится оптодатчик, состоящий из лампочки накаливания 6 на 6,3 В и фотодиода 7, подсоединенного к формирователю счетных импульсов 8, который подключен к параллельному порту компьютера 9. Формирователь импульсов представляет собой усилитель на двух транзисторах, к выходу которого подключен триггер Шмидта. При вращении диска происходит периодическое освещение и затемнение фотодиода, в результате чего в компьютер поступает последовательность логических 0 и 1, которая обрабатывается программой, написанной на языке Pascal или QBasic. Результаты измерений скорости вращения в последовательные моменты времени выводятся на экран в цифровом или графическом виде.

Общие принципы использования параллельного интерфейса для обмена информацией с внешними устройствами и конкретные примеры

программ рассмотрены в [1, 2, 3]. В нашем случае питание датчика осуществлялось от компьютера. В качестве общего провода может использоваться один из 18, 19, 20, ... 25 выводов параллельного интерфейса LPT. Проводом питания + 5 В может служить 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 или 9 вывод. Для этого в начале программы, обрабатывающей сигналы с датчика, в ячейку памяти 378h записывают число 255, что соответствует двоичному числу 11111111. При этом на выводах 2—9 порта LPT появляется напряжение высокого уровня, соответствующее логической 1, которое используется для питания датчика. Совокупность 8 логических нулей и единиц, снимаемых с выводов 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17 порта LPT, записывается в ячейку памяти с адресом 379h. Если сигнал с формирователя импульсов подается на один из перечисленных выводов параллельного интерфейса, то в этой ячейке памяти при различных состояниях датчика будут записаны различные числа.

Рассмотрим программу, позволяющую протестировать оптодатчик, подключенный к параллельному порту принтера. Она включает питание схемы и считывает число из ячейки памяти 379h, которое зависит от состояния выхода формирователя счетных импульсов. Если после запуска программы осветить фотодиод, то на экран будет выводиться одно число (например, 255), а если затемнить, — то другое (127).

Программа 1.

OUT &H378, 255

WHILE INKEY\$ = "": X = INP(&H379): PRINT X: WEND

Программа 2 запускает формирователь импульсов и затем в течение заданного интервала времени (1–3 с) считает количество прорезей диска, прошедших через оптодатчик. В этом же цикле определяется угловая скорость и результат записывается в файл и выводится на экран в графическом виде. После этого цикл повторяется. На экране компьютера получается график зависимости угловой скорости диска от времени.

Программа 2.

SCREEN 11

'ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКИ

OUT &H378, 255

'ПИТАНИЕ ДАТЧИКА

n\$ = "data"

'НАЗВАНИЕ ФАЙЛА

OPEN n\$ FOR OUTPUT AS #1

vremya = 2: T0 = TIMER

'ЗАДАНИЕ ВРЕМЕНИ СЧЕТА

LINE (0, 460)-(640, 460): LINE (10, 0)-(10, 480)

WHILE INKEY\$ = ""

'ЦИКЛ ДО НАЖАТИЯ ПРОБЕЛА

dT = 0: T1 = TIMER: n = 0

WHILE dT < vremya

'ЦИКЛ ПОДСЧЕТА ОТВЕРСТИЙ

x = INP(&H379)

'СЧИТЫВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДАТЧИКА

WHILE x = 127: x = INP(&H379): WEND

'ФОТОДИОД ЗАТЕМНЕН

WHILE x = 255: x = INP(&H379): WEND

'ФОТОДИОД ОСВЕЩЕН

T2 = TIMER: dT = T2 - T1: n = n + 1

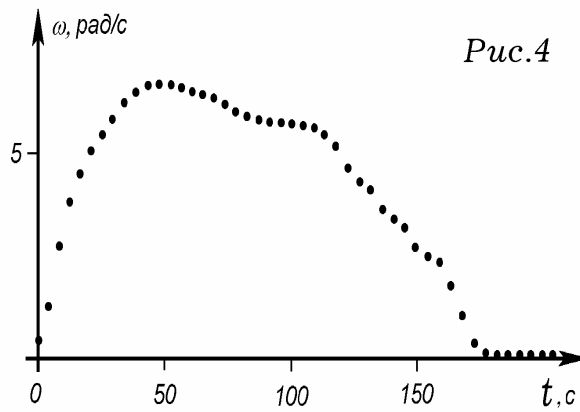
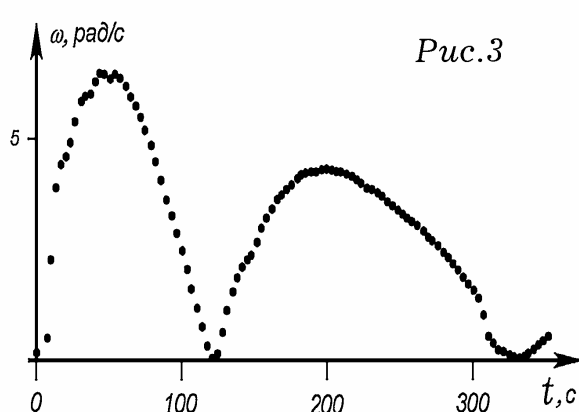
'n — ЧИСЛО ОТВЕРСТИЙ

```

WEND
w = n * (2 * 3.14 / 96) / время          'УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ
CIRCLE (10 + (T1 - T0) * 5, 460 - w * 50), 2
PRINT #1, "Время"; T1 - T0; "Угловая скорость"; w
WEND: CLOSE
END

```

Эксперимент проводят следующим образом. Закрывают сопла сегнерова колеса пластилином и наполняют бутылку водой, после этого закручивают крышку с диском и подвешивают бутылку на нити. Запускают программу и открывают сопла, — бутылка с диском начинает вращаться. На экране компьютера происходит построение графика зависимости модуля угловой скорости бутылки от времени (рис. 3). Скорость вращения бутылки сначала возрастает, достигает максимального значения, после чего уменьшается. За счет закручивания нити возникает момент упругих сил, который останавливает сегнерово колесо и заставляет его вращаться в противоположном направлении. Возникают крутильные колебания, амплитуда которых уменьшается.



Аналогичный эксперимент был проведен с колесом Сегнера, выполненным в виде цилиндрического сосуда с двумя изогнутыми трубками, установленного на вертикальном стержне, заостренном сверху. Нами использовалась готовый прибор “Сегнерово колесо”, у которого масса вращающейся части без воды 0,3–0,4 кг, объем сосуда 1 л, причем сопла расположены на 25 см ниже дна сосуда. Перед проведением измерений сопла закрывают пробками, сосуд наполняют водой и закрывают цилиндрической крышкой, к которой прикреплен диск с 96 или 48 прорезями по краю. Получающийся график зависимости угловой скорости от времени представлен на рис.4. Из него видно, что скорость сегнерова колеса сначала возрастает, достигает максимума, затем, когда вода почти вся вытекла, уменьшается до нуля вследствие действия тормозящего момента.

Для экспериментального изучения вращения сегнерова колеса может быть использован датчик замыкания–размыкания на герконе. Геркон может быть подключен, например, к 13 и 25 выводам параллельного порта

принтера. При поднесении к нему магнита контакты геркона замыкаются. Если запустить программу 1 при разомкнутых выводах 13 и 25 (общий) порта принтера, то оператор INP(&H379) возвратит число $127_{10} = 01111111_2$, в чем можно убедиться, выведя его на экран с помощью оператора PRINT INP(&H379). При замыкании выводов 13 и 25 оператор INP(&H379) возвращает число $111_{10} = 01101111_2$, в котором 5 бит инвертирован.

Для измерения скорости вращения сегнерова колеса к сосуду с противоположных сторон приклеивают два постоянных магнита, а рядом устанавливают датчик на герконе так, чтобы прохождение мимо него магнита вызывало замыкание контактов. Программа должна определять время замыкания или время между двумя последовательными замыканиями (размыканиями). Получающиеся при этом графики полностью аналогичны рассмотренным выше.

Нами была написана компьютерная программа, моделирующая вращение сегнерова колеса и строящая графики зависимостей массы, угловой координаты и скорости от времени (рис.2). В основу компьютерной модели положен метод конечных разностей Эйлера, заключающийся в нахождении малых приращений анализируемых функций (массы сегнерова колеса, высоты жидкости, скорости, ускорения и т.д.), которые соответствуют малым приращениям времени.

Рассмотрим алгоритм компьютерной модели:

1. Задаются параметры системы: масса m_0 , радиус R и момент инерции I_0 пустого сосуда, радиус r трубок, плечо l импульса вытекающей струи, высота жидкости h и ее плотность ρ . Задается шаг по времени Δt .
2. Начало цикла по времени. Переменной t присваивается значение $t + \Delta t$. Вычисляется масса $m = m_0 + m'$ и момент инерции $I = I_0 + m'R^2 / 2$ системы в момент t , где $m' = 4\pi R^2 \rho gh$ — масса жидкости.
3. Рассчитывается скорость вытекания жидкости $v = \sqrt{2gh}$, объем жидкости $\Delta V = \pi r^2 v \Delta t$ и масса $\Delta m = \rho \Delta V$ вытекающей за время Δt жидкости, а также высота жидкости в сосуде $h(t) = h(t - \Delta t) - \Delta V / \pi R^2$. Если $h < 0$, то переменной h присваивается 0.
4. Определяется момент упругих сил $M_1 = -k\varphi$, момент реактивных сил $M_2 = (\Delta m / \Delta t)vl$. Вычисляются угловое ускорение $\varepsilon = (M_2 - M_1) / I$, угловая скорость $\omega(t) = \omega(t - \Delta t) + \varepsilon(t)\Delta t$ и угол поворота сегнерова колеса $\varphi(t) = \varphi(t - \Delta t) + \omega(t)\Delta t$.
5. Результаты вычислений угловых координаты, скорости и ускорения, а также массы сосуда и высоты жидкости в нем выводятся на экран.
6. Конец цикла по времени. Возврат к операции 2 или выход из цикла.

Получающиеся результаты имитационного моделирования (рис.2) хорошо согласуются с экспериментальными кривыми.

Литература

1. Акатов Р.В. Компьютерные измерения: Аналого–цифровой преобразователь. — "Учебная физика". — 1999. — N 3. — С. 48–64.
2. Майер Р.В. Измерение времени замыкания с помощью ПК // Инженерно-экономическое образование: вопросы дидактики: Тез. докл. регион. науч.-практич. конф. — Глазов: Издательство ГИЭИ ИжГТУ, 2005. — С. 49—51.
3. Матаев Г.Г. Компьютерная лаборатория в вузе и школе. Учебное пособие. — М.: Горячая линия – Телеком, 2004. — 440 с.