

МЕТОДИКА ВЫКЛАДАНИЯ

МЕТОДИКА ВЫКЛАДАНИЯ ФІЗИКІ

Весті БДПУ. Серія 3. 2022. № 4. С. 5–9

УДК 53:378.147.091.32

UDC 53:378.147.091.32

РАСШИРЕНИЕ ЦИФРОВОГО ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

BROADENING OF DIGITAL LABORATORY EXPERIMENT ON STUDYING TRANSLATORY AND ROTARY MOTION

В. Р. Соболев,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и методики преподавания физики Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка;

Ч. М. Федорков,

кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики и методики преподавания физики Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка;

А. С. Кляузо,

магистрант Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка;

В. И. Стручков,

заведующий учебной лабораторией Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка

V. Sobol,

Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank;

Ch. Fedorkov,

PhD in Pedagogy, Associate Professor of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics, Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank;

A. Klyauzo,

Master Student, Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank;

V. Struchkov,

Head of the Learning Laboratory, Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

Поступила в редакцию 21.11.2022.

Received on 21.11.2022.

Рассматривается возможность эмпирического моделирования и исследования поступательного и вращательного движения на установке усовершенствованного типа в сравнении с традиционной машиной Атвуда.

Ключевые слова: сила, эксперимент, движение, блок, груз, датчик, ноутбук, уравнения.

The article considers the possibility of empiric modeling and studying translatory and rotary motion on the installation of an improved type comparing to the traditional Atwood machine.

Keywords: force, experiment, motion, block, load, sensor, laptop, equations.

Введение. Постановка задачи. Проведение корректного лабораторного эксперимента в механике по разделам кинематики

и динамики сопряжено с обеспечением постоянства действующих сил и надежностью измерений временных интервалов. Наличе-

ствующие на сегодняшний день электронные секундомеры позволяют с хорошей степенью точности фиксировать временные отрезки, что в первую очередь приемлемо для движения типа свободного падения, где побудителем выступает однородное гравитационное поле Земли. При таком движении возможно ставить и решать эмпирически прямую и обратную задачи, однако быстрота самого процесса уменьшает созерцательную составляющую эксперимента. Так, например, высоту в 1 метр тело в свободном падении проходит за четыре десятых секунды и при проведении измерительного процесса целесообразно замедлять движение, например, вводя силы трения – используя вязкую жидкость. Также действие силы тяжести удобно применять при моделировании движения в системе блочного устройства, где блок, как тело вращения в виде диска с желобком и находящейся в нем нитью, приводится в движение при неравенстве действующих сил на его плечах. Существенно, что для блока быстрота процесса под действием сил тяжести может быть уменьшена.

Система типа *L-micro* с электронной регистрацией промежутков времени дает возможность достаточно точно фиксировать временные интервалы, которые вводят в регистрируемую базу данных посредством клавиатуры компьютера. Тем не менее большие удобства для исследователя при моделировании явлений кинематики и динамики предоставляют системы цифровых измерительных комплексов, которые позволяют временные интервалы не только фиксировать, но и обрабатывать, по сути автоматизируя процесс измерений.

Следует отметить, что применительно к задачам динамики известен цифровой эксперимент с движением тела по наклонной плоскости, в котором используются *USB*-датчики-преобразователи временных интервалов, скоммутированные непосредственно на входные порты компьютера.

В сообщении представлен один из вариантов расширения лабораторного эксперимента в цифровом формате регистрации по моделированию и исследованию комплексного поступательно-вращательного движения системы на основе усовершенствованной установки типа «Машина Атвуда» [1].

Основные элементы модернизированной установки и принцип ее действия.

В рассматриваемом случае усовершенствованной установки *USB*-преобразователи, как и ранее, выполняют функцию измерителей временных интервалов в новом варианте системы, отвечающем движению двух блоков. Схема обсуждаемого варианта движения представлена на рисунке 1. В данном случае основной блок с фиксированной осью вращения содержит в одном плече традиционный груз массы m_1 , а другим плечом основного блока является нить по левой стороне, нагруженная дополнительным подвижным блоком с массами m_2 и m_3 .

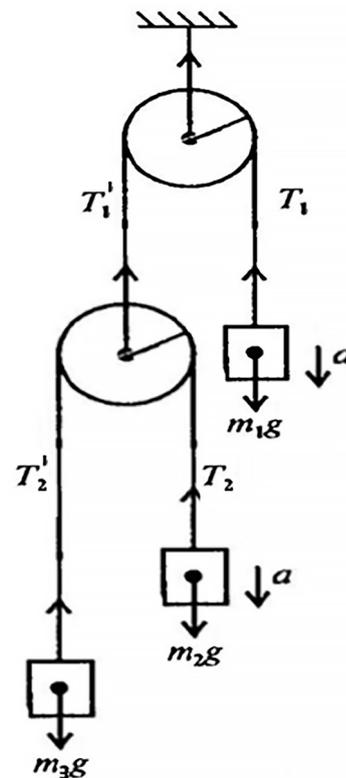


Рисунок 1 – Схематическое изображение лабораторной установки на основе системы блоков для изучения кинематики и динамики поступательного и вращательного движения

Техническое воплощение рассматриваемой кинематической схемы представлено на рисунке 2. В системе на основе двух блоков имеются три груза – левый, промежуточный, и правый. Временные параметры их движения регистрируют *USB*-преобразователи, закрепленные по правой и левой сторонам на несущих рейках-направляющих. Представленный вариант установки содержит четыре

пары датчиков, что означает возможность фиксировать временные интервалы для массы m_1 и массы m_3 в начале и в конце движения системы после ее запуска. Поскольку одно из плеч основного неподвижного блока с присоединенным по правой стороне грузом m_1 (на схеме рисунка 1), создающим натяжение нити постоянной силы, сочетается через нить с другим плечом основного блока в виде подвижного блока, то можно утверждать, что эта нагрузка отвечает переменной массе. Переменность массы реализуется за счет движения масс m_2 и m_3 ,

то есть, разбалансировав левый подвижный блок, можно обеспечить изменение натяжения левой нити основного блока от максимального до минимального. Это, в свою очередь, позволяет получить режим движения правого груза от подъема до опускания. Фиксируя временные интервалы и отрезки длины, легко включить эти параметры в систему уравнений для движения всех элементов. Таким образом, в представленном варианте кинематической схемы возможно эмпирически изучать четыре варианта движения.

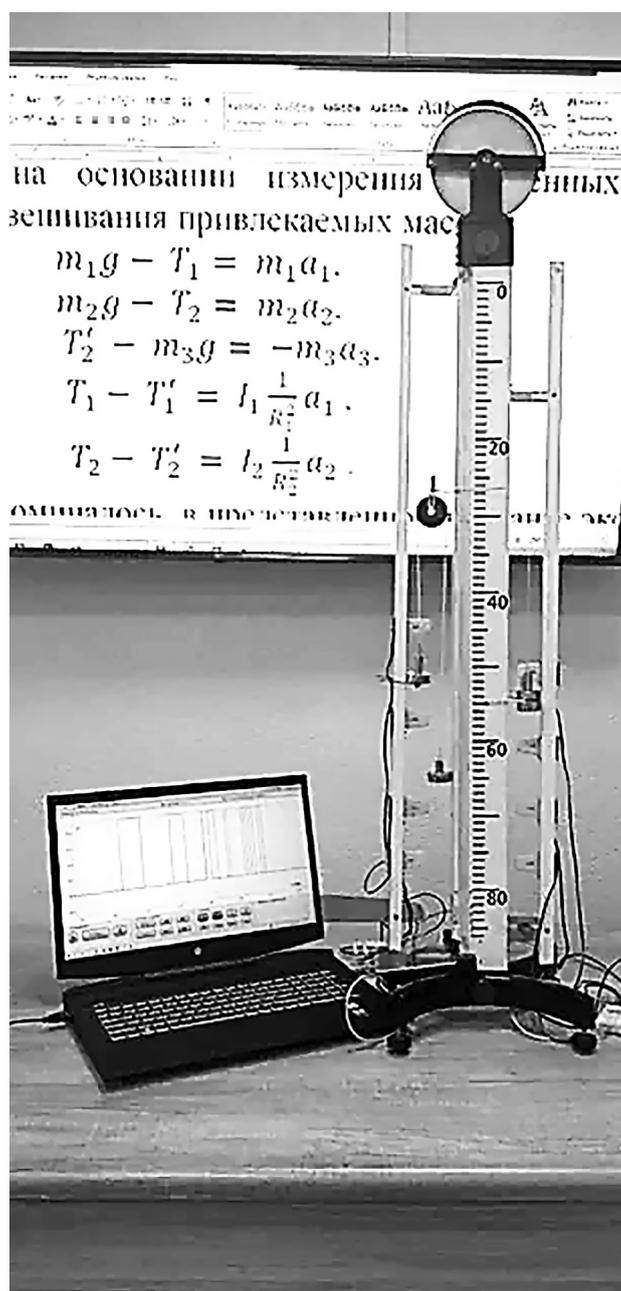


Рисунок 2 – Экспериментальная установка системы подвижных блоков, позволяющая определить интервалы времени на отдельных участках пути

По существу обсуждаемая схема позволяет эмпирически исследовать варианты движения системы блоков из текстовых аналитических задач механики, широко используемых для аттестации абитуриентов и студентов в предыдущие годы.

В дополнение к приближению применения традиционных легких, невесомых блоков в случае профильного изучения механики реально использование массивных блоков с введением элементов инерционности при вращении. Также уместно привлечение действия сил трения при вращении. Как фактор расширения спектра исследовательских задач приемлемо еще одно усложнение схемы движения посредством введения в плечо каждой из четырех нитей по чувствительному динамометру. В таком приближении по данным регистрации промежутков времени и проходимых отрезков вдоль мерной линейки реально выявить по рассчитываемым ускорениям масс на основном и вторичном блоках параметры натяжения нити в приближении ее не идеальной жесткости.

Естественно, измерение временных интервалов на основе USB-преобразователей

для заданных интервалов длины должно быть дополнено корректно составленной системы уравнений движения всех элементов установки. Например, для варианта движения, представленного на схеме рисунка 1, при выборе положительного направления оси вдоль действия силы тяжести система уравнения в проекциях при движении масс m_1 и m_2 вниз выглядят как (1). В данном случае натяжения нитей по сторонам блоков не одинаковы из-за конечной величины моментов инерции блоков I_1 и I_2 . Упомянутые моменты инерции могут стать объектом эмпирического вычисления на основании измерения временных и пространственных отрезков и взвешивания привлекаемых масс.

$$\begin{aligned} m_1 g - T_1 &= m_1 a_1, \\ m_2 g - T_2 &= m_2 a_2, \\ T_2' - m_3 g &= -m_3 a_3, \\ T_1 - T_1' &= I_1 \frac{1}{R_1^2} a_1, \\ T_2 - T_2' &= I_2 \frac{1}{R_2^2} a_2. \end{aligned} \quad (1)$$

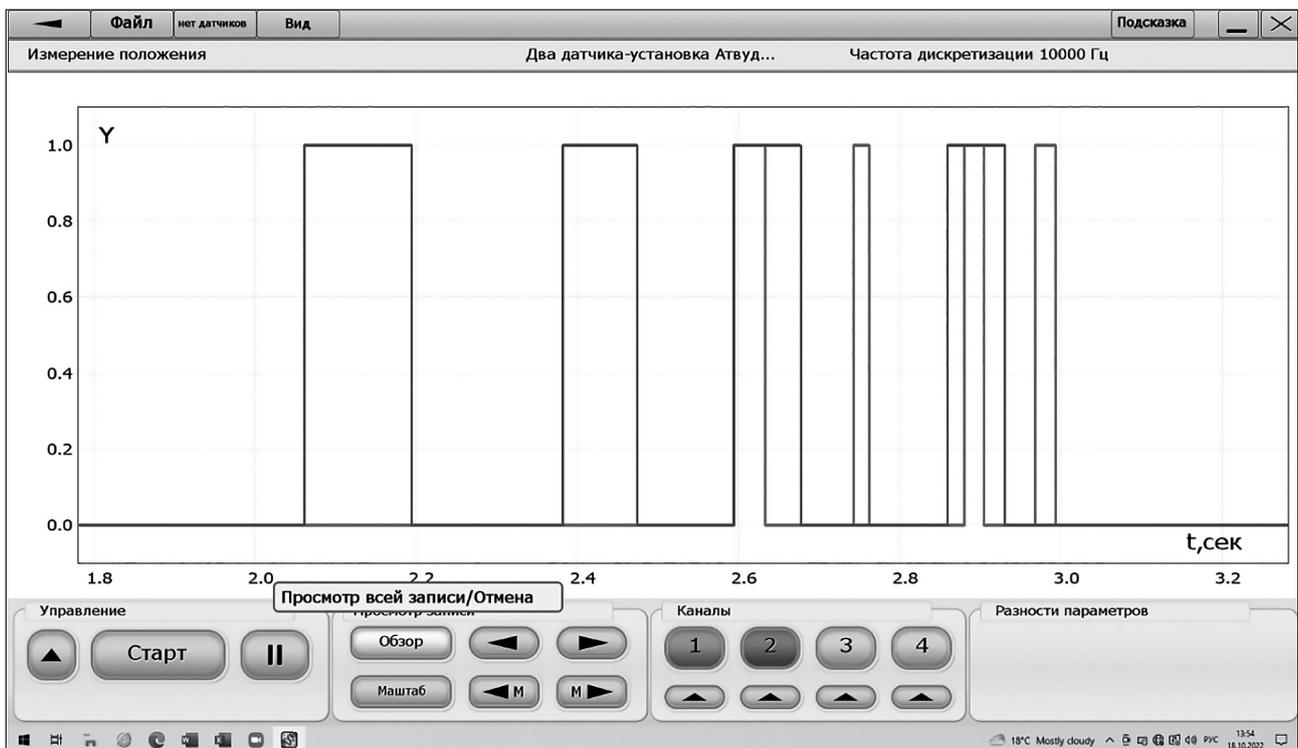


Рисунок 3 – Скриншот монитора ноутбука после регистрации временных интервалов по сигналам цифровых USB-датчиков

Как упоминалось, в представленном варианте эксперимента сложность при регистрации отрезков времени обычными способами, требующая использования одного, двух и более секундомеров, электронных датчиков типа *L-micro*, исключается за счет активизации нескольких пар *USB*-датчиков, которые измеряют и отображают на мониторе временные интервалы на заданных отрезках длины в шкале времени виде отдельных всплесков (рисунок 3). Как упоминалось, при близости масс грузов на левом подвижном блоке возможно обеспечить его опускание с подъемом правого груза. Наконец, в рамках представленной схемы доступно реализовать эти же варианты движения при измененном соотношении масс левого и промежуточного грузов. Как видно из рисунка 2, установка по размерам достаточно масштабна, что позволяет использовать ее для отображения исследуемых явлений из

лекционной аудитории при коллективном созерцании и обсуждении явлений в количественных соотношениях, включая и формат онлайн-взаимодействия.

Заключение. Достаточно простое разрешение эмпирических аспектов регистрации временных интервалов при корректном рассмотрении представленной задачи исходя из условия равенства количества уравнений количеству неизвестных дает основания экспериментально исследовать динамику системы такого рода с возможностью варьирования эффективной массы вплоть до состояний, близких к невесомости. Установка ввиду ее функциональной гибкости может быть привлечена для постановки исследовательских задач и совершенствования профильного физического знания учащихся учреждений среднего образования, студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей средней и высшей школы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sobol, V. Interactive representation of the laws of mechanics on the basis of digital model «Atvud mashine» / V. Sobol, O. Zinkevich, Ch. Fedorcov // Educational information technologies and a robotics. Proc. Rep. Scient. Pract. Conf. Minsk. March 27–28, 2018. – P. 108–111.
2. Аверина, С. Г. Использование цифровой лаборатории «Архимед» на уроках физики / С. Г. Аверина, С. А. Милькова // Формирование мышления в процессе обучения естественнонаучным, технологическим и математическим дисциплинам: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., 1–2 апреля 2019 г., Екатеринбург, Россия / Урал. гос. пед. ун-т; отв. ред. Т. Н. Шамало. – Екатеринбург : [б. и.], 2019. – 180 с.
3. Ширшова, Т. А. Лабораторные работы как средство мотивации и активизации учебной деятельности учащихся / Т. А. Ширшова, Т. А. Полякова // Омский научный вестник. – 2015. – № 4 (141).

REFERENCES

1. Sobol, V. Interactive representation of the laws of mechanics on the basis of digital model «Atvud mashine» / V. Sobol, O. Zinkevich, Ch. Fedorcov // Educational information technologies and a robotics. Proc. Rep. Scient. Pract. Conf. Minsk. March 27–28, 2018. – P. 108–111.
2. Averina, S. G. Ispol'zovanie cifrovoj laboratorii «Arhimed» na urokah fiziki / S. G. Averina, S. A. Mil'kova // Formirovanie myshleniya v processe obucheniya estestvennonauchnym, tekhnologicheskim i matematicheskim disciplinam: materialy Vserossijskoj nauch.-prakt. konf., 1–2 aprelya 2019 g., Ekaterinburg, Rossiya / Ural. gos. ped. un-t; отв. red. T. N. Shamalo. – Ekaterinburg : [b. i.], 2019. – 180 c.
3. Shirshova, T. A. Laboratornye raboty kak sredstvo motivacii i aktivizacii uchebnoj deyatel'nosti uchashchihsya / T. A. Shirshova, T. A. Polyakova // Omskij nauchnyj vestnik. – 2015. – № 4 (141).