

Эффективный способ увеличения мощности солнечных установок



Предложен новый принцип управления системой слежения за Солнцем без микроконтроллеров. Рассчитано увеличение эффективности работы солнечных батарей при использовании таких систем. Доказана экономическая целесообразность их установки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, фотоэлемент, солнечная батарея



- Выполнил ученик 11-го класса **ПЕТРУСЁВ АЛЕКСАНДР**
science-alex@mail.ru
(МБОУ Лицей при НИ ТПУ, г. Томск)
- Руководитель:
проф. **А.В. Юрченко**
nipp@mail.ru,
д. т. н. (НИ ТПУ, г. Томск)

В наше время для получения энергии человек в подавляющем большинстве использует полезные ископаемые, но их запасы ограничены, а выбросы в атмосферу токсичных веществ, выделяющихся при сгорании топлива, ухудшают экологическую обстановку. В связи с этим всё более актуально использовать нетрадиционные источники энергии (тепло недр, ветер, биотопливо, солнечное излучение). Среди возобновляемых источников энергии солнечное излучение по масштабам ресурсов, экологической чистоте и распространённости наиболее перспективно. Годовая мощность солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, около $(0,85 - 1,2) \cdot 10^{17}$ Вт [1]. Особенно актуально использование солнечных энергетических установок в регионах, не имеющих стационарной сети электропитания. Но и в городской среде солнечная энергетика может не только снять остроту энергетических и экологических проблем, но и принести экономическую выгоду [1].

К сожалению, в данный момент используется лишь малая часть потенциала солнечной энергии, в частности, из-за относительно низкой эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Целью данной научно-исследовательской работы яв-

Работа была доложена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131697, представлена оргкомитетом Томского регионального этапа конкурса) и отмечена дипломом Лауреата в секции «Физика», а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст и постер см. ЭП. Усовершенствованный проект «Повышение эффективности солнечных батарей с помощью планарного концентратора и солнечного трекера» удостоен Диплома III степени в номинации «Чистые технологии» на конкурсе «Зво́рыкинская премия» (декабрь 2013 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана) http://ru.wikipedia.org/wiki/Зво́рыкинский_инновационный_проект; <http://konkurs.innovatorussia.ru/> – *Ред.*

ляется поиск и осуществление эффективного способа увеличения мощности источников питания на солнечной энергии.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет поддерживает идею «зелёной энергетики» – в настоящее время на крыше 18-го корпуса ТПУ установлены 12 солнечных панелей суммарной мощностью около 3 кВт. Вырабатываемая ими энергия обеспечивает 2 аудитории корпуса и 3 светодиодных фонаря на территории. Для перехода ещё одной аудитории на солнечную энергию требуется увеличить мощность примерно на треть.

Задачи проекта: ● рассмотреть строение и принцип действия солнечной панели, сделать собственный рабочий образец ● изучить зависимость мощности солнечной батареи от угла падения на неё солнечных лучей ● рассмотреть все влияющие на это факторы, сделать расчёт и построить соответствующие графики ● рассмотреть способы увеличения КПД солнечных панелей ● сделать демонстрационную модель своего варианта решения проблемы ● рассчитать экономическую и энергетическую целесообразность проекта.

Работа выполнена в лабораториях ОАО Научно-исследовательского института полупроводников (НИИПП) и НИ ТПУ; все поясняющие картинки сделаны в программе **Adobe Photoshop CS4**, графики – в программе **Mathcad14**.

Фотоэлектрический модуль. Солнечная панель представляет собой несколько фотоэлектрических модулей, каждый из которых, в свою очередь, состоит из нескольких фотоэлементов. Наибольший КПД имеют фотоэлементы на основе монокристаллического кремния, которые нами и использовались. Несколько модулей соединяют между собой параллельно или последовательно в зависимости от требований к мощности и напряжению (подробное описание процесса изготовления и сборки см. ЭП. – *Ред.*)

Итоговая мощность зависит от количества падающего на батарею солнечного излучения, то есть от площади батареи и от угла падения лучей на неё (наклона плоскости фотоэлементов) [2].

Зависимость площади падения лучей от угла наклона фотоэлемента. Эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую максимальна, когда лучи падают на фотоэлемент перпендикулярно его плоскости. Эффективная площадь падения лучей (в процентах):

$$y = 100\% \cdot \cos x, \quad (1)$$

где x – угол падения (между падающим лучом и нормалью к плоскости батареи). Кроме того, фотоэлемент отражает часть падающего на него излучения, но также и поглощает часть излучения, отражённого от других поверхностей. (Это излучение называется *фоновым*, оно не зависит от угла наклона батареи и составляет около 20% от общего количества падающего излучения [2].)

Чтобы получить зависимость от вышеуказанных факторов, воспользуемся формулами Френеля для отражения волн [3]:

$$p(x, r) = \frac{\operatorname{tg}^2(x - r)}{\operatorname{tg}^2(x + r)}; \quad (2)$$

$$f(x, r) = \frac{\sin^2(x - r)}{\sin^2(x + r)}, \quad (3)$$

где p – коэффициент отражения волны, поляризованной в плоскости падения, x – угол падения, r – угол преломления, f – коэффициент отражения волны, поляризованной перпендикулярно плоскости падения. Учитывая, что показатель преломления $n = \frac{\sin x}{\sin r}$, преобразуем выражения (2), (3) для коэффициентов отражения волн, поляризованных взаимно перпендикулярно:

$$p(x) = \frac{\operatorname{tg}^2\left(x - \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}{\operatorname{tg}^2\left(x + \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}, \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{\sin^2\left(x - \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)}{\sin^2\left(x + \arcsin \frac{\sin x}{n}\right)} \quad (5)$$

и находим их среднее арифметическое – коэффициент отражения естественного солнечного света (солнечный свет можно представить как сумму

двух линейно поляризованных волн равной интенсивности):

$$K(x) = 100\% \cdot \frac{p(x) + f(x)}{2}. \quad (6)$$

Зависимости $f(x)$, $p(x)$ и $K(x)$ представлены на графиках, рис. 1, а. Видно, что при небольшом наклоне плоскости фотоэлемента среднеарифметический коэффициент отражения (*красная кривая*) невелик и возрастает, начиная с 40° .

Расчёт итоговой мощности. При нормальном падении света на вещество ($x = 0$) [3]:

$$p = f = \frac{(n - n_1)^2}{(n + n_1)^2} = z, \quad (7)$$

где n_1 – показатель преломления среды, из которой движется луч, z – отражательная способность.

С учётом формул (1), (6) а также наличия фонового излучения и значения $n = 1,55$ для покрытия (в нашем случае [4]), получаем выражение для доли солнечной радиации, дошедшей до фотоэлемента:

$$W(x) = 80\% \cdot \cos x(100\% - K(x)) + 20\% \cdot (1 - z). \quad (8)$$

(Первый член учитывает вклад эффективной площади падения лучей и отражённого излучения. Фоновую радиацию с высокой точностью можно считать падающей практически отвесно.)

При нормальном падении лучей до фотоэлемента доходит около 96% мощности падающего потока излучения. При увеличении наклона плоскости фотоэлемента потери мощности становятся весьма ощутимыми и превышают 80% при наклоне 90° (падающая мощность становится равной мощности фонового излучения).

Эксперимент. Полученные теоретические вклады были проверены экспериментально, для чего была сделана специальная стойка, позволяющая фотоэлектрическому модулю быстро принимать устойчивые положения с шагом в 15° (эксперимент проводился на крыше НИИПП в ясный полдень). Основные элементы оборудования показаны на рис. 2.

В начальном положении угол падения солнечных лучей на фотомодуль был равен 90° (ориентирование производили с помощью трубки со сквоз-

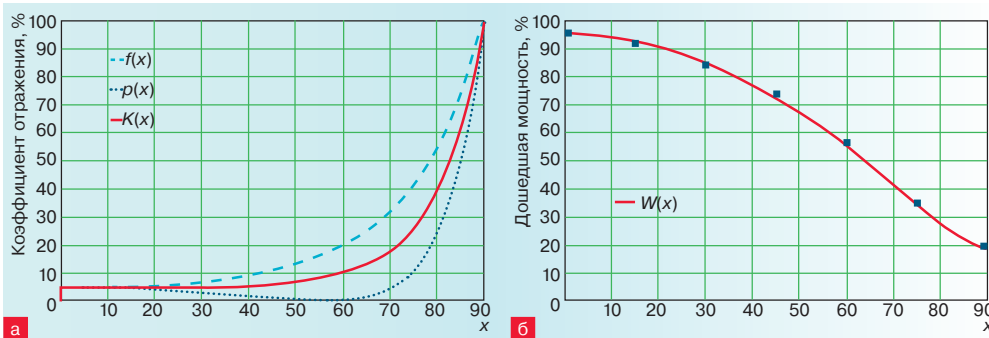


Рис. 1. Расчётные зависимости: а – коэффициента отражения солнечного излучения; б – доли солнечного излучения от угла падения x (наклона плоскости фотомодуля). Синие точки – экспериментальные результаты

ным отверстием, просверленного перпендикулярно оси трубки, – по появлению яркой светящейся точки под трубкой). Затем с помощью аналогично установленного пиранометра измеряли количество суммарной солнечной радиации, падающей вертикально на площадь 1 м². После этого измеряли силу тока короткого замыкания и напряжение холостого хода батареи при углах падения лучей 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° и 90° (трижды для каждого угла). Экспериментальные данные подтвердили расчёт (см. ЭП табл. 1 и на с. 5 график, рис. 1, б).

Выбор системы ориентирования. Для повышения КПД фотоэлементов можно: ● использовать многослойные фотоприёмники на гетеропереходах, однако их стоимость гораздо выше обычных, поэтому соотношение цена/эффективность фактически не меняется ● применять двусторонние фотоэлектрические преобразователи, что незначительно увеличивает эффективность при значительном увеличении цены ● добавлять различные концентраторы, которые увеличивают фотоответ, но фотоэлементы при этом греются, что негативно сказывается на их КПД и сроке службы ● оборудовать фотоэлементы системой слежения за Солнцем, что даёт наилучшее соотношение стоимость/эффективность.

Система автоматического ориентирования следит за положением солнечной панели, периодически подстраивая его так, чтобы солнечное излучение падало на неё перпендикулярно. Ориентирование на Солнце возможно с помощью одно- и двухосевых систем слежения. Если первая способна подстраивать панель только по азимуту, то вторая – также и по высоте. Выигрыш в мощности при использовании одноосевой системы составляет примерно 30%, а её замена на двухосевую прибавляет не более 10% [2] (см. расчёты в ЭП). Учитывая, что конструкция двухосевой системы сложнее, риск выхода её из строя больше, а цена значительно выше, мы остановились на исследовании одноосевых систем.



Рис. 2. Оборудование для измерения суммарного потока солнечной радиации

Существует несколько основных способов ориентирования на Солнце: ● ручная наводка – обладает относительно невысокой точностью, к тому же требуется оператор ● пассивная система на основе алгоритма дневного движения Солнца в течение дня позволяет автоматически и с высокой точностью отслеживать положение светила, но при этом программа рассчитывается только для одного заданного географического положения, причём необходимо вводить поправки каждый день ● активная система – наиболее удобная и эффективная.

Была разработана и собрана стендовая модель автоматизированной солнечной фотоэлектрической установки, рис. 3, в состав которой вошли: 1 – аккумулятор для питания электродвигателя и внешней цепи; 2 – плата управления, регулирующая поворот модели; 3 – электродвигатель; 4 – концевики, не позволяющие панели поворачиваться более чем на 180°, тем самым предотвращая наматывание и излом проводов; 5 – солнечная панель, закреплённая под углом в 45° к горизонту и подзаряжающая аккумулятор; 6 – рубильник для включения/выключения системы; 7 – выходные разъёмы, подключающие к установке внешнюю цепь (например, электроприборы), на демонстрации в качестве потребителя использовали светодиод.

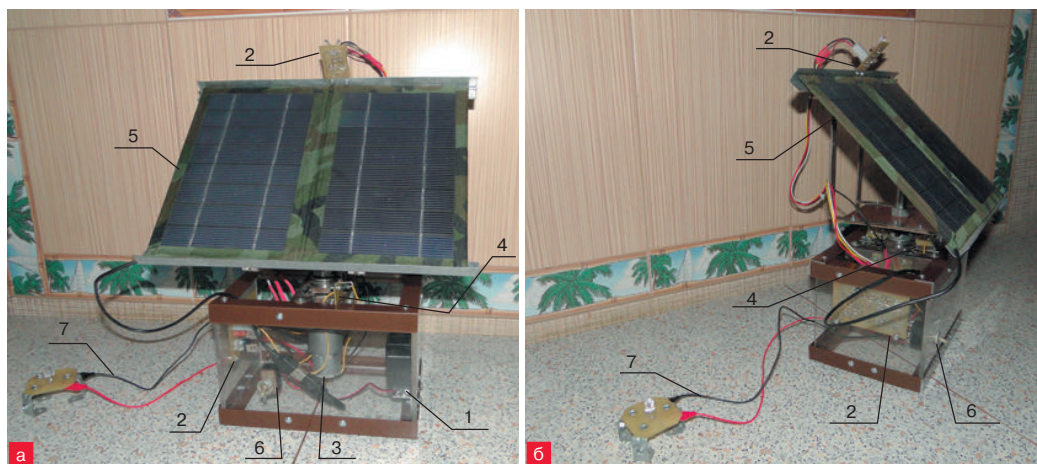


Рис. 3. Стендовая модель солнечной фотоэлектрической установки с активной одноосевой системой ориентирования солнечной панели: а – вид спереди; б – вид сзади

Главной частью установки является плата управления, рис. 4, выполненная на основе разработки Д. Джонсона [5] (принципиальную оригинальную схему платы и концевиков, внесённые модификации и описание работы установки см. ЭП). Датчиками служат не фото-, а светодиоды, поскольку принцип работы у них во многом схож, а стоимость значительно ниже. Пара светодиодов разведена на 30° (см. рис. 4, справа). Поскольку интенсивности падающего на них потоков солнечного излучения различны, то возникает сигнал. Сигнал усиливается и поступает на электродвигатель, направление вращения которого зависит от знака сигнала.

Энергопотребление движущихся частей системы можно снизить, если система будет работать не постоянно, а периодически, включаясь через определённые временные интервалы. Оптимальный интервал T , когда выигрыш в производительности максимален, рассчитаем по формуле (9), описывающей зависимость вырабатываемой мощности от угла падения излучения на фотоэлементы.

По климатическим данным NASA [6] средняя дневная сумма солнечной радиации в Томске и Новосибирске $\approx 2,91 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$. Световой день в течение года составляет от 9 до 16 ч. Усредним его и примем за 13 ч. То есть в среднем за 1 ч на 1 м^2 поверхности по нормали падает поток солнечного излучения мощностью $\approx 224 \text{ Вт}$.

В нашей демонстрационной установке размер фотоэлектрических модулей $24 \times 21 \text{ см}$, площадь батареи $S = 0,0504 \text{ м}^2$, потребляемая за цикл ориентирования мощность электродвигателя $\sim 3 \text{ Вт}$, продолжительность цикла около 10 с, то есть потребляемая энергия $\sim 30 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1/120 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

По данным Лаборатории климатологии атмосферного состава [7], средняя высота Солнца над горизонтом в течение дня около 30° . При угле наклона нашей панели 45° , отклонение лучей по высоте от нормали составляет 15° .

Среднее изменение положения Солнца по азимуту составляет около $14,5^\circ$ в час [7]. При небольших отклонениях (меньше 15°) от нормали изменение мощности потока падающего солнечного излучения почти линейно, поэтому можно считать, что отклонение по азимуту равно среднему арифметическому между минимальным и максимальным отклонениями в течение этого проме-

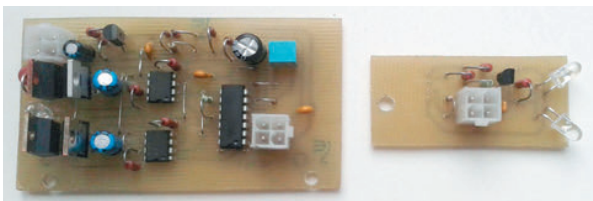


Рис. 4. Внешний вид платы управления

жутка времени. Наименьшее – ноль, поэтому угол падения $x = \frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}$, а количество выработанной за час энергии рассчитывается по формуле:

$$P(T) = Q \cdot S \cdot \eta \cdot W(15) \cdot W\left(\frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}\right) - \frac{P_{\text{д}} t}{T}, \quad (9)$$

где T (мин) – шаг системы, то есть время между включениями автоматической системы ориентации панели; Q ($\text{Вт}/\text{м}^2$) – среднее значение удельной мощности суммарного солнечного излучения; $\eta = 15\%$ – КПД солнечной батареи на монокристаллическом кремнии; $W(x)$ – доля солнечной радиации, дошедшей до фотоэлемента (поскольку система ориентации двухосевая, член $W(15)$ учитывает отклонение панели от нормали на 15° , а член $W\left(\frac{T \cdot 14,5}{60 \cdot 2}\right)$ – среднее азимутальное отклонение за время T); $P_{\text{д}} t = 0,5 \text{ Вт} \cdot \text{мин}$ – энергия, потребляемая электродвигателем за одно включение. Наибольшая эффективность достигается при $T = 40 \dots 60$ мин (рис. 5).

Дополнительное снижение энергозатрат можно получить за счёт использования датчика света на фотодиоде, который отключает систему ориентирования в тёмное время суток. Такой датчик был разработан и установлен (подробнее см. ЭП), результаты представлены на рис. 6.

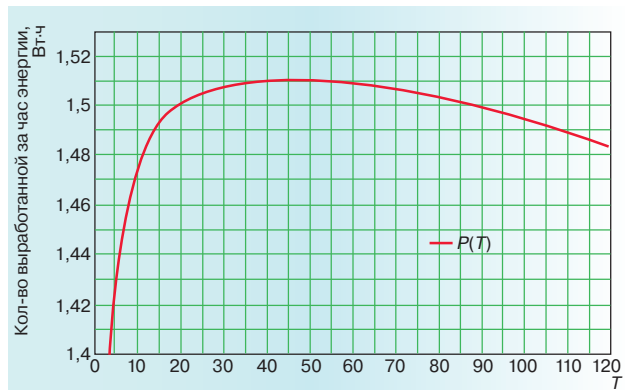


Рис. 5. Зависимость количества вырабатываемой энергии от шага системы

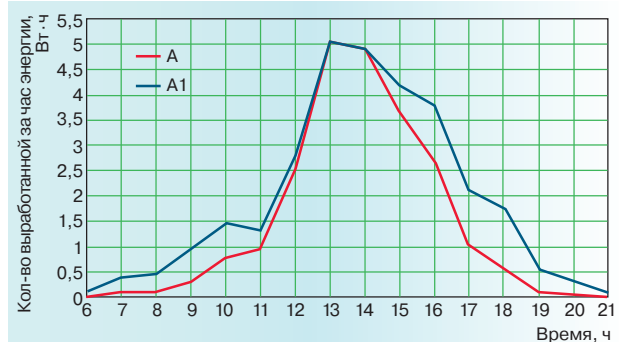


Рис. 6. Вырабатываемая мощность для панели с системой ориентирования (синяя кривая) и без неё (красная кривая)

Расчёт экономии. Как показал эксперимент, см. график, система ориентирования позволяет увеличить вырабатываемую энергию с 23 Вт · ч, до более 30 Вт · ч, при этом мощность была заметно выше практически в течение всего дня и равнялась мощности статичной батареи лишь с 13 до 14 ч, когда Солнце было на юге. Выигрыш в работе составил 30,8%.

Рассчитаем, какую экономическую выгоду может получить институт, приобретая систему ориентирования.

Чтобы увеличить на 30,8% энергию, вырабатываемую 12-ю имеющимися стационарными солнечными батареями, необходимо добавить к ним ещё несколько фотоэлектрических модулей. При стоимости одного модуля АИЭП-2 (производства НИИПП) 40 тыс. руб. [8] затраты составят $12 \times 40 \times 0,308 = 147\,840$ руб.

Стоимость одной системы ориентирования: 3560 руб. (электродвигатель 56А-4) + 589 руб. (плата управления) + 1400 руб. (2 м² пластика) + 500 руб. (уголки) + 980 руб. (подшипники) + 800 руб. (вал и площадка для батарей) = 7829 руб. Стоимость 12 систем ориентирования: 93 948 руб.*

Экономия: $147\,840 - 93\,948 = 53\,892$ руб.

При эксплуатации в городе наша установка с фотоэлектрическими батареями окупится примерно за 10 лет (при существующих тарифах на электроэнергию), однако этот срок сокращается в несколько раз, если она заменит генераторы на дизельном топливе. Проект ориентирован в основном на децентрализованное электроснабжение. А это 70% территории нашей страны, на которой живёт 20 млн человек.

Выводы: ● создан рабочий образец фотоэлектрического модуля ● получены зависимости величин, влияющих на итоговую мощность батареи, от угла падения солнечных лучей ● проанализированы способы увеличения мощности солнечных батарей ● создан уникальный рабочий образец солнеч-

ной батареи с использованием одноосевой системы ориентирования ● произведён расчёт энергетического и ценового выигрышей использования данных систем.

Использование систем ориентирования на Солнце позволяет увеличить выигрыш в вырабатываемой мощности более чем 30% за счёт более равномерного генерирования электричества с восхода до захода солнца. Именно поэтому создание данной системы позволит не только ТПУ и многим другим предприятиям, но и рядовым гражданам с меньшими затратами пользоваться «зелёной энергетикой».

Литература

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2008. 317 с.
2. Юрченко А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В. Система слежения за солнцем для солнечной энергоустановки. / В сб. «Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений», Россия, Томск, ТПУ, 23–25 ноября 2010 г. II Форум молодых учёных СФО 2010. 11 с.
3. Вавилова О.С., Яшин Ю.П. Формулы Френеля – теория отражения. 2003 (см. ЭП). URL: http://lms.physics.spbstu.ru/pluginfile.php/2659/mod_resource/content/1/Lab_3_05_Phys.pdf
4. Продукция компании RoyalSoverign Электронный ресурс URL: <http://www.tipografia.com.ua/f/RS//> (Дата обращения 18.07.2012 г.)
5. RED ROCK ENERGY. Solar Power HelioStat Arrays. URL: www.redrok.com (Дата обращения 10.08.2012 г.)
6. Natural Resources Canada. Программный пакет RETScreen. URL: www.retscreen.net (Дата обращения 02.09.2012 г.)
7. Лаборатория климатологии атмосферного состава. URL: lor.iao.ru (Дата обращения 14.09.2012 г.)
8. Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов. URL: www.niipp.ru (Дата обращения 25.12.2012 г.)
9. ПКФ Прогрессивные энерготехнологии URL: energoteh.pulscen.ru (Дата обращения 25.01.2013 г.)

*Для сравнения: стоимость систем слежения ED-1500 компании «ПКФ. Прогрессивные энерготехнологии» (г. Челябинск) составляет 250 тыс. руб [9].



Александр Петрусёв – сейчас учится в Энергетическом институте НИ ТПУ. Живёт с родителями и младшей сестрёнкой. Продолжает заниматься научной работой, планирует реализовать свои проекты в производство. Нравятся больше всего математика и физика. Любит бегать на длинные дистанции и смотреть профессиональный бокс.



Алексей Васильевич Юрченко – д. т. н., профессор кафедры ИИТ НИ ТПУ. Окончил НИ ТПУ в 1996 г. по специальности «Радиофизика и электроника». Лауреат Томской области в сфере образования, науки, здравоохранения и культуры. Счастливый отец двоих детей.

Настройка спутниковой антенны

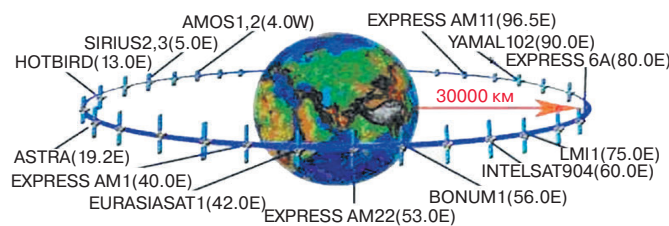


Предложен способ самостоятельной настройки спутниковой антенны, составлена программа в среде **Lazarus**.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, спутниковая антенна, спутниковое телевидение



- Выполнила ученица 11-го класса **УМАНСКАЯ СВЕТЛАНА**
aumanskaya.svetlana96@mail.ru
(МОУ лицей № 22,
г. Воскресенск, Московская обл.).
- Руководитель: учитель математики **Т.В. Порхунова**
ptv_work@list.ru



Группировка геостационарных спутников

Цели проекта: установить, как и где лучше расположить антенну для получения наибольшего сигнала, выяснить, что влияет на его качество.

Задачи проекта: рассчитать углы места и азимута с целью дальнейших расчётов по выявлению удобного месторасположения спутниковой антенны; на конкретном примере рассмотреть, как и куда установить антенну (а именно на примере двух домов по ул. Менделеева в моём городе).

Для выбора места установки антенны необходимо руководствоваться определёнными правилами. Все спутники расположены на одной геостационарной экваториальной орбите. Соответственно либо ваши окна должны выходить на южную сторону, либо спутниковая антенна должна устанавливаться на крыше здания. При этом вам нужно проверить, есть ли какие-либо препятствия (чаще всего это дома или деревья) на линии, соединяющей антенну и спутник. Нельзя устанавливать антенну в застеклённой лоджии, так как стекло поглощает электромагнитные волны гигагерцевого диапазона. Чтобы более точно определиться, нужно рассчитать угол места F и азимут A .

История развития спутникового телевидения

В 1977 г. был принят Международный план спутникового ТВ-вещания [http://nik-sat.pp.ua/index.php/sat-tv]. В нём были указаны позиции спутников

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131712, рекомендована оргкомитетом регионального Московского областного этапа конкурса) и отмечена дипломом Лауреата в секции «Астрономия и физика атмосферы», а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и компьютерная программа даны ЭП. – Ред.

на геостационарной орбите, частотные каналы, зоны обслуживания, уровни сигналов и прочие характеристики. С помощью спутников должны были передаваться пять национальных программ в каждой стране. Однако технических средств для реализации этого плана не было. Когда же они появились, в большинстве развитых стран была создана наземная передающая сеть, обеспечивающая приём 2–4 национальных программ. Потребности в дальнейшем развитии этой сети не было, поэтому не было смысла в реализации плана с целью только национального вещания.

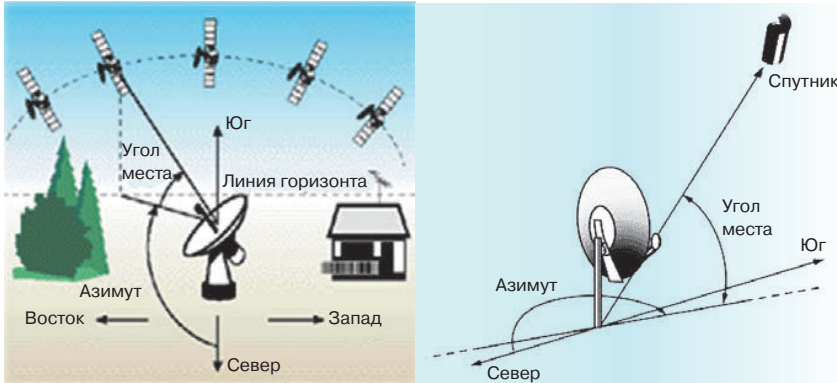
Примерно в это же время начал расти интерес к межнациональным программам с узкой целевой аудиторией (для детей, домохозяек, любителей животных, музыки или спорта). Наиболее подходящими для этого оказались именно спутниковые каналы в сочетании с многоканальными наземными распределительными сетями.

В настоящее время спутниковое телевидение быстро развивается, число каналов, а соответственно и информационных программ, увеличивается. Так как развитие сети кабельного телевидения в районах с преимущественно малоэтажной городской застройкой экономически невыгодно, а число обычных телеканалов ограничено, то установка спутниковых антенн для частного пользования является перспективным направлением развития сети телевидения.

Расчёт угла места и азимута

Угол места – это угол, на который отклоняется от горизонтали линия прямой видимости на спутник, рассчитывается по формуле [http://spacegrad.ru/taxonomy/term/3/0]:

$$F = \arctg \left(\frac{\cos(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot \cos \varphi - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2(\gamma_2 - \gamma_1) \cdot \cos^2 \varphi}} \right),$$



К определению угла места и азимута

где γ_1 – долгота спутника, γ_2 – долгота места приёма, φ – широта места приёма.

Азимут – это угол между направлением на север и направлением на спутник, рассчитывается по формуле [http://spacegrad.ru/taxonomy/term/3/0]:

$$A = 180^\circ + \arctg \frac{\text{tg}(\gamma_2 - \gamma_1)}{\sin \varphi}$$

Расчёт угла места и азимута в г. Воскресенске, около дома № 1 по ул. Менделеева (55° 19' с. ш.; 38° 41' в. д.; местоположение спутника *Eutelsat W4* 36° в. д.):

$$F = \arctg \left(\frac{\cos(38^\circ 41' - 36^\circ) \cdot \cos(55^\circ 19') - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2(38^\circ 41' - 36^\circ) \cdot \cos^2(55^\circ 19')}} \right);$$

$$F = \arctg \left(\frac{0,9989 \cdot 0,569 - 0,151}{\sqrt{1 - 0,9978 \cdot 0,3238}} \right);$$

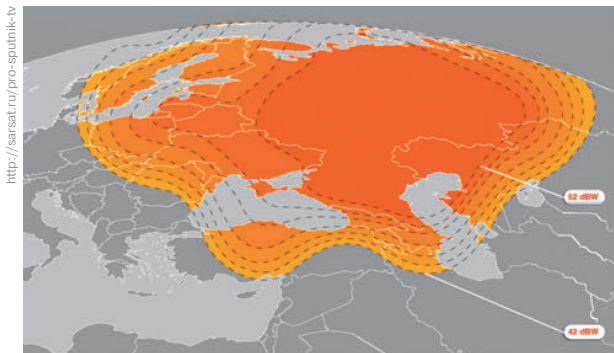
$$F = \arctg 0,5073; \quad F = 26^\circ 54'$$

$$A = 180^\circ + \arctg \left(\frac{\text{tg}(38^\circ 41' - 36^\circ)}{\sin(55^\circ 19')} \right);$$

$$A = 180^\circ + \arctg \left(\frac{\text{tg}(38^\circ 41' - 36^\circ)}{\sin(55^\circ 19')} \right);$$

$$A = 180^\circ + \arctg 0,056999;$$

$$A = 180^\circ + 3^\circ 26' = 183^\circ 26'$$



Зона покрытия спутника *Eutelsat W4/W7 36° East*

Спутник *W4* был выведен на орбиту в мае 2000 г. Это четвёртый аппарат серии, построенной для *Eutelsat* фирмой *Alcatel Space*. Российский луч спутника *Eutelsat W4* обеспечивает покрытие Европейской части России, стран Балтии, Белоруссии и Украины, а также стран СНГ и Восточной Европы. Высокая излучаемая мощность 19 транспондеров российского луча позволяет организовать вещание на абонентские тарелки малого (40–60 см) диаметра.

На территории, покрываемой российскими лучами спутников *Eutelsat W4* и *Eutelsat W7* (европейская часть России и Урал), проживает около 80% населения России. Два крупнейших российских оператора спутникового ТВ (НТВ-ПЛЮС и Триколор-ТВ) используют именно эту позицию для вещания своих пакетов. Сегодня уже около 12 млн домохозяйств принимают сигнал из точки 36° в.д. непосредственно на домашние спутниковые тарелки, и это число быстро растёт. Помимо этого ещё около 12 млн домохозяйств-абонентов кабельных сетей смотрят телеканалы, которые доставляются до головных станций кабельных операторов [http://medialegend.ru/36/].

Федеральное государственное унитарное предприятие «Космическая связь» (ГПКС), российский государственный оператор спутниковой связи и компания *Eutelsat Communications* объявили о подписании Меморандума о взаимопонимании, который предусматривает запуск в 2015 г. нового спутника в орбитальную позицию 36° в. д. Новый космический аппарат будет оптимизировать пропускную способность группировки спутников и обеспечит дополнительные ресурсы как для России, так и для Европы. Он позволит предоставлять вещательные и мультимедийные услуги в пределах Европейской части России вплоть до Урала. Финансирование нового спутника обеспечит компания *Eutelsat*, а его запуск будет произведён в рамках текущей Федеральной космической программы России на 2006–2015 гг. Управление на орбите будет осуществляться ГПКС из своего центра космической связи «Дубна».

Возможные препятствия

Пусть в направлении на спутник есть препятствие – пятиэтажный дом. Необходимо убедиться в том, что линия антенна-спутник проходит выше

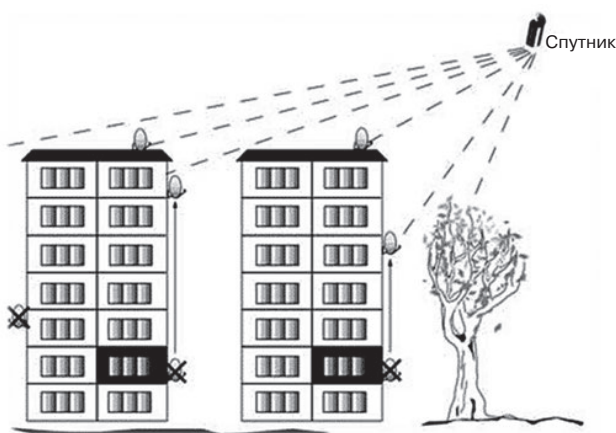


препятствия, в противном случае это может значительно ухудшить приём сигнала. Расстояние до препятствия можно найти по карте, используя масштаб. Пусть расстояние до препятствия 20 м, высота препятствия 18 м, угол равен 27° , X – максимальная высота препятствия, которое не мешает прохождению сигнала при установке антенны на земле.

Решение. Примем гипотенузу прямоугольного треугольника (направление на спутник) за Y . Тогда:

$$\cos 27^\circ = \frac{20}{Y} \Rightarrow Y = \frac{20}{\cos 27^\circ} \Rightarrow Y = \frac{20}{0,891} = 22,45 \text{ (м)};$$

$$X = \sqrt{(22,45)^2 - 18^2} \Rightarrow X = \sqrt{504,0025 - 324} \Rightarrow X \approx 13,4 \text{ (м)}.$$



В данном случае высота препятствия слишком велика, оно будет мешать прохождению сигнала при установке антенны на земле – антенну надо поднимать.

Автоматический расчёт угла места и азимута для настройки спутниковой антенны про-

водился с помощью программы **Lazarus 1.04** (см. ЭП. – Ред.).

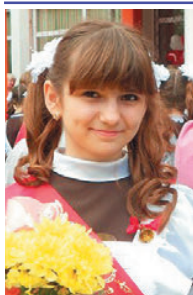
Используя мой проект на уроках физики и математики, можно научиться без посторонней помощи настраивать спутниковую антенну.

Выводы

Мне удалось достичь поставленных целей. Математика играет очень важную роль в нашей жизни. Мы постоянно сталкиваемся с необходимостью производить какие-то расчёты. Спутниковые антенны есть практически в каждом доме, но правильно расположить их без математических расчётов и измерений невозможно.

Литература

1. Колмогоров А.Н., Абрамов А.М., Дудницын Ю.П. и др. Алгебра и начала анализа. 10–11 класс: учебник для общеобразоват. учреждений. /Под ред. А.Н. Колмогорова. М.: Просвещение, 2004.
2. Никольский С.М., Потапов М.К., Решетников Н.Н., Шевкин А.В. Алгебра и начала анализа: 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений./ 5-е изд., доп. М.: Просвещение, 2006.
3. Расчёт угла поворота спутниковой антенны. URL: <http://www.al-soft.com/saa/satinfo-ru.shtml> SAT (Дата обращения: 24.11.2012 г.)
4. Выбор места установки спутниковой антенны URL: <http://www.spektr-tv.ru/articles.php> (Дата обращения: 13.12.2012 г.)
5. Установка и настройка спутниковой антенны URL: http://www.technosat.ru/topic_406c3839ac5f5/art_4066de07a88b8 (Дата обращения: 20.12.2012 г.)
6. *Eutelsat W4* URL: <http://www.medialegend.ru/satellites/w4/> (Дата обращения: 04.01.2013 г.)



Уманская Светлана – сейчас учится в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Школа была буквально вторым домом. Вспоминаются с благодарностью и учитель русского языка и литературы, развивавшая в детях чувство прекрасного, чтобы будущие инженеры не стали «сухарями», и учитель физики с суровыми зачётами, и учитель математики, всячески помогавшая с проектами. И, несомненно, поддержка семьи. Больше всего любит математику, инженерную графику и анатомию (спецпредмет на факультете БМТ). Хобби: рисование, спорт.



Порхунова Татьяна Вячеславовна – учитель математики высшей квалификационной категории, окончила Коломенский ГПИ в 1982 г. Педагогическое кредо: сто раз любовь, сто раз терпение, сто раз прощение! Ученики неоднократно побеждали в районных конкурсах научно-исследовательских работ, международных конкурсах «Математика и проектирование», постоянно участвуют в конкурсах имени В.И. Вернадского. Имеет Грамоту МОиН РФ и благодарность Минобр Московской области. Семья: мама – пенсионерка, взрослый сын, к. т. н. Любит готовить, выращивать цветы на приусадебном участке.

Проблема учёта автомобильного топлива на автозаправках



Описано экспериментальное учебное исследование по физике, посвящённое поиску способов сокращения экономических потерь, возникающих при недостатках автомобильного топлива на автозаправках. Исследовано тепловое расширение бензина и дизельного топлива, а также влияние солнечного излучения на суточные колебания температур в цистернах. Предложена компьютерная программа для учёта нефтепродуктов на автозаправках в цилиндрических цистернах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательский проект, тепловое расширение, автомобильное топливо, недостатки на автозаправках



• Выполнили ученицы 10-го класса:
САРАНЦЕВА СОФЬЯ
 sofiasar@yandex.ru,
БИБЕНИНА ОЛЬГА
 bibenina1998@mail.ru
 (МОУ лицей № 8: «Олимпия»,
 г. Волгоград).
 • Руководитель: учитель физики
Э.В. Марчук
 edik251282@yandex.ru, к. ф.-м. н.

На большинстве сельских автозаправок (рис. 1), не имеющих хорошего технического оснащения, учёт бензина в цистернах производится в единицах объёма, а физические параметры измеряются и считываются вручную. При этом возникают значительные (сотни литров в месяц) недостатки топлива [1, 2], которые зачастую связывают с его испарением или незаконным сливом из цистерн. Для покрытия недостатков бензин при отпуске товара не доливают, завышают его цену.

Как показано в [3], ежемесячно из-за испаряемости с каждой тонны, например, бензина, теряется всего от 0,12 до 3 кг. С целью выявления действительных причин недостатков нефтепродуктов на автозаправочных станциях проведено исследование теплового расширения различных видов автомобильного топлива с использованием экспериментальной установки (рис. 2).

Исследуемое топливо заливали в шприц, на штуцер которого предварительно надевали прозрачную трубочку. После этого шприц закрепляли вертикально, погружали в алюминиевый стакан с водой и подогревали на электроплитке с закрытой (в целях безопасности) спиралью. Для обеспечения как можно более равномерного нагрева топлива, воду в стакане непрерывно перемешивали. Температу-



Рис. 1. Сельская автозаправочная станция

ру топлива внутри шприца измеряли с помощью термометра, подключённого к мультиметру. Так как внутренний диаметр трубочки мал, то даже незначительное расширение исследуемого топлива при нагревании приводило к значительному изменению высоты его уровня в трубочке. По изменению уровня жидкости ($x - x_0$) определяли относительное изменение её объёма при нагревании по формуле:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\pi d^2}{4V_0} (x - x_0), \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр трубочки, V_0 – начальный объём топлива, соответствующий уровню x_0 .

На рис. 2 представлены графики температурной зависимости расширения (относительного изменения объёма) дизельного топлива и бензина АИ-80. Видно, что:

– в диапазоне температур от 20 до 50 °С бензин расширяется на 3% от первоначального объёма, в то время как дизельное топливо – только на 1–1,2%;

– при температуре выше 45 °С дизельное топливо практически не расширяется из-за более тяжёлого фракционного состава по сравнению с бензином. Дизтопливо содержит фракции с большей температурой кипения, увеличивающими вязкость [4], а, следовательно, силы молекулярного притяжения, и, как следствие, уменьшающими коэффициент объёмного расширения. Таким образом, при учёте нефтепродуктов наибольших ошибок, вызванных тепловым расширением, следует ожидать именно в

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131246) и отмечена Дипломом лауреата, а также грамотой «За проблемность исследования». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

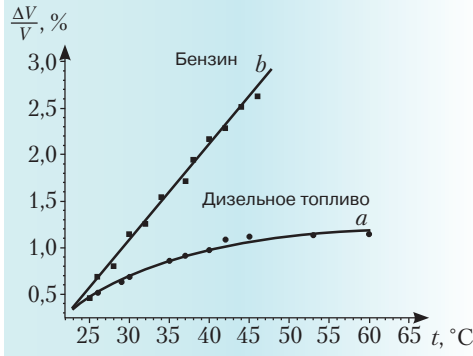
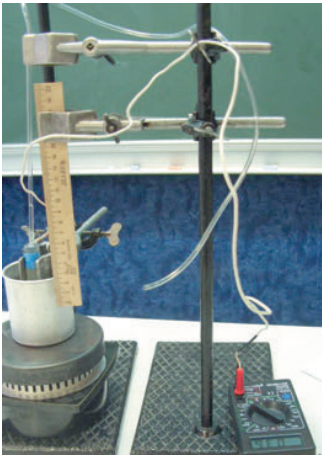


Рис. 2. Общий вид установки для определения температурного изменения объёма жидкости и кривые этой зависимости для бензина и дизельного топлива

случае бензина, что согласуется с выводами [1–3]. Расширение бензина на 3% может вызвать ошибку измерения его объёма до 45 л/т.

На сельской автозаправке цистерны стоят под открытым небом, следовательно, нагреваются солнечным излучением. Влияние солнечного излучения на колебания температуры автомобильного топлива в цистерне изучено на модели цистерны – алюминиевой трубке, закрытой с торцов резиновыми пробками (рис. 3). Температура топлива внутри модели измерялась с помощью термопары, а температура наружного воздуха – спиртовым термометром с зонтиком. Солнце моделировалось ИК-лампой, так как максимум тепловой энергии солнечного излучения приходится на ИК-диапазон [5]. Графики зависимости температуры модели цистерны и температуры наружного воздуха от времени представлены на рис. 4 (ИК-облучение длилось 10 мин).

Видно, что при облучении модели температура внутри неё значительно отличается от температуры окружающего воздуха. Нефтепродукты дольше нагреваются, но и дольше остывают, что связано с их большей теплоёмкостью и с отражательной способностью цистерны. При этом и разность температур, и время нагревания в зна-

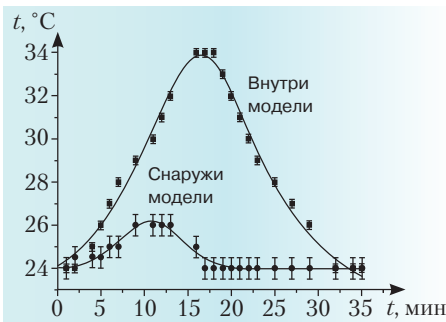


Рис. 3. Модельная установка для определения влияния солнечного излучения на температуру топлива в цистерне и кривые изменения температуры внутри модели цистерны с топливом и снаружи после 10-мин ИК-облучения

чительной степени зависят от геометрических параметров цистерны, теплопроводности материала, из которого она изготовлена, степени её заполнения нефтепродуктом, коэффициентом отражения, конвекцией окружающего воздуха и прочим. Тем не менее эксперимент убедительно показывает, что объём не может являться мерой учёта топлива в цистернах, находящихся под воздействием солнечного излучения. Так, ошибка в измерении температуры бензина на 10 °С приводит к ошибке

определения его объёма до 17 л/т.

Исходя из проведённых экспериментов и численных оценок, можно сделать вывод, что значительные ошибки учёта нефтепродуктов на автозаправочных станциях могут возникать в результате неверной методики учёта, а именно, в результате пренебрежения колебаниями температуры внутри цистерны и значительным отклонением температуры содержимого цистерны от температуры окружающего воздуха, а также использованием объёма в качестве учётного параметра. Для уменьшения ошибок учёта необходимо измерять нефтепродукты в единицах массы, не зависящей от температуры, а также контролировать температуру топлива внутри цистерны.

Мы написали компьютерную программу (на языке *Basic*, рис. 4, подробнее см. ЭП), позволяющую производить учёт бензина в цилиндрической цистерне. Вводимые параметры: длина и диаметр цистерны, уровень топлива (измеряется метрштоком по методике, принятой на большинстве автозаправок [6]), температура бензина в цистерне и его плотность при 20 °С согласно накладной при поставке. Программа позволяет рассчитать плотность бензина при данной температуре с учё-

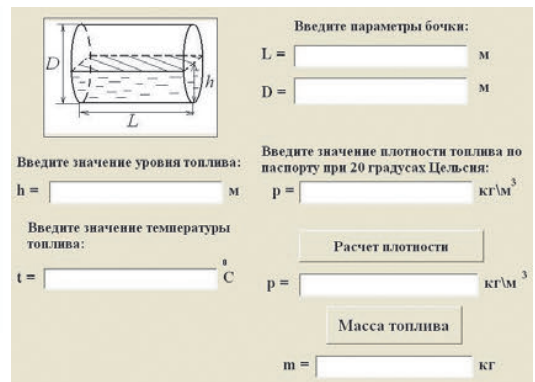


Рис. 4. Скриншот программы для учёта количества бензина в цилиндрических цистернах на автозаправках

том температурных поправок [6], а также его объём V в цистерне для различных соотношений её диаметра D и высоты уровня топлива h в цистерне по формулам:

$$V = \left(\frac{D^2}{4} \arctg \left(\frac{2\sqrt{Dh-h^2}}{D-2h} \right) - \sqrt{Dh-h^2} \left(\frac{D}{2} - h \right) \right) L$$

при $h < \frac{D}{2}$; (2)

$$V = \frac{\pi D^2}{8} \cdot L \quad \text{при } h = \frac{D}{2}; \quad (3)$$

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{2} - \frac{D^2}{2} \arctg \left(\frac{2\sqrt{Dh-h^2}}{2h-D} \right) - \sqrt{Dh-h^2} (2h-D) \right) \cdot \frac{L}{2}$$

при $h > \frac{D}{2}$; (4)

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \quad \text{при } h = D. \quad (5)$$

Вычислить массу бензина по значениям плотности и объёма не составляет труда: $m = \rho V$.

Литература

1. Учёт ГСМ и их естественной убыли [Электронный ресурс]. // Гарант. Информационно-правовой портал [сайт]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/editions/vesti/411571/8/> (Дата обращения 10.09.2012 г.)

2. Как победить недостои и недоливы. «Открытое письмо» Премьер-министру Российской Федерации М. Фрадкову [Текст] // Энергетика и промышленность России. № 9 (73). 2006. С. 1.

3. Учитываем естественные потери нефтепродуктов, выявленные при инвентаризации [Электронный ресурс]. // Онлайн газета «Адвокат консалтинг» [сайт]. Режим доступа: http://www.advocat-cons.info/engine/print.php?newsid=4915&news_page=1 (Дата обращения 20.10.2012 г.)

4. Вязкость светлых нефтепродуктов и дизельных топлив [Электронный ресурс] // Tehnoinfo.ru [сайт]. Режим доступа: <http://www.tehnoinfo.ru/plastichnostnefteproduktov/24.html> (Дата обращения 15.09.2012 г.)

5. Картазаев В.А. Почему мы видим в «видимом» диапазоне? [Текст] // Фізика: проблеми викладання. 1997. № 9. С. 68–77.

6. Приборы для измерения уровня жидкости [Электронный ресурс] // Стройпортал [сайт]. Режим доступа: <http://escooil.su/1777.html> (Дата обращения 15.03.2013 г.)

7. Плотность нефтепродуктов [Электронный ресурс] // Любые нефтепродукты [сайт]. Режим доступа: <http://www.petrolmarket.ru/1.htm> (Дата обращения 29.11.2012 г.)



Софья Саранцева – сейчас учится в 10-м классе химико-биологического профиля. Увлекается физикой и химией. В творческой деятельности её увлекает сам процесс исследования, познания окружающего мира. Намерена и дальше продолжать углублённое изучение физики и химии и принимать активное участие в научных конкурсах. В свободное время увлекается чтением.



Ольга Бибенина – как и мечтала, поступила в Волгоградский медико-экологический колледж. Интересуется химией, фармацевтикой, точными науками. Свободное время любит проводить с друзьями. В дальнейшем планирует поступить в Волгоградскую медицинскую академию.



Эдуард Викторович Марчук – учитель физики высшей квалификационной категории, к. ф.-м. н. Окончил физический факультет Волгоградского ГПУ в 2004 г. В 2008 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Совмещает работу в лицее с преподаванием физики в Волгоградском государственном социально-педагогическом университете (доцент кафедры общей физики) и с дистанционным обучением детей с ограниченными возможностями здоровья (ЦДО МОУ лицея № 8 «Олимпия»). Удостоен премии губернатора Волгоградской области (2010) и премии Президента (2011). Четырёхкратный победитель Всероссийского конкурса молодых учителей физики, математики, химии и биологии фонда «Династия» в номинации «Молодой учитель» с присуждением гранта на развитие творческой педагогической деятельности. Авторский сайт: www.lyceum8.ru/marchuk.

Универсальный прибор гидростатического типа для измерения массы тел, плотности жидкостей и твёрдых тел



Описана разработка универсального прибора, позволяющего измерять массу и плотность твёрдых тел, а также плотность жидкостей. Прибор работает на законе Архимеда. Исследованы возможные причины систематических ошибок. Показано эффективное применение прибора в лабораторном практикуме. Основные достоинства прибора: универсальность (новизна именно в этом) и простота использования (все прямые измерения делаются простой линейкой).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательско-конструкторский проект, закон Архимеда, условие плавания тел, денсиметр



• Выполнили ученики 8-го класса:
КАБИР СРИТИ
 tk14799@gmail.com,
СОСНОВА ЕЛИЗАВЕТА
 lizavetasosnova@gmail.com
 (НОУ ЦО «Новое образование», г. Москва).
 • Руководитель:
 проф. **В.П. НАЛИВАЙКО**
 nvrvnp@gmail.com, к. ф.-м. н.
 (МТУСИ, НОУ ЦО «Новое образование»)

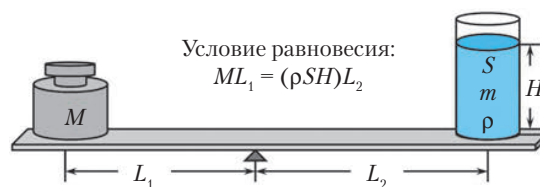


Рис. 1. Условие равновесия

Наше исследование началось с поисков ответа на простой вопрос: как взвесить небольшое птичье пёрышко? Оказывается, для этого потребуется довольно сложный прибор [1–4]. А можно ли разработать способ измерения массы тел, не требующий сложного оборудования? Как самостоятельно изготовить весы с высокой точностью взвешивания? Можно ли приспособить их для измерения плотности веществ? В поисках наиболее простых методик мы отобрали те, в которых процесс определения массы или плотности сводится к измерению простой линейкой. Их можно разделить на две группы:

1. Рычажные весы [5, 6]. Процесс взвешивания или определения плотности жидкости сводится к измерению плеча рычага или уровня жидкости в цилиндре (рис. 1). Такой прибор не позволяет измерить плотность твёрдых тел и неудобен в использовании, так как равновесие в нём не достигается автоматически.

2. Поплавковые весы, основанные на действии архимедовой силы. В работе [7] предложена кон-

струкция весов, изготовленных из обычных пластиковых бутылок. Эти весы наиболее просты в изготовлении и более удобны в использовании, чем рычажные, потому что равновесие достигается автоматически. Однако авторы не рассматривали возможность такой модернизации весов, чтобы с их помощью можно было измерять и плотность веществ.

Цель нашей работы: изготовить простой в использовании универсальный прибор, позволяющий измерять как массу тел, так и плотность – жидкостей, твёрдых тел и сыпучих материалов.

Задачи: • разработать методику измерения массы тел и плотности веществ с помощью универсального прибора • исследовать возможные причины появления систематических ошибок измерений данным методом • провести контрольное тестирование прибора • проанализировать достоинства и недостатки прибора.

1. Устройство и принцип действия прибора

1.1. Измерение массы тел. Прибор изготавливается из трёх прозрачных пластиковых бутылок (рис. 2, а): бутылка-поплавок помещается во внешнюю обрезанную бутылку-стакан, между ними закрепляется направляющий цилиндр, обеспечивающий свободное перемещение поплавка. На поплавке закрепляется чашка весов. В направляющем цилиндре проделываются отверстия для свободного проникновения воды. Поплавок заполняют водой до уровня, где сечение постоянно. Измеряют начальный уровень

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 130539) и отмечена Дипломом победителя, а также грамотой «Лучший доклад». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – *Ред.*

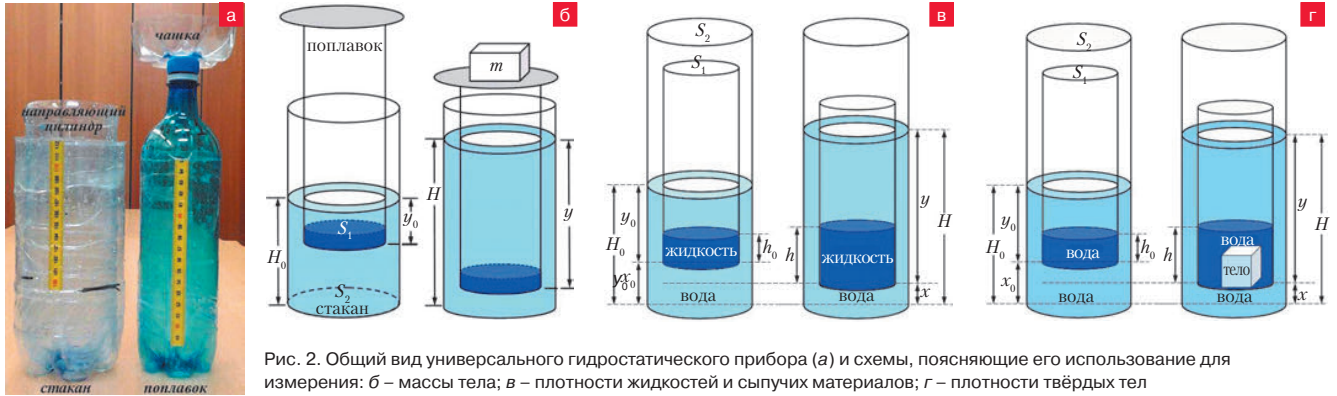


Рис. 2. Общий вид универсального гидростатического прибора (а) и схемы, поясняющие его использование для измерения: б – массы тела; в – плотности жидкостей и сыпучих материалов; г – плотности твёрдых тел

воды в стакане H_0 при глубине погружения поплавка y_0 . Далее на чашку весов кладут груз неизвестной массы m и измеряют конечный уровень воды в стакане H_m при глубине погружения поплавка y (рис. 2, б).

Из закона Архимеда следует:

$$mg = \rho_v g(y - y_0)S_1^* \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, ρ_v – плотность воды, S_1^* – площадь внешнего сечения поплавка, отличающаяся от площади его внутреннего сечения S_1 из-за того, что стенки имеют некоторую толщину.

Из условия несжимаемости жидкости следует:

$$(y - y_0)S_1^* = (H_m - H_0)S_2 \quad (2)$$

где S_2 – внутреннее сечение стакана.

Поместив на чашку весов груз известной массы M , рассчитаем цену деления весов:

$$C = \frac{M}{H_M - H_0} = \rho_v S_2 \quad (\text{г} / \text{мм}^3) \quad (3)$$

Объединяя (1)–(3), получаем формулу для расчёта массы тела:

$$m = C(H_m - H_0) \quad (\text{г}) \quad (4)$$

Цена деления весов зависит от соотношения диаметров стакана и поплавка, подбор которых ограничен ассортиментом выпускаемых пластиковых бутылок с постоянным сечением по высоте. Максимальный предел измерения весов зависит от разности максимально допустимого и начального уровня воды. Мы сконструировали два экземпляра весов из бутылок с параметрами:

- 1) $C_1 = 7,6 \text{ г/мм}$, $m = (10 \dots 450) \text{ г}$;
- 2) $C_2 = 7,2 \text{ г/мм}$, $m = (10 \dots 600) \text{ г}$.

1.2. Измерение плотности жидкостей и сыпучих материалов. Удалив чашку весов, мы получаем готовый к использованию денсиметр (рис. 2, в). Только теперь помимо шкалы на стакане понадобится и шкала на поплавке. Жидкостью неизвестной плотности ρ или сыпучим материалом заполняем поплавок до уровня h_0 , начиная с которого сечение поплавка постоянно. Поплавок помещаем в стакан с водой, из-

меряем начальную глубину погружения y_0 . Добавляем жидкость в поплавок до уровня h , измеряем новый уровень погружения поплавка y . Вес добавленной в поплавок жидкости равен весу дополнительно вытесненной поплавком воды в стакане:

$$\rho g(h - h_0)S_1 = \rho_v g(y - y_0)S_1^* \quad (5)$$

Используя условие несжимаемости жидкости (2), получаем расчётную формулу плотности неизвестной жидкости:

$$\rho = C \left(\frac{H - H_0}{h - h_0} \right) \quad (\text{г} / \text{см}^3) \quad (6)$$

Заливая и в поплавок, и в стакан воду, мы рассчитали цену деления денсиметра:

$$C = \left(\frac{h_v - h_0}{H - H_0} \right) \rho_v = \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \rho_v \quad (\text{г} / \text{см}^3) \quad (7)$$

1.3. Измерение плотности твёрдых тел. Поплавок заполняем водой до уровня h_0 (рис. 2, з), помещаем в стакан с водой, и измеряем начальный уровень воды в стакане H_0 при начальной глубине погружения поплавка y_0 . В поплавок помещаем твёрдое тело неизвестной плотности ρ_m , измеряем уровень воды h в поплавке и установившийся уровень воды в стакане H при новой глубине погружения поплавка y . Учитывая, что объём тела равен $(h - h_0)S_1$, приравниваем его вес и вес дополнительно вытесненной поплавком воды в стакане:

$$\rho_m g(h - h_0)S_1 = \rho_v g(y - y_0)S_1^* \quad (8)$$

Поскольку формула (8) совпадает с (5), то плотность твёрдого тела можно рассчитать по формуле (6).

Формулы (1), (5) и (8) содержат выражение для гидростатического давления столба воды $p = \rho_v gH$, мы и назвали сконструированный универсальный прибор гидростатическим.

1.4. Измерение массы очень лёгких тел. Все изготовленные нами весы из бутылок имеют цену деления в несколько *граммов на миллиметр*. Для уменьшения цены деления весов, мы в качестве поплавка использовали зубочистку (рис. 3). Чтобы она плавала верти-



Рис. 3. Общий вид гидростатического прибора для измерения массы очень лёгких тел (а) и поясняющая схема (б)

кально, мы закрепили её в пробке, а снизу воткнули гвоздики. Глубину погружения поплавка отмечали по шкале на стакане. Измерив начальную глубину погружения H_0 поплавка и глубину погружения H_m поплавка с закреплённым пёрышком массой m , получили формулу для расчёта массы тела:

$$m = C \cdot (H_m \cdot H_0) \text{ (мг)}, \quad (9)$$

где цена деления весов:

$$C = \rho_v \cdot \frac{\pi d^2}{4} \text{ (мг / мм)}. \quad (10)$$

Нам удалось уменьшить цену деления до 5,4 мг на 1 мм линейки и взвесить пёрышко. Этот же поплавок можно использовать и в качестве ареометра для измерения плотности жидкости.

2. Анализ возможных систематических ошибок

Причины возникновения систематических ошибок измерений обусловлены дефектами приборов, ошибками в методике расчетов и другими [8]. Их довольно трудно обнаружить и учесть. Они приводят либо к завышению, либо к занижению истинных результатов. Систематические ошибки могут быть обусловлены наличием не учтённых нами сил поверхностного натяжения воды и силы трения поплавка о стенки направляющего цилиндра, а также дефектами прибора.

2.1. Влияние силы поверхностного натяжения воды. Сила поверхностного натяжения [9], действующая на поплавок, постоянна по модулю и направлена постоянно в одну сторону (либо вертикально вниз, либо вертикально вверх, в зависимости от того, смачивает вода поверхность поплавка или нет). А поскольку предлагаемая методика предполагает при каждом взвешивании проводить два измерения уровня жидкости и находить их разность, то влияние этих сил на конечный результат взаимно компенсируется.

2.2. Влияние силы трения. Направление силы трения покоя, действующей на поплавок в момент установления равновесия, зависит от того, в каком направлении двигался поплавок к положению равновесия. Если он опускался, то сила трения скольжения была направлена вверх, как и сила трения

покоя в момент остановки. Если поплавок после размещения груза принудительно погрузить немного ниже нового уровня равновесия, то он начнёт всплывать, и действующая на него сила трения скольжения будет направлена вниз, как и сила трения покоя после остановки поплавка. Следовательно, проведя серию измерений массы тела и изменяя начальное направление движения к положению равновесия, можно перевести систематическую ошибку в разряд случайной и минимизировать её, увеличив количество измерений. Именно по этой методике мы определяли цену деления приборов и проводили последующие эксперименты с ними.

2.3. Конструкционные особенности прибора. Для расчёта силы Архимеда обычно измеряют глубину погружения поплавка по закреплённой на нём шкале. В нашем приборе поплавок находится в стакане с водой, а между ними – направляющий цилиндр. Вследствие этого шкала поплавка плохо различима. Мы показали, что с учётом несжимаемости жидкости, от измерений глубин погружения поплавка y и y_0 по шкале поплавка можно перейти к измерениям уровня воды в стакане H и H_0 по шкале снаружи прибора. Это накладывает ограничения на рабочую часть прибора: поплавок и стакан должны быть постоянного сечения по высоте. Именно поэтому в начале измерений поплавок минимально заполняется водой до уровня, с которого начинается постоянное сечение сосуда.

3. Тестирование прибора

Подробные результаты тестирования прибора приведены на сайте [10]. Измерения проводились с несколькими вариантами приборов (с разной ценой деления). Результаты контролировались на учебных рычажных весах и сопоставлялись с табличными данными плотностей веществ. Погрешность измерений массы тел, приведённых в табл. 1–3 (см. ЭП), не превышает 5%.

Результаты измерений плотности подсолнечного масла двумя денсиметрами с различной ценой деления (табл. 4, 5) совпадают в пределах погрешности эксперимента ($0,916 \pm 0,008$ и $0,920 \pm 0,010$ г/см³) и хорошо согласуются с диапазоном плотности коммерческого подсолнечного масла [11]: $0,924 \dots 0,927$ г/см³. Результаты измерений плотности стальных винтиков (табл. 6) согласуются с табличными значениями.

Используя зависимость плотности картофеля от содержания крахмала в клубнях [12], мы проградуировали прибор в процентах содержания крахмала. В зависимости от содержания крахмала можно дать рекомендации по использованию данного картофеля в кулинарии.

По разработанной методике проведены экспериментальные уроки в 5–8 классах. Проанализировав результаты экспериментов, а также возможность использования прибора в лабораторном практикуме, мы сформулировали достоинства и недостатки прибора.

Выводы

1. Разработана методика и изготовлен **универсальный** прибор гидростатического типа для измерения массы тел и плотности жидкостей, сыпучих материалов и твёрдых тел.

2. Силы поверхностного натяжения при измерениях предлагаемым способом не приводят к систематической ошибке при любом смачивании поплавка жидкостью.

3. Разработанный метод измерений позволяет минимизировать случайную погрешность, обусловленную наличием силы трения.

4. Результаты тестирования прибора совпадают в пределах погрешности эксперимента с контрольными результатами и согласуются с опубликованными данными.

5. Продемонстрирована эффективность использования прибора в лабораторном практикуме.

6. Основные достоинства прибора гидростатического типа: простота в изготовлении и в использовании; малая относительная погрешность измерений (порядка нескольких процентов); универсальность: измерение и массы тел, и плотности жидкостей, и сыпучих материалов проводится одним прибором с помощью линейки.

7. Основные недостатки: относительно узкий диапазон измерений. Для его увеличения необходимо увеличивать высоту используемых ёмкостей, например, путём герметичного соединения нескольких бутылок. Это может привести к снижению точности

прибора, поскольку трудно соблюсти одинаковость сечения по всей высоте.

Литература

1. История весов. <http://www.istorya.ru/articles/vesy.php>.
2. Плотность и методы её определения. http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_2876.html
3. Кивилис С.С. Техника измерения плотности жидкостей и твёрдых тел. М., 1959.
4. Глыбин И.П. Измерение массы, объёма и плотности. М., 1972.
5. Фурдик А.В. Измерение плотности жидкости с помощью ученической линейки. XVIII Всероссийские чтения им. В.И. Вернадского. 2011.
6. Определение плотности жидкости (7 января 2009) <http://www.afportal.ru/answers/57>
7. Весы из пластиковых бутылок <http://www.afterwork.com.ua/vesy-iz-plastikovyx-butyllok.html>
8. <http://schools.keldysh.ru/sch764/files/pogr.htm>
9. Бутиков Е.И. и др. Строение вещества. М.: ФМЛ, 2001. 336 с.
10. Соснова Е.А., Кабир С.Е. LiTiN – универсальный гидростатический денсиметр для измерения массы тел, плотности жидкостей, сыпучих материалов и твёрдых тел <https://sites.google.com/site/ltdmeter/home>
11. Подсолнечное масло. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3431.html>
12. Биологическая ценность картофеля <http://chel-potatoes.ru/content/view/192/25/>.



Владимир Павлович Наливайко – к. ф.-м. н., проф. Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). После окончания аспирантуры физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова работал в Институте механики МГУ (научный сотрудник). С 1987 г. преподаёт в МТУСИ и, по совместительству, в физматклассах лицея № 1550, а с 1997 г. – и в школе «Новое образование». Соросовский лауреат. Более 20 учеников удостоены звания победителей на всероссийских и международных конкурсах исследовательских работ учащихся. Двое учеников стали лауреатами премии Президента России в поддержку талантливой молодёжи.



Лиза Соснова – участница школьного клуба «Игры разума». Учебно-научная исследовательская деятельность – один из приоритетов Елизаветы. Другие – это иностранные языки (английский и немецкий), танцы, музыка и самосовершенствование. Жизненное кредо: думай, трудись – и всё получится! Мечта о будущем – творчество во всех его проявлениях, возможно, научно-техническое.

Тина Кабир – сейчас учится в 9-м классе. Увлекается изучением иностранных языков (английский и французский), музыкой, танцами. В будущем мечтает стать врачом. Любимые предметы: физика, биология, химия, английский язык.

**Дополнение**

В 2013/2014 уч. г. Лиза и Тина продолжили работу над проектом. Прибор был принципиально модифицирован и создан опытный образец промышленного изготовления, позволяющий с точностью, достаточной для учебного оборудования, измерять массу, объём, плотности жидкостей и твёрдых тел, а также атмосферное давление. Теоретически обоснована возможность измерения этим прибором плотности и температуры атмосферы и газа в сосуде. С этими результатами Лиза и Тина вошли в пятёрку международных финалистов конкурса *Google Science Fair* в своей возрастной категории*. В ноябре 2013 г. они заняли первые места на конкурсе инновационных предпринимательских проектов школьников (КИП-ШК-2013), который ежегодно проводится в МГУ им. Н.Э. Баумана, и в городском конкурсе инженерно-технических проектов детей и молодёжи до 18 лет «Я изобретатель», который впервые проводился «Московским центром инноваций и научно-технического творчества».

Подробнее см. на с. 60–61, а также на сайтах проекта <https://sites.google.com/site/ltdmeter/>; <https://sites.google.com/site/2013litin>

*В конкурсе *Google Science Fair* (https://www.google-sciencefair.com/ru_ALL/2013/) участвовали 90 региональных финалистов (из нескольких тысяч участников из 120 стран), из которых выбрали 15 глобальных (международных, по 5 лучших в каждой из трёх возрастных групп) финалистов для участия в очном этапе, состоявшемся в г. Маунтин-Вью (США) в сентябре 2013 г.

Определение прочности полиэтиленовых пакетов

Исследованы некоторые механические свойства полиэтиленовых пакетов разного вида, а также влияние температуры и разных дефектов на их прочность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический исследовательский проект, механическая прочность, полиэтиленовые пакеты



- Выполнили ученики 8-го класса:
ИЛЬИНСКАЯ ДИАНА
ilirita@yandex.ru ,
ГОТОВЦЕВ ВЛАДИСЛАВ
vladgotovcev@mail.ru
(ГБОУСОШ № 546, г. Москва).
- Руководитель: учитель физики
Ю.В. КАЗАКОВА kazako-va546@mail.ru

Цель работы: выяснить, какие полиэтиленовые пакеты являются самыми прочными.

Задачи исследования: ● изучить, каких видов бывают полиэтиленовые пакеты ● изучить теоретические основы механической прочности материалов ● измерить *разрывное усилие* и максимальное абсолютное удлинение образцов пакетов ● рассчитать напряжение (предел пропорциональности), относительное удлинение и модуль Юнга для образцов пакетов (при упругой деформации) ● изучить влияние температуры и дефектов пакетов на их прочность.

Методы исследования: ● изучение литературы по теме ● проведение эксперимента ● анализ полученных результатов.

Виды полиэтиленовых пакетов. Полиэтилен – термопластичный полимер этилена, органическое соединение с длинными молекулами ...—CH₂—CH₂—CH₂—..., где «—» обозначает ковалентные связи между атомами углерода. Различают два вида полиэтилена: ● *полиэтилен высокого давления* (ПЭВД, или *LDPE*, – полиэтилен низкой плотности, получают при температуре 200–260 °С и давлении 150–300 МПа, плотность 0,918–0,930 г/см³, толщина 30–120 мкм, грузоподъёмность пакета до 9 кг) ● *полиэтилен низкого давления* (ПЭНД, или *HDPE*, – полиэтилен высокой плотности, получают

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131134) и отмечена Дипломом I степени, грамотами «Лучшая работа по мнению комиссии учащихся» и «Актуальное исследование». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

при температуре 120–150 °С и давлении 0,1–2 МПа, плотность 0,945–0,970 г/см³, толщина 9–55 мкм, грузоподъёмность пакета до 25 кг).

Толстый на вид пакет зачастую оказывается изготовленным из ПЭВД и рвётся намного быстрее тонких пакетиков из ПЭНД.

Эксперимент. Мы отобрали пакеты 7 типов (все ПЭНД, типа «майка», кроме последнего – ПЭВД, с прорубной ручкой): 1. «Перекрёсток» (перфорированный); 2. «Марианна» (неперфорированный); 3. «Ашан» (неперфорированный); 4. чёрный (перфорированный); 5. красный (перфорированный); 6. зелёный (неперфорированный); 7. «Интеллект-центр» (неперфорированный). Статической нагрузке подвергались одинаковые образцы – вырезанные из пакетов полоски 3 × 2 см. Нас интересовали *модуль упругости, разрывное усилие*, при которой начинается разрушение образца, *максимальное относительное удлинение* образца, а также влияние температуры окружающей среды и наличия дефектов на эти параметры.

Установка для определения модуля Юнга включала в себя штатив, зажимы для образца и грузы. Под нагрузкой образец удлинялся. Изменение длины мы фиксировали при помощи линейки. Затем рассчитывали абсолютное и относительное удлинение



▲ Пакеты



▲ Экспериментальная установка▲

ние. Испытания проводили при разной температуре окружающей среды на образцах с разными видами дефектов (дырка, продольный разрез, поперечный разрез), два образца были испытаны на поперечное растяжение.

Результаты измерений представлены в виде таблиц (приложение 1, см. ЭП) и графиков зависимости $F(\Delta l)$ (приложение 2, см. ЭП). По графикам определяли участки, на которых образцы испытывают упругую деформацию, то есть выполняется закон Гука.

Предельное напряжение, при котором ещё выполняется закон Гука (предел пропорциональности), определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{Lh},$$

где F – внешняя сила (вес груза), L – ширина образца ($2 \cdot 10^{-2}$ м), h – его толщина, м. Относительное удлинение рассчитывали по формуле: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, модуль Юнга – по формуле: $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$.

ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЙ ПАКЕТ «КРЕПЫШКА»

В процессе выполнения исследовательской работы (см. с. 19–21) родилась идея следующего проекта (она была представлена в финале конкурса инновационных предпринимательских проектов школьников «КИП-ШК-2013» в МГТУ им. Н.Э. Баумана, ноябрь 2013 г. см. презентацию в ЭП).

Я выяснила, что по форме ручек пакеты делятся на 3 группы: типа «майка», с прорубной ручкой и с петлевой ручкой, а по способу производства – на ПЭВД (полиэтилен высокого давления низкой плотности) и ПЭНД (полиэтилен низкого давления высокой плотности). Результаты предыдущей работы (толщина образца пакета h , удлинение при максимальной нагрузке: абсолютное Δl и относительное ϵ , максимальное разрывное усилие $F_{\text{разрыв}}$) приведены в таблице.

Пакет	h , мкм	Δl , мм	ϵ , %	$F_{\text{разрыв}}$, Н
«Интеллект-центр»	45	57	190	7
«Ашан»	16	42	140	10
«Перекрёсток»	10	12	40	11
Чёрный	10	70	233	10
Зелёный	9	16	53	6
«Марианна»	12	46	153	9
Красный	10	10	33	10
«Пятёрочка»	10	12	40	13

Лучшими характеристиками (минимальная деформация при наибольшей силе разрыва) обладают пакеты типа «майка»: «Перекрёсток» и «Пятёрочка».

Но у пакетов типа «майка» мы выявили один недостаток, который является причиной образования дырок в днище: они образуются в местах неоднородностей, где находится крепление ручек пакета. По закону Гука, удлинение пакета в местах, где нагрузка приходится на 2 полотна пакета (где только стенки), в 2 раза больше, чем там, где она приходится на 4 полотна (где ручки):

$$\Delta l_2 = \frac{mg}{2k}$$

против

$$\Delta l_4 = \frac{mg}{4k}.$$

Путём опроса 35 респондентов я выяснила, что 74% пользователей жалуются, что полиэтиленовые пакеты рвутся до того, как покупки доносятся до дома. При этом 70% хотели бы использовать пакеты вторично, так как осознают экологические проблемы. При этом они согласны доплатить 1 руб. за надёжный, прочный пакет. 71% опрошенных жалуются на разрывы стенок пакетов (из-за острых углов упаковок) и 41% – на разрывы днища при большой нагрузке.

Учитывая результаты эксперимента, я предложила свою конструкцию пакета под названием «Крепышка». Это пакет типа «майка» из ПЭНД, перфорированный, толщиной 1 мкм. Его особенность – в изменении шва днища. Я избавилась от неоднородности и получила равномерное распределение нагрузки вдоль всего дна пакета, что позволило исключить деформацию и разрывы в области дна. Изменения в технологии производства касаются только этапа сваривания нижнего шва пакета.

Расчёт себестоимости и необходимых инвестиций показал, что ожидаемая годовая прибыль от выпуска новых пакетов составит 840 000 руб.

Ильинская Диана (автор проекта),
Ю.В. Казакова (руководитель проекта)

Результаты расчётов представлены в приложении 3 (см. ЭП), результаты измерений ($F_{\text{макс}}$) и вычислений (Δl , ϵ) при максимальной нагрузке – в приложении 4 (см. ЭП).

Толщину образцов измеряли микрометром с электронным цифровым отсчётным устройством (МКЦ), каждый образец измеряли 10 раз, затем находили среднее арифметическое значение (см. приложения 3, 4).

Выводы

1. Наиболее прочные, грузоподъёмные и вместительные – толстые пакеты типа «майка» из ПЭНД, перфорированные и неперфорированные.

2. Наибольший вес выдерживают образцы пакетов № 1 (11 Н) и 3–5 (по 10 Н). У них же больше и модуль Юнга (300–600 МПа).

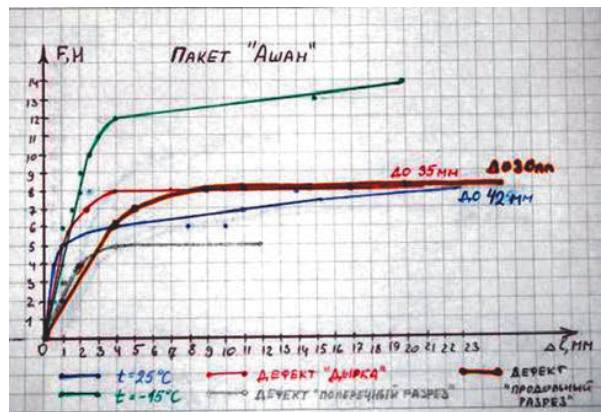
3. Наибольшее относительное удлинение при разрыве имеют пакеты 4 (233%) и 7 (190%), а наименьшую – 6 (53%), 1 (40%) и 5 (33%).

4. При понижении температуры, например, зимой максимальная нагрузка на пакет увеличивается, а растяжение уменьшается, то есть прочность пакета возрастает.

5. Дефекты «дырка» и «продольный разрез» практически не влияют на прочность пакета, но при дефекте «поперечный разрез» прочность уменьшается в 2 раза и пакет быстро рвётся, практически без растяжения.



▲ Измерение толщины плёнки электронным микрометром
Экспериментальные зависимости ▼



Владислав Готовцев – сейчас учится в 9-м классе лицея № 1511. Мечтает поступить в НИЯУ МИФИ.

Диана Ильинская – сейчас учится в 9-м физико-математическом классе. Мечтает перейти в лицей № 1580, а потом поступить в МГТУ им. Н.Э. Баумана.



Юлия Владимировна Казакова – методист, учитель физики высшей квалификационной категории, к. п. н., окончила физфак МПГУ, педагогический стаж 16 лет. Победитель конкурса Грант Москвы-2007, -2011, автор трёх методических пособий и более 70 публикаций по вопросам образования и методики преподавания физики и внеурочной работы с учащимися. Направление работы: организация исследовательской деятельности учащихся.

Возникновение резонанса при поперечных колебаниях конструкций сложной формы



Измерение или вычисление частот собственных колебаний имеет большое практическое значение при прогнозировании поведения конструкции (здания) под воздействием удара, взрыва, землетрясения и вибрации. При совпадении частоты собственных колебаний конструкции с частотой внешнего воздействия возникает механический резонанс, что может привести к разрушению конструкции. Поскольку вычисление частоты собственных колебаний реальных конструкций трудоёмко, при проектировании зданий испытывают упрощённые консольные модели, характеристики которых порой далеки от реальных. Испытаны консольные модели сложной формы, определены их характеристики, проведено сравнение результатов эксперимента с расчётом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический проект, механические колебания, резонанс, консольная модель



• Выполнила ученица 7-го класса:

ЮРЧЕНКО ВАСИЛИСА
wsonormalno@yandex.ru
(НОУ гимназия «Школа бизнеса», г. Сочи).

• Руководитель: учитель физики
С.А. Кирия sakirija@yandex.ru, к. п. н.

■ Внутренние органы человека имеют низкую собственную частоту, примерно 4–6 Гц. Частота колебаний, вызываемая обычной ходьбой, примерно 2,5 Гц, бегом и прыжками – около 3–4 Гц [1]. Если собственная частота колебаний органов тела совпадёт с частотой колебаний пола, то может произойти резонанс, проявляющийся в неприятных ощущениях. Это явление называется *беспокойщей вибрацией* [1]. Именно такие неприятные ощущения возникали у людей в строящемся в нашем городе доме. Для уменьшения беспокойщей вибрации наиболее низкая собственная частота конструкций пола должна быть более 8 Гц.

Цели исследования: • установить экспериментально соответствие характеристик колебаний теоретических моделей (консольных стержней) и реальных конструкций • доказать, что упрощение моделей может стать причиной резонанса в реальных конструкциях и вызвать их разрушение.

Задачи исследования: • изучить литературу по проблеме исследования • узнать, как формируются модели конструкций и зданий при расчётах на

быстро меняющиеся во времени, направлении и месте приложения силовые воздействия • изготовить модели в виде стержней разной формы, но с одинаковым расстоянием между защемлением в опору и свободным концом (одинаковым вылетом консоли) • экспериментально показать, что конструкция сложной формы имеет характеристики колебания, отличающиеся от её упрощённой модели.

Гипотеза исследования. Параметры колебаний конструкции сложной формы и её упрощённой модели различаются. При рассмотрении упрощённых моделей можно упустить возможность появления резонанса в реальных конструкциях.

Практическая значимость исследования. В работе будет показано, что существующая сегодня в строительстве практика описания реальных конструкций с помощью упрощённых моделей в ряде случаев недопустима, именно из-за опасности возникновения резонанса в реальных конструкциях, что может окончиться большими разрушениями.

1. Теоретические и практические предпосылки к исследованию. Измерение или вычисление частот собственных колебаний (ЧСК) имеет большое практическое значение при расчётах конструкций на действие удара, взрыва, землетрясения, вибрации. Эти воздействия быстро меняются во времени и пространстве, меняется и место их приложения. В технике знание диапазона (спектра) частот собственных колебаний конструкции служит для обнаружения дефекта в конструкции в результате сравнения их с эталонными частотами. Вычисление частоты собственных колебаний реальных конструкций трудоёмко, поэтому применяют упрощённые стержневые модели, имеющие поперечные сечения в виде простых геометрических фигур.

Основоположник науки о сейсмостойком строительстве И.Л. Корчинский в 1961 г. [2] показал, что

Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 131662, рекомендована оргкомитетом регионального, Краснодарского, этапа конкурса) и отмечена дипломом I степени, а также грамотами «За резонансный вклад в проектирование строительных конструкций» и «Самый юный участник». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, постер и методичку к ЛР см. ЭП. – Ред.

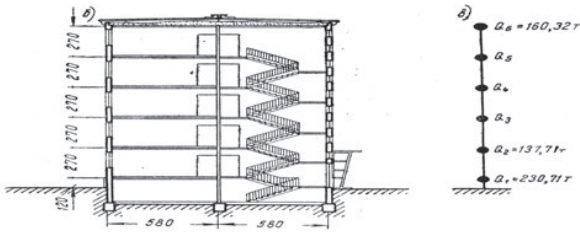


Рис. 1. Разрез 5-этажного крупнопанельного дома и его консольная модель: вес перекрытий и стен сосредоточен в уровнях перекрытий [2]

вполне удовлетворительной моделью простых зданий может считаться консольный (закреплённый одним концом) стержень, в котором вес перекрытий и стен сосредоточен в уровнях перекрытий. Жёсткость стержня равна суммарной жёсткости стен в пределах этажа. На рис. 1 показан разрез 5-этажного крупнопанельного дома и его модель для расчёта сейсмического воздействия. Такая расчётная модель считается до сих пор вполне удовлетворительной.

Более точной считается консольная модель, в которой масса здания распределена по его высоте, а характеристики жёсткости конструкций дома постоянны, рис. 2. Первые пять форм изгибных (поперечных) колебаний горизонтального консольного стержня представлены на рис. 3: синяя линия – $1/4$ длины волны λ ; сиреневая линия – $2/4 \lambda$; чёрная – $3/4 \lambda$; красная – $7/4 \lambda$; фиолетовая – $9/4 \lambda$.

Мне стало интересно, а как на практике измеряют и вычисляются частоты колебаний конструкций, создаются модели? В мае 2012 г. я приняла участие в испытаниях перекрытий здания. В нижних двух этажах дома колонны, балки и перекрытия были железобетонными, а в верхних трёх этажах выполнены из тонкостенных стальных конструкций (фото 1). Испытания и расчёты проводили мои родители и сотрудники кафедры строительных конструкций Сочинского Госуниверситета. Испытания проводились для того, чтобы выяснить причину гула и зыбкости, возникающих при ходьбе по перекрытиям третьего этажа. Никаких видимых деформаций перекрытий при этом не наблюдалось.

Было предложено измерить собственные частоты перекрытий 3-го этажа при прыжках и ходьбе. Использовались приборы: металлоискатель, соединённый с микрофонным усилителем и компьютером в режиме осциллографа. В ходе эксперимента были получены осциллограммы, по которым установлено, что в спектре собственных частот балки перекрытий содержалась частота 4,54 Гц, рис. 5. Остальные осциллограммы показали частоты от 4,54 до 16,6 Гц.

Компьютерная модель здания, составленная инженером с помощью программы **STARK** (рис. 6), позволила выполнить расчёты и определить характеристики колебаний здания и его отдельных элементов. Видно, что на двух первых этажах конструкции из железобетона расположены на больших (6 м) расстояниях друг от друга,

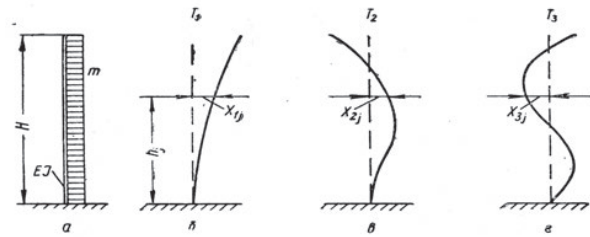


Рис. 2. Расчётная схема здания в виде консольного стержня с распределённой массой и первые формы колебаний [2]

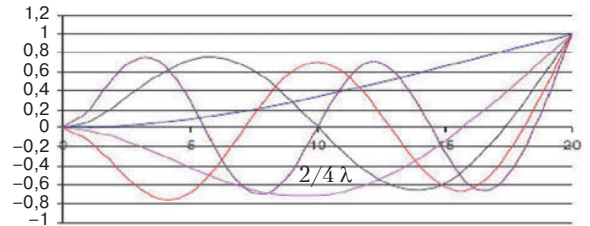


Рис. 3. Первые пять форм колебаний консольного стержня (см. методичку в ЭП)

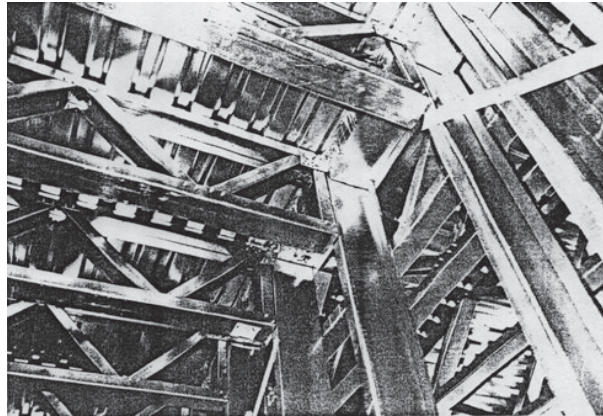


Рис. 4. Перекрытия третьего этажа из тонкостенных стальных конструкций

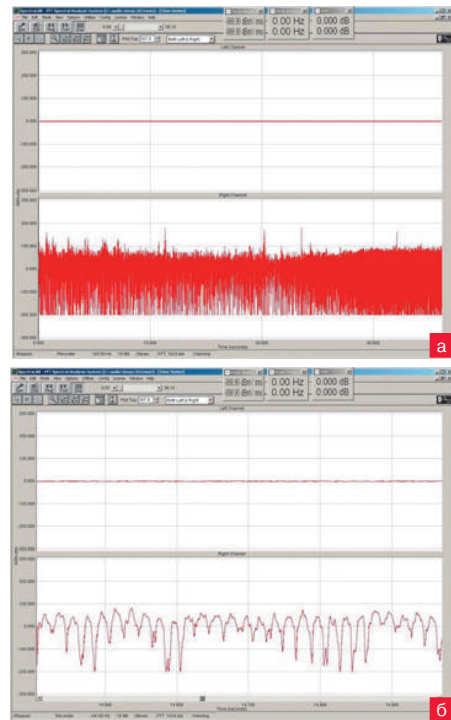


Рис. 5. Осциллограмма свободных колебаний металлических балок этих перекрытий: а – в сжатом виде (запись всего сеанса, 35 с); б – в растянутом виде (участок записи в течение ~0,3 с)

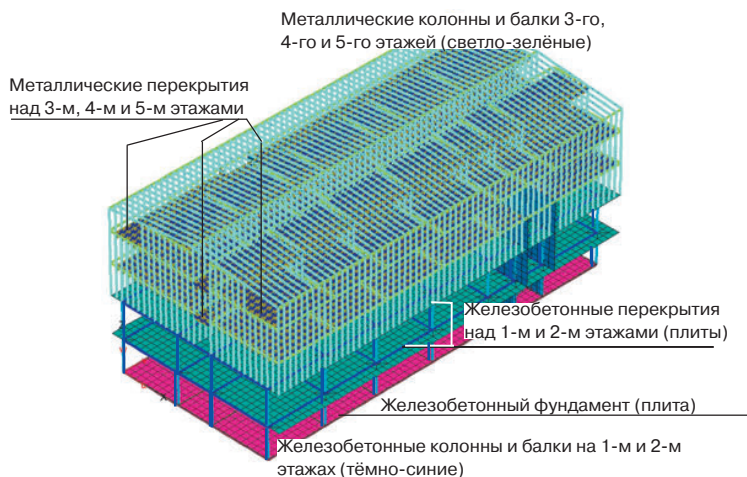


Рис. 6. Расчетная модель здания

а на 3–5-м этажах – очень часто (0,6 м). Частое расположение элементов серьезно затрудняет построение компьютерной модели, так как требует большого объема памяти. Поэтому в модели не учитывались связи между металлическими колоннами.

Спектр собственных частот колебаний приведен в табл. 1 (см. ЭП. – *Ред.*), а первая форма колебаний балки – на рис. 7. Частота собственных колебаний балки перекрытий 3-го этажа, которая в реальном здании подвергалась испытаниям, составила по расчету 4,32 Гц, а по измерениям 4,54 Гц, то есть опытные и теоретические результаты близки.

Полученные результаты позволили объяснить, почему люди испытывали неприятные ощущения при ходьбе по металлическим перекрытиям: частота собственных колебаний перекрытий (4,3–4,5 Гц) совпадает с частотой внутренних органов человека (4–6 Гц), то есть возникает резонанс.

Вместе с тем, возникает вопрос: почему строители, знающие о вреде резонансных колебаний, их допускают? Причина в трудоёмкости расчёта по сложным моделям. На практике пользуются упрощёнными моделями и соответственно упрощённым анализом результатов расчёта. В результате получают характеристики колебаний не отдельной конструкции, а упрощённого элемента модели, не аналогичного реальному.

Пучаствовав в испытаниях здания, изучив подходы к моделированию при динамических воздействиях, я решила проверить, к чему приводят упрощения, на своих моделях. Это важно для жителей г. Сочи, находящегося в сейсмоопасном районе, где каждый дом периодически подвергается сейсмическому воздействию.

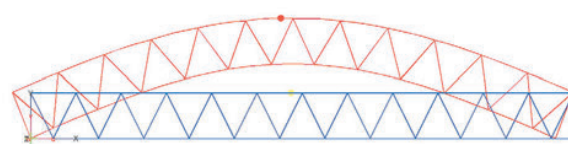


Рис. 7. Первая форма собственных колебаний металлической балки перекрытия (закреплена на обоих концах)

2. Модели и оборудование

В качестве моделей выбраны консольные (закрепленные с одного конца стержни). *Оборудование:* компьютер, подключенный к микрофонному усилителю, который, в свою очередь, подключался к металлоискателю, преобразующему энергию механических колебаний стержня в электрическую. Испытаны шесть стержней длиной 26 см, каждый из которых плотно свит из двух проволок диаметром 0,5 мм. Стержни жестко защемлялись в опоре с одного конца, то есть являлись горизонтальными консолями. Свободный конец отклоняли по вертикали, и компьютер в режиме осциллографа записывал собственные поперечные колебания стержня.

Один стержень был прямым, четыре выгнуты по формам, соответствующим четырём формам колебаний консоли (см. рис. 3), последний свит из двух проволок в виде цепи, петли которой длиной 5 см разделялись прямыми 5-см отрезками, рис. 8.

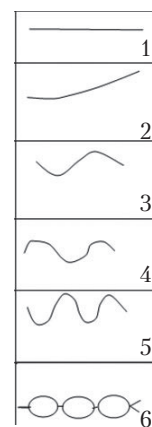


Рис. 8. Консольные модели [3]

3. Результаты испытаний

По осциллограммам, рис. 9, я определяла: ● условный период собственных колебаний T ● по двум последовательным амплитудам x и x_1 ● вычисляла декремент затухания $\nu = \ln(x/x_1)$ [4]. Результаты сведены в табл. 2 (см. ЭП. – *Ред.*), из которых видно, что в качестве модели можно использовать только стержень-цепь, но расчётов для неё не найдено.

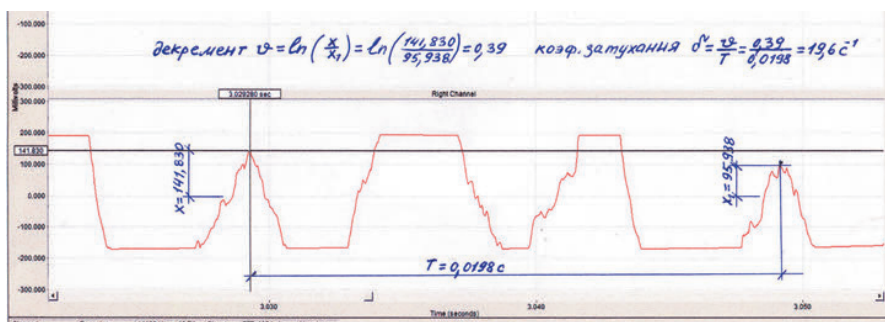


Рис. 9. Осциллограмма свободных колебаний конца стержня, модель 3

4. Теоретическое определение частоты собственных колебаний консольных стержней
(см. ЭП. – Ред.)

5. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

Установлено, что стержень-цепь имеет характеристики: период $T_6 = 0,0196$ с, длительность колебаний $t_6 = 0,32$ с, декремент затухания $\nu_6 = 0,25$. Наиболее близки к ним характеристики стержней 3–5. Для этих консольных моделей вычислены коэффициенты затухания $\delta = \nu/T$ [4, с. 25] ($\delta_3 = 51 \text{ с}^{-1}$, $\delta_4 = 42 \text{ с}^{-1}$, $\delta_5 = 14,5 \text{ с}^{-1}$, $\delta_6 = 13 \text{ с}^{-1}$) и декременты затухания.

Выводы: ● характеристики колебаний конструкций сложной формы могут отличаться от характеристик колебаний её упрощённой модели ● в реальных конструкциях может возникнуть непредусмотренный расчётом резонанс вследствие принятых упрощений, что может привести к разрушениям реальных конструкций ● при строительстве зданий, рассчитанных по упрощённым моделям, необходимо проводить дополнительные испытания с целью недопущения резонанса как отдельных конструкций, так и здания в целом.

Литература

1. Лёгкие стальные тонкостенные конструкции для общественного и жилищного строительства. М., 2003. 100 с.



К. Петров-Водкин. Землетрясение в Крыму. 1927 г.

2. Корчинский И.Л. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. М.: ГИЛ по САиСМ, 1961. 488 с.
3. Пересыпкин Е.Н., Юрченко Е.Е., Юрченко Е.А. Экспериментальное исследование поперечных колебаний стержней. // Известия Сочинского государственного университета. 2012. N 3(21). С. 121–124.
4. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. СПб.: Лань, 2005. 440 с.



Василиса Юрченко – сейчас учится в 8-м классе. Родители инженеры-строители, к. т. н., преподают в Сочинском госуниверситете. Любимые предметы – математика, физика и биология, любимые учителя – соответственно. Собирается стать инженером-строителем. Любит читать книги о строительстве.



Светлана Алексеевна Кирия – учитель физики высшей квалификационной категории, к. п. н., окончила физический факультет Одесского госуниверситета в 1969 г. Педагогическое кредо: учиться вместе с детьми. Отличник народного просвещения, Заслуженный учитель Кубани, награждена Грамотой МОиН РФ. Ученики *Глеб Лучко*, *Мартиросова Ксения*, *Юрченко Василиса* побеждали и занимали призовые места на городских НПК школьников «Первые шаги в науку» (2011–2013 гг.), региональных конкурсах исследовательских работ и творческих проектов дошкольников и младших школьников «Я – исследователь-2012», «Эврика» (2011, 2012 гг.), региональном открытом конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского по секции «Физика-2013», XIX Всероссийской научной конференции молодых исследователей «Шаг в будущее-2013» (лауреат), XX Всероссийских юношеских чтений им. В.И. Вернадского (2013 г.), II международной НПК «Инновационные технологии и экология-2013». Сын – юрист, два внука. Хобби: путешествия.

Проект организации связи, транспорта и энергообеспечения лунных баз



Предложены и обоснованы альтернативные подходы к решению комплекса проблем, связанных с созданием исследовательских и производственных баз на Луне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурс имени В.И. Вернадского, ученический проект, колонизация Луны



- Выполнили ученики
ПРОНИНА МАРИЯ
mashapronina2010@mail.ru (10 кл.),
ПРОХОРОВ ВЛАДИМИР
prokarav71@rambler.ru (11 кл.),
ШЕКУНОВ ВЛАДИСЛАВ
9livees@mail.ru (11 кл.),
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилёв, Респ. Беларусь)
- Научные руководители:
учителя физики
С.В. Гусев lab302@mail.ru,
А.Э. Плетнёв a-pletnev@mail.ru,
А.Г. Сугакевич sugakevich@mail.ru

транспортного устройства, способного двигаться по лунной поверхности • Предложить способ преобразования солнечной энергии в другие её виды.

1. Связь

Устойчивая радиосвязь между удалёнными на значительные расстояния друг от друга объектами на Земле успешно решается с помощью геостационарных спутников. Однако на окололунную орбиту стационарные спутники связи вывести нельзя вследствие гравитационного воздействия Земли. Мы предлагаем модель, которая позволила бы организовать устойчивую связь с лунными базами, в том числе и с находящимися на её обратной стороне, с помощью видимого светового излучения. Отметим, что предлагаемый способ связи учитывает опыт и возможности существующей лазерной локации Луны [7].

Основы оптической передачи информации.

Комплекс мероприятий, связанных с преобразованием электромагнитного излучения оптического диапазона в электрический ток и обратно включает в себя: генерацию, направленную передачу оптических сигналов, управление полем излучения (возможность направленного изменения параметров оптической волны) и приём сигнала [4, 6, 10].

Функцию генерации и направленной передачи оптического сигнала выполняет излучатель. В излучателе происходит преобразование электрической энергии возбуждающего сигнала в энергию оптического излучения заданного спектрального состава и пространственного распределения. Оптимальным источником излучения оптического диапазона является лазер [10]. Приём оптического излучения осуществляется с помощью оптоэлектронного приёмника (фотодетектора).

Модель системы связи со станцией на обратной стороне Луны. Для практической реализации проекта на Земле устанавливается несколько передающих устройств – излучателей. Такие устройства могут быть установлены, например, в Евпатории, на базе НЦУИК в рамках проекта «Луноход-1», в обсерватории Апачи-Пойнт, (Нью-Мексико, США),

Ведущие космические агентства мира разрабатывают программы по исследованию Луны. Целью этих программ является как развитие науки в целом, так и решение многих практических задач. Подобные проекты, как правило, предполагают создание на Луне нескольких исследовательских и промышленных баз, расположенных на значительных расстояниях друг от друга.

Для успешного функционирования таких баз необходимо решить ряд проблем. В первую очередь, это организация устойчивой связи с Землёй, решение проблем энергоснабжения и транспорта. К настоящему времени выработаны некоторые подходы к решению данных задач, которые уже можно считать традиционными.

Цель проекта: предложить и обосновать альтернативные подходы к решению комплекса проблем, связанных с созданием исследовательских и производственных баз на Луне.

Задачи проекта: • Предложить систему связи с лунными базами, где для передачи информации применяется видимый диапазон электромагнитного излучения • Создать действующую модель самодвижущегося

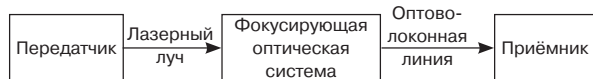
Работа была представлена на XX Всероссийском конкурсе юношеских исследовательских работ им. В.И. Вернадского 2012/2013 уч. г. (№ 130500) и отмечена дипломом 1-й степени и грамотой «Лучшие иллюстрационные материалы». Печатается в доработанном и сокращённом виде. Оригинальный текст, презентация, постер и отзыв официального рецензента конкурса см. ЭП. – Ред.

JPL NASA (Калифорния, США), обсерватории Лазурного берега (Ницца, Франция). Требования к местам размещения установок: максимальное число ясных дней, чистый и сухой воздух.

На Луне устанавливается фокусирующая оптическая система, оптоволоконная линия, которая обеспечит передачу сигнала к станции, находящейся на обратной стороне Луны, и приёмное устройство.

2. Транспорт

Очевидно, транспортировка грузов между исследовательскими и производственными базами на Луне будет осуществляться за счёт управляемых человеком или автоматизированных транспортных средств, подобных советским луноходам или американским лунным роверам. Мы считаем, что для эффективного использования такие транспортные средства должны обладать искусственным интеллектом.



Анализ литературы показал, что идея создания робота, способного анализировать ситуацию и выполнять примитивные действия, далеко не нова [5]. Создано множество роботов для движения по линии [8, 13, 3], описаны роботы, способные огибать препятствия [14], реагировать на звук [15] и управляться при помощи ИК-излучения [11].

В этой связи мы создали действующую модель транспортного средства, способного без участия человека передвигаться из одного заданного пункта в другой. Применение подобных транспортных средств позволит на первоначальном этапе освоения Луны отказаться от срочной прокладки дорог, связывающих отдельные объекты, а также выполнять транспортные работы без участия человека.

Принцип работы. Для движения по визуально различимой траектории робот оснащён датчиком, способным излучать и принимать отражённый от поверхности луч. В качестве источника света используется светодиод, приёмником служит фототранзистор. Полученные сигналы передаются на микроконтроллер.

Для движения вдоль натянутого троса используются два контактных датчика, выполненных на микропереключателях. Восприятие траектории осуществляется гибкими рычагами, которые включают либо выключают микропереключатели. Коммутируемые сигналы передаются на микроконтроллер.

Для дистанционного управления движением робот оснащён ИК-фотоприёмником, принимающим сигналы от ИК-пульта. Дополнительно

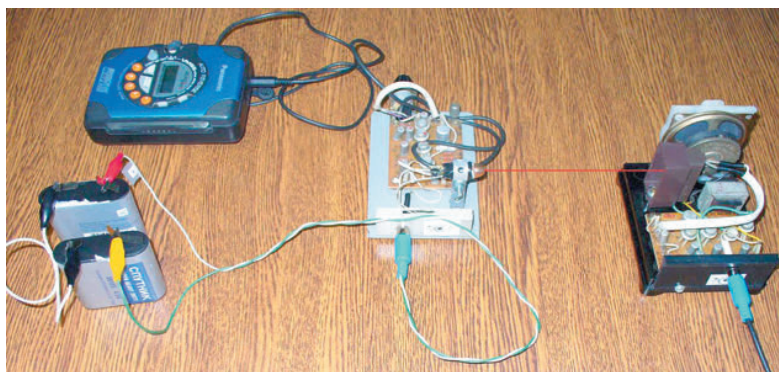
фотоприёмник используется для переключения режимов движения.

Практическая реализация. Мы использовали AVR-микроконтроллер **Atmega8** (тактируемый от внутреннего генератора частотой 8 МГц), так как он дешевле других, более распространён, а программатор для него можно собрать из разъёма *LPT*-порта и пяти резисторов. Но так как такой программатор не рекомендуется часто использовать, а *LPT*-порт сейчас не установлен практически ни на одном ПК, то решено было изготовить *USB*-программатор **AVR910** [12]. Для управления двигателями используются полевые транзисторы IRFZ44N.

В конструкции робота использовались гусеничное шасси, гусеницы правой и левой стороны имеют привод от отдельных электродвигателей напряжением питания 8 В. Поворот осуществляется за счёт разности скоростей правой и левой гусеницы. Датчики касания сделали из микропереключателей.

Модель может двигаться по траектории, которая представляет собой чёрную линию на светлом фоне. Линия идентифицируется с помощью датчика, состоящего из светодиода и фототранзистора (см. принципиальную электрическую схему робота в ЭП. – *Ред.*). Для изменения чувствительности датчика была собрана схема с использованием аналогового компаратора LM311 [9], который сравнивает опорное напряжение и напряжение с коллектора фототранзистора. При совпадении напряжений либо превышении эталонного напряжения на выходе компаратора логический сигнал меняется на противоположный. Чувствительность регулируется подстроечным резистором. Смена режимов осуществляется с помощью пульта дистанционного управления по протоколу **RC-5**. Программа написана на языке **C** в среде разработки **Atmel Studio**.

В ходе испытаний робота выяснилось, что он удовлетворительно движется по линии толщиной от 3 мм и способен совершать повороты на угол от 0 до 180°. В настоящее время мы исследуем возможности управления моделью с помощью светового излучения, а также адаптируем модель к специфике лунных условий (вакуум, мелкая пыль, большие перепады температур, неровный рельеф).



3. Энергетика

Традиционно в качестве основного источника энергии на начальном этапе освоения Луны рассматривается солнечная энергия – получение электроэнергии с помощью солнечных батарей. Мы же хотели показать, что солнечную энергетику можно развивать на основе радиометрического эффекта.

Радиометрический эффект – это самопроизвольное движение неравномерно нагретых тел в направлении от более нагретой стороны к менее нагретой [16]. В сильно разреженных газах этот эффект вызывается тем, что молекулы газа при отражении от более нагретой стороны тела сообщают телу больший импульс, чем при отражении от менее нагретой стороны.

Экспериментальная установка состоит из радиометра Крукса в стеклянном корпусе и лампы накаливания мощностью 100 Вт на подставке. Радиометр представляет собой четырёхлопастную крыльчатку, уравновешенную на игле внутри стеклянной колбы. При попадании на лопасть светового луча крыльчатка начинает вращаться. Частоту вращения определяли с помощью скоростной камеры. Нам удалось оценить кинетическую энергию крыльчатки, а также её зависимость от падающего светового потока.

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2},$$

где J – момент инерции крыльчатки, $\omega = 2\pi\nu$ – её угловая скорость вращения, ν – частота вращения. Если представить крыльчатку в виде четырёх материальных точек, расположенных на расстоянии r от оси, то её момент инерции можно рассчитать по формуле $J = 4mr^2 = 4\rho a^2hr^2$, где m – масса «лопасти» крыльчатки, ρ – её плотность, h – толщина, a – длина стороны «лопасти», r – расстояние до оси вращения, а кинетическую энергию записать в виде:

$$W = 8\pi\nu^2 a^2 h^2 \rho.$$

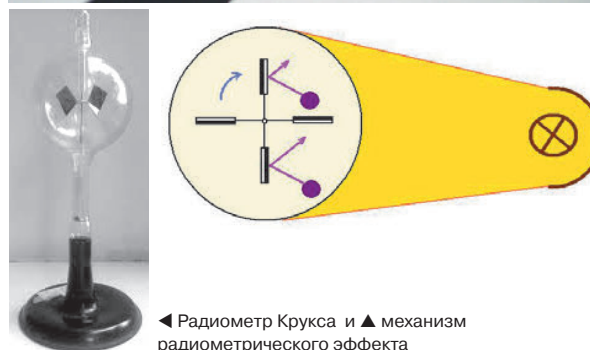
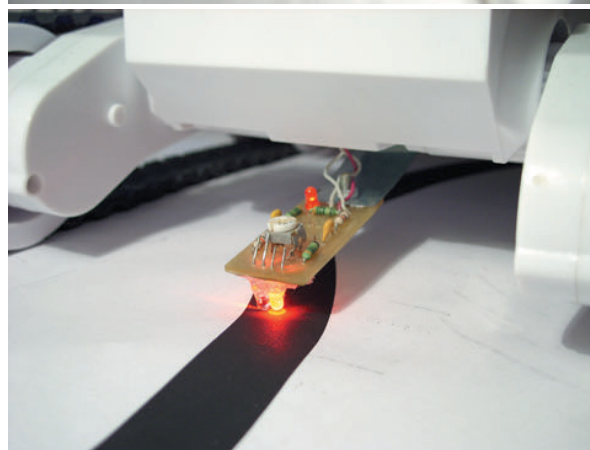
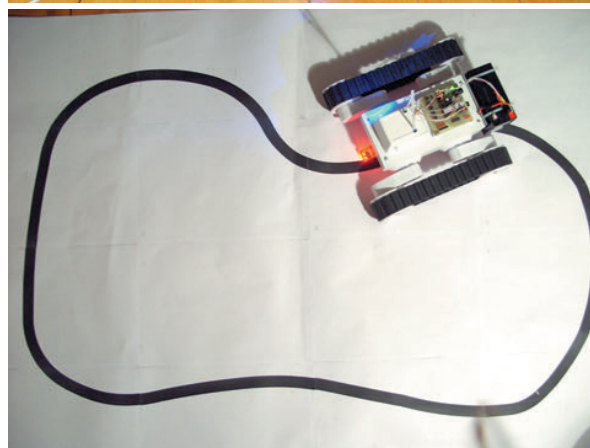
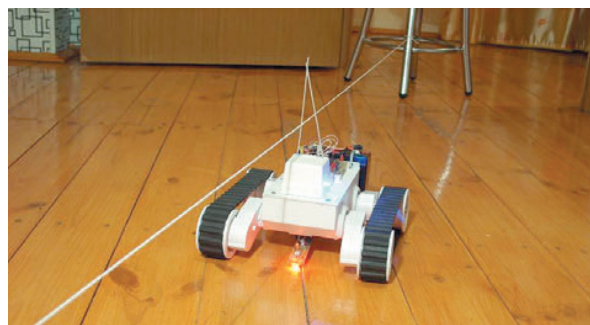
Так как лопасти радиометра устанавливали перпендикулярно световым лучам, мощность светового потока $P_{св} = E_0 a^2$, где $E_0 = 1367$ Вт/м² – солнечная постоянная.

$$\eta = \frac{W}{P_{св} t},$$

где t – время, за которое разгоняется крыльчатка. Расчёты показывают, что КПД предложенной установки пока менее 1%. Однако, с учётом того, что производство подобных устройств экологически чище производства солнечных батарей, продолжение исследований в данном направлении представляется целесообразным.

Выводы

1. Предложены альтернативные системы организации связи, транспорта и энергообеспечения,



◀ Радиометр Крукса и ▲ механизм радиометрического эффекта

которые могут быть реализованы при создании лунных исследовательских и производственных баз.

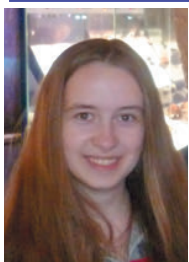
2. Созданы соответствующие действующие модели, с помощью которых показана практическая

осуществимость наших предложений, а также проведены экспериментальные исследования, по результатам которых сформулированы направления работы по усовершенствованию созданных моделей.

3. Полученные в ходе реализации проекта результаты могут быть полезными при создании баз не только на Луне, но и на Марсе.

Литература

1. Астронет. Прозрачность земной атмосферы. URL: <http://www.astronet.ru>
2. Глава Роскосмоса назвал дату полёта на Марс.// Лента.ру, 26.11.2010 г. URL: <http://www.lenta.ru/news/2010/11/26/mars/>
3. Драйвер двигателей L293D URL: http://www.myrobot.ru/stepbystep/el_driver.php
4. Дронов А. Детская экспериментальная лаборатория радиоэлектроники. // Радио. 2003. № 9.10.
5. История робототехники: первый BEAM-робот URL: http://myrobot.ru/articles/hist_first_beambot.php.
6. Козлова Н.Д. Полупроводниковые источники излучения.// Физика (ИД «Первое сентября»). 2006. № 14.
7. Кокурин Ю.Л. Лазерная локация Луны. 40 лет исследований. // Квантовая электроника. 2003. № 1. С. 45–47.
8. Лечкин А. Робот, движущийся по линии // Радио. 2008. № 10. С. 41–43.
9. Модуль датчика линии на основе компаратора LM311. URL: <http://robozone.su/2008/03/13/modul-datchika-linii-na-osnove.html>
10. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. 360 с.
11. Пример работы с протоколом RC5 decoder на AVR-микроконтроллере ATmega8. URL: <http://avrlab.com/node/74>
12. Программаторы для микроконтроллеров Atmel URL: <http://radiokot.ru/lab/controller/29/>
13. Робот с фотодатчиком для следования по линии. http://myrobot.ru/stepbystep/r_firstbot2.php
14. Жимарши Ф. Сборка и программирование мобильных роботов в домашних условиях. М.: НТ Пресс, 2007. 288 с.
15. Свита С. Робот, идущий по линии // Радио. 2008. № 3. С. 48–49.
16. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика: учеб. пособие для вузов. М.: Наука. Гл. ред. ФМЛ. 1990. 592 с.



Мария Пронина – сейчас учится в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники. Любимые предметы – астрономия, математика. Любимые учителя – руководители проекта.



Сергей Викторович Гусев – учитель физики высшей квалификационной категории, окончил Могилёвский ГПИ им. А.А. Кулешова (1992). Педагогическое кредо: не навреди. Автор двух книг по методике работы с одарёнными детьми и более 10 статей. Подготовил победителей ряда международных и республиканских конференций и конкурсов научно-исследовательских работ учащихся, республиканских и областных олимпиад. Женат, два взрослых сына. Хобби: разгадывание сканвордов и sudoku, велосипедные прогулки.



Владимир Прохоров – сейчас учится в 11-м классе. Любимые предметы: астрономия, физика. Любимые учителя: А.Г. Сугакевич, С.В. Гусев. Хочет стать инженером-электриком.



Александр Эдуардович Плетнёв – учитель физики высшей квалификационной категории. Окончил физико-математический (1997), а потом и экономический (2003) факультеты Могилёвского ГПУ им. А.А. Кулешова. Педагогическое кредо: работать с удовольствием. Автор более 20 учебных, методических и научно-популярных книг, а также более 30 статей и докладов, победитель многих педагогических конкурсов разного уровня (подробнее см. сайт <http://pletnev.mou.su>). Женат, дочери 10 лет. Хобби: сайтостроение, плавание, баня, общение с друзьями.



Владислав Шекунов – сейчас учится в 11-м классе. Любимый учитель – С.В. Гусев. Хобби: электроника.



Александр Георгиевич Сугакевич – учитель высшей квалификационной категории, окончил физмат (1991) и аспирантуру Могилёвского ГПУ им. А.А. Кулешова (2008). Педагогическое кредо: ученик – не сосуд, который нужно наполнить, а факел, который нужно зажечь. Автор более 20 учебных, методических и научно-популярных книг, а также более 50 статей. Женат, две взрослые дочери. Хобби: научная фантастика.