

# ОПИСАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

## «Универсальный измерительный прибор»

Лиза Соснова (15 лет), Тина Кабир (14 лет)  
ДНТТМ МГДД(ю)Т, г. Москва

### 1. Описание проблемы.

С 8 класса мы увлекаемся физическими опытами и экспериментами, но настоящий Мир физики открылся нам на занятиях в рамках факультативного курса "Физика и биофизика в природе", где мы познакомились с исследовательскими работами наших старшеклассников. Ребята исследуют лазерными методами микроструктуру биологических объектов, моделируют миражи на лабораторном столе, звуком управляют распадом водяной струи на капли, ... Они работают с лазером и ртутной лампой, дифракционными решетками, мультиметрами и другими сложными приборами. Мы же заинтересовались вопросом: а можно ли самостоятельно изготовить физический прибор, точность которого не уступает аналогичному школьному оборудованию?

Наше исследование началось с поисков ответа на простой вопрос: как взвесить птичье перышко? Мы решили эту проблему, а круг наших интересов постепенно расширялся и уточнялся. Можно ли разработать **универсальный учебный прибор**, измеряющий и массу тел и плотность веществ, который был бы прост в изготовлении и использовании и, в отличие от [1-4], не включал бы сложного оборудования?


### 2. Имеющиеся варианты решения проблемы и их недостатки.

В поисках наиболее простых в использовании методик мы отобрали те, в которых процесс определения массы или плотности сводится к измерению линейных размеров 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. Такой прибор универсален, но неудобен в использовании, так как равновесие в нем не достигается автоматически (рис. 1).

2). **Поплавковые весы [7]**. Процесс взвешивания сводится к измерениям глубины погружения поплавка. Эти весы можно изготовить из обычных пластиковых бутылок, и они более удобны в использовании, чем рычажные, поскольку равновесие в них достигается автоматически (рис. 2). Однако, авторы [7] не придумали способ измерять плотность веществ этим прибором.

**Вывод:** В литературе нам не удалось найти описания удобного в использовании и простого в изготовлении **универсального** прибора, позволяющего измерять как массу тел, так и плотности веществ.

| РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЫ - 1   | РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЫ - 2  |
|---|--|
| <p>В поисках наиболее простых методик мы отобрали две:</p> <p><b>1. Рычажные весы</b> <a href="http://www.afportal.ru">http://www.afportal.ru</a></p> <div style="text-align: center;"> <p><b>Условие равновесия:</b></p> <math display="block">ML_1 = (\rho SH)L_2</math>  </div> <p><b>Измерения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- плечо рычага <math>L_2</math>,</li> <li>- высота столба жидкости <math>H</math></li> </ul> <p><b>Достоинства:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- простота измерений,</li> <li>- универсальность.</li> </ul> <p><b>Недостатки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- неудобен в использовании,</li> <li>- равновесие не наступает автоматически.</li> </ul> <p style="text-align: center;">Рис. 1</p> | <p><b>2. Поплавковые весы</b> <a href="http://www.afterwork.com.ua">http://www.afterwork.com.ua</a></p>  <p><b>Измерения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- глубина погружения поплавка</li> </ul> <p><b>Достоинства:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- простой в изготовлении и использовании,</li> <li>- равновесие наступает автоматически</li> </ul> <p><b>Недостатки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- не измеряет плотность веществ</li> </ul> <p><b>Вывод:</b></p> <p>нам не удалось найти описания удобного в использовании и простого в изготовлении универсального прибора, измеряющего как массу тел, так и плотности веществ.</p> <p style="text-align: center;">Рис. 2</p> |

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

**Задачи**, поставленные в работе:

1. Разработать методику измерения массы тел и плотности веществ с помощью универсального прибора.
2. Изготовить прибор и произвести его калибровку.
3. Исследовать возможные причины появления систематических ошибок измерений данным методом.
4. Подготовить компьютерную программу расчета случайных ошибок измерений.
5. Провести тестирование прибора.
6. Проанализировать достоинства и недостатки прибора.
7. Оценить эффективность использования прибора в качестве учебного оборудования, как на уроках, так и в домашних условиях.
8. Создать сайт-презентацию проекта с полным описанием прибора и руководством по его изготовлению и использованию.

### 3. Суть предложенного технического решения проблемы.

**Прибор предназначен для измерения 10 физических величин:**

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) масса тела;</li> <li>2) объем тела;</li> <li>3) плотность жидкости;</li> <li>4) плотность сыпучего материала;</li> <li>5) плотность твердого тела;</li> </ol>    | } | Точность измерений соответствует точности учебного оборудования                |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>6) атмосферное давление;</li> </ol>   | } | Проведены успешные тестовые испытания  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>7) плотность атмосферы;</li> <li>8) температура атмосферы;</li> <li>9) плотность газа в замкнутом сосуде;</li> <li>10) давление газа в замкнутом сосуде.</li> </ol> | } | Теоретически обоснована возможность измерений и выведены универсальные формулы |

**Все 10 величин измеряются одним прибором с помощью простой линейки!**

#### Устройство первой простейшей модели

Устройство прибора из прозрачных пластиковых бутылок (рис.3): поплавок помещаем во внешний стакан, между ними закрепляем направляющий цилиндр.

Диаметры направляющего цилиндра и поплавок должны отличаться на возможно минимальную величину (порядка  $3 \div 5 \text{ мм}$ ), обеспечивающую свободное перемещение поплавка. На поплавке закрепляем чашку весов. В направляющем цилиндре проделаны отверстия для свободного проникновения воды.



Рис. 3

Уже данная простейшая модель позволяет измерять массы тел и плотности веществ с хорошей точностью. Проведя тестирование прибора, мы нашли возможности модифицировать модель с целью расширения спектра измеряемых величин и повышения точности измерений.

## Устройство универсального учебного прибора

Прибор состоит из двух вертикальных сообщающихся в нижней точке прозрачных плексигласовых сосудов постоянного сечения, назовем их «стаканы» (рис.4), высотой 32 см.

В каждый стакан вставлен «поплавок» - сосуд, по форме совпадающий с соответствующим стаканом, зазор между стаканом и поплавком порядка 1-2 мм, что обеспечивает свободное перемещение поплавка в стакане в вертикальном направлении. На каждом поплавке и на стакане нанесена миллиметровая шкала.

### Принцип работы прибора

основан на законах Архимеда, Паскаля, условии плавания тел, свойстве сообщающихся сосудов, условии несжимаемости жидкости, законе Бойля-Мариотта, уравнении состояния идеального газа.

### Порядок работы с прибором

1). Все прямые измерения производятся простой линейкой (по шкалам прибора). В стакан заливается жидкость известной плотности (наилучший вариант – вода). В поплавок заливается жидкость неизвестной плотности или засыпается сыпучее вещество. Либо поплавок заполняется частично водой, в которую опускают тело неизвестной плотности (рис.5).

В разработанной методике необходимо измерять только уровни жидкостей в стакане и поплавке.

2). На основе физических законов (перечисленных выше) выведены универсальные формулы, связывающие искомые величины с уровнем жидкостей в приборе (пример приведен на рис.6). Универсальность формул означает, что их вид не зависит от формы сосудов и, в частности, одинаков для обеих моделей. Подробный вывод всех формул представлен на сайте проекта [\[https://sites.google.com/site/2013litin/\]](https://sites.google.com/site/2013litin/).

2. На основе законов физики мы вывели универсальные формулы, которые позволяют рассчитать массу тел, плотность, давление и температуру вещества по измеренным уровням жидкости в приборе.

Модель учебного прибора

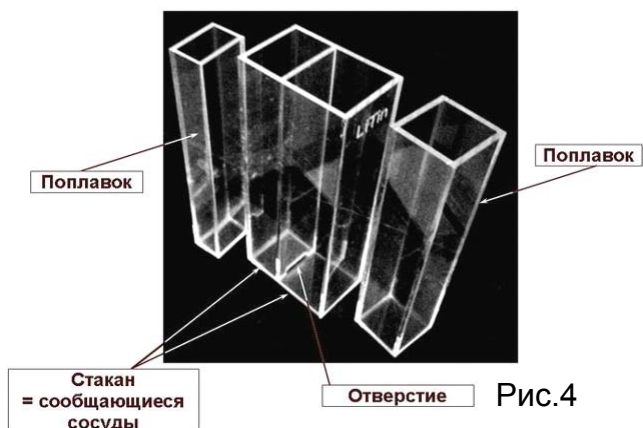


Рис.4

1. Необходимо измерять только уровни жидкости в приборе.

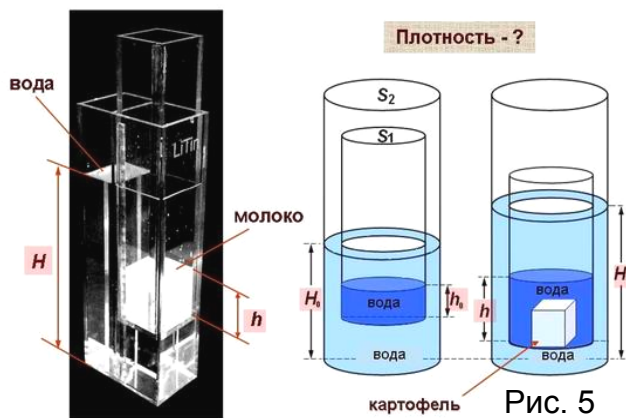


Рис. 5

3. Расчеты всех физических величин и их погрешности выполняются компьютерной программой.

Масса:

$$m = C(H - H_0), g$$

Цена деления:

$$C = \rho_w S_2, \frac{g}{mm}$$

Плотность:

$$\rho = C \left( \frac{H - H_0}{h - h_0} \right), \frac{g}{cm^3}$$

Цена деления:

$$C = \left( \frac{S_2}{S_1} \right) \rho_w, \frac{g}{cm^3}$$

Формулы одинаковы для сосудов разной формы!

Рис. 6

$\rho = C (H - H_0) / (h - h_0), g/cm^3$   
 Enter scale interval C, g/cm<sup>3</sup>: 1.699  

| № | h <sub>0</sub> , mm  | H <sub>0</sub> , mm  | h, mm   | H, mm   |
|---|----------------------|----------------------|---------|---------|
| 1 | 2849                 | 1038                 | 2877    | 1056    |
| 2 | 2849                 | 1038                 | 2895    | 1068    |
| 3 | 2846                 | 1035                 | 2879    | 1057    |
| 4 | 2846                 | 1035                 | 2885    | 1060    |
| 5 | Enter h <sub>0</sub> | Enter H <sub>0</sub> | Enter h | Enter H |
| 6 | Enter h <sub>0</sub> | Enter H <sub>0</sub> | Enter h | Enter H |

 Calculate  
 $\rho = 1.106 \pm 0.010 g/cm^3, \epsilon = 1\%$

Результат измерения плотности картофеля.

Рис. 7



3). Все необходимые расчеты физических величин по универсальным формулам, включая расчет погрешности измерений, производятся компьютерной программой (рис.7) в режиме on-line на сайте проекта [<https://sites.google.com/site/2013litin/program>].

#### **Анализ возможных систематических ошибок.**

Причины возникновения систематических ошибок измерений обусловлены дефектами приборов, ошибками в методике расчетов и т.п. [8]. Их довольно трудно обнаружить и учесть. Они приводят либо к завышению, либо занижению истинных результатов. Их нельзя уменьшить, увеличивая количество измерений и рассчитывая среднюю величину. Систематические ошибки при измерениях нашим прибором могут быть обусловлены наличием не учтенных нами ранее сил, действующих на исследуемое тело.

#### **Влияние силы поверхностного натяжения воды.**

Систематической ошибки вследствие действия сил поверхностного натяжения удастся избежать. Сила поверхностного натяжения постоянна по модулю и направлена постоянно в одну сторону (либо вертикально вверх, либо вертикально вниз в зависимости от того, смачивает вода поверхность поплавка или нет) [9]. А поскольку предлагаемая методика предполагает при каждом взвешивании проводить два измерения уровня жидкости и находить их разность, то влияние этих сил на конечный результат отсутствует, поскольку они взаимно вычитаются.

#### **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. Чем ближе остановится поплавок к положению равновесия, соответствующему случаю отсутствия трения, тем меньше будет модуль силы трения покоя. Таким образом, силы трения покоя, в отличие от сил поверхностного натяжения, в каждом опыте будут немного отличаться и при вычитании не полностью компенсируются. Однако, проведя серию измерений массы тела и изменяя начальные условия в каждом опыте (направление движения к положению равновесия), можно перевести систематическую ошибку в разряд случайной и минимизировать ее, увеличив количество измерений. Именно по этой методике мы определяли цену деления приборов и проводили последующие эксперименты с ними.

#### **Условие несжимаемости жидкости.**

С помощью этого условия мы показали, что при расчете объема вытесненной поплавок воды от обычно выполняемых измерений глубины погружения поплавок  $y_0$  и  $y$  по шкале поплавок (которая плохо различима, когда поплавок находится в стакане с водой) можно перейти к измерению уровня воды в стакане  $H_0$  и  $H$  по шкале стакана, которая расположена снаружи прибора.

#### **Тестирование прибора**

Подробные результаты тестирования прибора приведены на [сайте работы](#) [10]. Измерения проводились на нескольких экземплярах изготовленных нами простейших моделях с разной ценой деления, а также на модели учебного прибора, контролировались измерениями на учебных лабораторных рычажных весах и сопоставлялись с табличными данными плотностей некоторых веществ.

Результаты тестирования прибора совпадают в пределах погрешности эксперимента с контрольными результатами, полученными на учебном лабораторном оборудовании, и согласуются с опубликованными данными плотности веществ.

Проведены успешные тестовые измерения атмосферного давления и теоретически обоснована возможность измерения плотности и температуры атмосферы, а также давления и плотности газа в замкнутом сосуде.

## 4. Преимущества предложенного авторами технического решения

### Выводы

1). Разработана методика и изготовлен универсальный гидростатический прибор для измерения 10 физических величин. Именно универсальность прибора и составляет **новизну** данной работы. Прибор не имеет аналогов в мире.

### 2). Основные достоинства прибора:

- универсальность;
- простота в изготовлении;
- простота и удобство в использовании: все прямые измерения производятся простой линейкой, а все расчеты – компьютерной программой;
- малая погрешность измерений ( $1 \div 3$  %).

### 3). Основные недостатки:

- для увеличения пределов измерения необходимо увеличивать высоту используемых емкостей.

## 5. Область применения прибора

1) учащимися средней школы, групп дополнительного образования, факультативов, кружков, станций юных натуралистов и т.п. **в качестве учебного прибора**

- **в физическом лабораторном практикуме.** Продемонстрирована эффективность применения прибора на уроках физики в 4-11 классах. Расчеты всех величин и погрешности измерений выполняются компьютерной программой.

- **в биологическом лабораторном практикуме.** По измеренной плотности картофельного клубня и используя соответствующие таблицы можно определить концентрацию крахмала в клубнях. Что позволяет дать рекомендации по его использованию в кулинарии (пригоден для варки, жарки или для приготовления пюре) (рис.8).

- **в домашних условиях** (для лиц, занимающихся самообразованием) предусмотрена возможность изготовления действующей модели прибора из обычных пластиковых бутылок.

Методика измерений и

компьютерная программа используются те же, что и для учебного прибора.

Вся информация о приборе представлена на созданном нами сайте проекта [\[https://sites.google.com/site/2013litin/program\]](https://sites.google.com/site/2013litin/program).

Научный руководитель проекта подготовил сайт, на котором, в частности, приведена пошаговая инструкция по изготовлению простейшей модели прибора и его калибровке в домашних условиях <https://sites.google.com/site/physicsdnttmnvp/home>. Этим сайтом уже активно и успешно пользуются его ученики, обучающиеся по программе дополнительного образования детей «Физика и биофизика в природе» в ДНТТМ МГДД(ю)Т.

**2) учителями физики** в качестве демонстрационного оборудования.

**3) школьниками** при посещении домов детского творчества в качестве интерактивного прибора для проведения опытов.

**Пути усовершенствование прибора:**

- исследование возможностей расширения пределов измерения;

**Практическое применение**  
**Измерение концентрации крахмала в картофеле**

Сердцевину клубня помещаем в поплавок и измеряем плотность  $\rho$   
Определяем концентрацию крахмала **A%** по таблице.



| $\rho, \text{kg/m}^3$ | A, % | $\rho, \text{kg/m}^3$ | A, % | $\rho, \text{kg/m}^3$ | A, % |
|-----------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 1080                  | 13,9 | 1107                  | 19,7 | 1134                  | 25,5 |
| 1081                  | 14,1 | 1108                  | 19,9 | 1135                  | 25,7 |
| 1082                  | 14,3 | 1109                  | 20,1 | 1136                  | 25,9 |
| 1083                  | 14,5 | 1110                  | 20,3 | 1137                  | 26,1 |
| 1084                  | 14,7 | 1111                  | 20,5 | 1138                  | 26,3 |
| 1085                  | 14,9 | 1112                  | 20,7 | 1139                  | 26,5 |
| 1086                  | 15,1 | 1113                  | 20,9 | 1140                  | 26,7 |
| 1087                  | 15,4 | 1114                  | 21,1 | 1141                  | 27,0 |
| 1088                  | 15,6 | 1115                  | 21,4 | 1142                  | 27,2 |
| 1089                  | 15,8 | 1116                  | 21,6 | 1143                  | 27,4 |
| 1090                  | 16,0 | 1117                  | 21,8 | 1144                  | 27,6 |
| 1091                  | 16,2 | 1118                  | 22,0 | 1145                  | 27,8 |
| 1092                  | 16,4 | 1119                  | 22,2 | 1146                  | 28,0 |
| 1093                  | 16,6 | 1120                  | 22,5 | 1147                  | 28,3 |
| 1094                  | 16,9 | 1121                  | 22,7 | 1148                  | 28,5 |
| 1095                  | 17,1 | 1122                  | 22,9 | 1149                  | 28,7 |
| 1096                  | 17,3 | 1123                  | 23,1 | 1150                  | 28,9 |
| 1097                  | 17,5 | 1124                  | 23,3 | 1151                  | 29,1 |
| 1098                  | 17,7 | 1125                  | 23,5 | 1152                  | 29,3 |
| 1099                  | 17,9 | 1126                  | 23,7 | 1153                  | 29,6 |
| 1100                  | 18,2 | 1127                  | 24,0 | 1154                  | 29,8 |
| 1101                  | 18,4 | 1128                  | 24,2 | 1155                  | 30,0 |
| 1102                  | 18,6 | 1129                  | 24,4 | 1156                  | 30,2 |
| 1103                  | 18,8 | 1130                  | 24,6 | 1157                  | 30,4 |
| 1104                  | 19,0 | 1131                  | 24,8 | 1158                  | 30,6 |
| 1105                  | 19,2 | 1132                  | 25,0 | 1159                  | 30,9 |
| 1106                  | 19,4 | 1133                  | 25,2 | 1160                  | 31,0 |

Результат измерений плотности картофеля:  
  $\rho = 1.106 \pm 0.010 \text{ g/cm}^3$  → Концентрация крахмала

Рис. 8

- исследование возможностей изменения цены деления прибора с целью повышения точности измерений;
- разработка приспособлений, использование которых позволит расширить спектр измеряемых величин.

### Список использованной литературы

1. История весов. <http://www.istorya.ru/articles/vesy.php>.
2. [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_2876.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_2876.html)
3. Кивилис С. С. Техника измерения плотности жидкостей и твердых тел. М., 1959.
4. Глыбин И. П. Измерение массы, объема и плотности. М., 1972.
5. Фурдик А.В. Измерение плотности жидкости с помощью ученической линейки. XVIII Всероссийские чтения им. В.И.Вернадского. 2011.
6. <http://www.afportal.ru/answers/57>
7. <http://www.afterwork.com.ua/vesy-iz-plastikovyx-butyluk.html>
8. <http://schools.keldysh.ru/sch764/files/pogr.htm>.
9. Бутиков Е.И. и др. Строение вещества. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 – 336 с.
10. Соснова Е.А., Кабир С.Е. Сайт работы: <https://sites.google.com/site/2013litin>

Прибором «ЛиТин» (Лиза-Тина) можно измерить те же величины, что и весами, мензуркой, ареометром, барометром и термометром!



## 6. Презентация проекта

Оригинальность как идеи, так и конструкторского решения созданного прибора подтверждены победами на ряде конкурсов научно-технических проектов учащихся:

| Конкурс/Конференция  | Дата          | Результат   |
|--|---------------|---|
| Всероссийский конкурс исследовательских работ учащихся - чтения им. В.И. Вернадского   | Апрель 2013   | Победители (представлена первая, простейшая модель прибора)   |
| Очный финал международного конкурса научных работ учащихся 13-18 лет Google Science Fair (Маунтин-Вью, офис Google, США)   | Сентябрь 2013 | Призеры (вошли в пятерку лучших из нескольких тысяч участников из 120 стран)<br><a href="http://www.dnttm.su/nasa-zizn/vnesnie-konferencii-i-vyezdy/google-science-fair-2013">http://www.dnttm.su/nasa-zizn/vnesnie-konferencii-i-vyezdy/google-science-fair-2013</a> |
| Городской конкурс инновационных предпринимательских проектов школьников (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)  | Ноябрь 2013   | Победители<br>Диплом 1 степени  |
| Городской конкурс инженерно-технических проектов детей и молодежи до 18 лет «Я изобретатель» (Московский центр инноваций и научно-технического творчества ИННАРТ)    | Ноябрь 2013   | Победители<br>Диплом 1 степени  |
| Московский городской конкурс исследовательских работ школьников «Лингва» (Гимназия №1508, Москва)  | Март 2014     | Лауреаты  |
| Московский региональный отборочный тур Международной конференции по развитию интеллектуальной собственности среди старшеклассников                                   | Март 2014     | Лауреаты московского финала   |
| 17-й Международный салон изобретений и инновационных технологий «Архимед-2014» (Конгрессно-выставочный центр «Сокольники», Москва)                                   | Апрель 2014   | Участники, представляли ДНТТМ МГДД(ю)Т  |
| Молодежная научно-практическая конференция «Региональные программы и проекты в области интеллектуальной собственности глазами молодежи» (Совет Федерации РФ, Москва) | Апрель 2014   | Участники, представляли ДНТТМ МГДД(ю)Т  |

Работа представлена как на официальных сайтах указанных конкурсов, так и опубликована в журнале «Физика – Первое сентября», № 2, 2014.