

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова**

**Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка по общему физическому
практикуму**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАБЛИЦЫ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ЗАДАЧ ПРАКТИКУМА**

Профессор Казей З. А.

Москва - 2016

При выполнении задач практикума часто приходится проводить стандартные однотипные расчеты средних величин и различных их погрешностей для серии измерений, а также вычисление величины одной и той же характеристики/функции при различных значениях аргумента. Эти расчеты значительно упрощаются при использовании программ электронных таблиц *Microsoft Excel* или *LibreOffice Calc*. Модули расчетов средних величин и погрешностей для серии измерений, сделанные для одной из задач практикума, далее можно использовать в других задачах, внося в них небольшие изменения. Практические навыки работы с электронными таблицами могут быть полезными в дальнейшей учебной и научной работе студентов, так как они часто используются для первичной обработки экспериментальных данных.

1. Общие правила работы с электронными таблицами

Вначале напомним основные правила и особенности работы с электронными таблицами на примере *Электронной таблицы Microsoft Excel* (русифицированная версия). Возможно также использование таблицы для англоязычной версии *Microsoft Excel*.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

1а) измерение высоты цилиндра H									
H _i , мм	H _{ср} , мм	ΔH _i , мм	ΔH _i ² , мм ²	S _H , мм	ΔH _{сл} , мм	ΔH _{гр} , мм	ΔH, мм	ΔH/H	
31.700	31.720	-0.020	4.00E-04	0.012	0.034	0.050	0.061	0.002	
31.750		0.030	9.00E-04						
31.700		-0.020	4.00E-04						
31.750		0.030	9.00E-04						
31.700		-0.020	4.00E-04						
		0.000	0.00E+00						
		0.000	0.00E+00						
		0.000	0.00E+00						
		0.000	0.00E+00						
		0.000	0.00E+00						

1б) измерение внешнего диаметра цилиндра D ₁									
D _i , мм	D _{ср} , мм	ΔD _i , мм	ΔD _i ² , мм ²	S _D , мм	ΔD _{сл} , мм	ΔD _{гр} , мм	ΔD, мм	ΔD/D	
25.700	25.740	-0.040	1.60E-03	0.019	0.052	0.050	0.072	0.003	
25.750		0.010	1.00E-04						
25.700		-0.040	1.60E-03						
25.750		0.010	1.00E-04						
25.800		0.060	3.60E-03						

Рис. 1. Образец оформления таблицы, содержащей константы и модуль расчета средних величин и погрешностей серии измерений. Категория содержимого ячейки (Текстовый/Числовой/...) и формат числа устанавливаются через меню (Формат, Ячейки, Число, ...)

- При выполнении некоторых задач практикума требуется представить результаты в графическом виде. Рекомендуется располагать график на отдельном листе (Вставка, Диаграмма, Точечная, Далее, Далее, отдельном ...), используя всю площадь листа, выбирать подходящие масштабы по осям X и Y и форматы представления чисел, а также указывать обозначения величин и единицы их измерения. Для удобства использования рекомендуется также применять масштабную сетку средней плотности (Диаграмма, Параметры диаграммы, Линии сетки, основные линии) для одной или двух осей. Образец графика, который используется в одной из задач практикума, приведен на рис. 3.

2. Пример таблицы обработки результатов

Таблицы обработки результатов для различных задач практикума организованы одинаковым образом. Рассмотрим организацию таблицы на примере Задачи 1.

Определение плотности тел простейшей геометрической формы. (файл Task_1_res.xls)

- Каждое упражнение в задаче представлено на отдельном листе, который выбирается внизу экрана (Упражн._1, Упражн._2).
- Константы, которые могут понадобиться при расчете, типа ускорение свободного падения g , константа π , коэффициенты Стьюдента $t_{\Delta, n}$ и т. д., приведены в начале листа в единицах системы СИ (см. ячейки B6, E6 на рис. 2) и используются далее в формулах с указанием абсолютных адресов ячеек.
- Измеряемые и рассчитываемые величины вносятся в таблицы, форма которых рекомендована в описании к задаче. Например, в первом упражнении Задачи 1 проводится несколько раз (минимум 5 раз) измерения высоты H цилиндра, результаты которых вносятся в ячейки (A10 – A19) непосредственно в единицах измерения мм. Число измерений программа определяет и указывает в ячейке G8.
- После этого электронная таблица рассчитывает по формулам, введенным в соответствующие ячейки, среднюю высоту H_{cp} цилиндра, а также различные погрешности ее измерения (смысл различных величин см. в разделе 3 настоящего описания). Так как целью настоящей задачи является изучение теории погрешностей, при расчете в ячейки таблицы вводятся формулы согласно определениям различных погрешностей, а не используются встроенные функции из категории Статистические (см., например, в файле в ячейке B10 для вычисления среднего значения H_{cp} используется формула =СУММ(A10:A19)/\$G\$8 вместо функции СРЗНАЧ(число1, число2,...)).

- Аналогичные модули используются для расчетов средних величин внешнего D_1 и внутреннего D_2 диаметров цилиндра, исходные данные для которых вносятся в ячейки (A23 – A32) и (A36 – A45), соответственно (рис. 2).
- Для дальнейших расчетов следует привести среднее значение высоты H , относительной $\Delta H/H$ и абсолютной ΔH погрешности ее измерения в единицах системы СИ. Частный вклад $(\Delta\rho/\rho)_H$ от погрешности измерения H в полную погрешность измерения плотности определяется по формуле $(\Delta\rho/\rho)_H = \Delta H/H$ в ячейке B61 (рис. 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H
47	1г) измерение массы цилиндра m							
48	m, г	m _{ср} , г	Δm, г	Δm', г'	S _m , г	Δm _{ср} , г	Δm _{нр} , г	Δm, г
49		80.210					0.010	0.01 1.25
51	масса							
52	m, кг	8.021E-02						
53	Δm, кг	1.000E-05						
54	Δm/m	1.247E-04						
55	(Δρ/ρ) _m	1.247E-04		(Δρ/ρ) _{m1} =2ΔD ₁ ΔD ₁ /(D ₁ ² -D ₂ ²)			(Δρ/ρ) _{m2} =2ΔD ₂ ΔD ₂ /(D ₁ ² -D ₂ ²)	
57	высота							
58	H, м	3.172E-02		внешний диаметр		внутренний диаметр		
59	ΔH, м	6.063E-05		D ₁ , м	2.574E-02	D ₂ , м	1.662E-02	
60	ΔH/H	1.911E-03		ΔD ₁ , м	7.242E-05	ΔD ₂ , м	6.063E-05	
61	(Δρ/ρ) _H	1.911E-03		ΔD ₁ /D	2.813E-03	ΔD ₂ /D	3.648E-03	
62				(Δρ/ρ) _{H1}	9.650E-03		(Δρ/ρ) _{H2}	1.000E-01
63		$\rho = 4m/\pi H(D_1^2 - D_2^2)$						ρ , г/см ³
64	ρ, кг/м ³		1.000E+03			латунь	???	
65	(Δρ/ρ)		1.00E-03			дюраль	???	
66	Δρ, кг/м ³		1.00E-01					

Рис. 4. Средние значения высоты H , внешнего D_1 и внутреннего D_2 диаметров и рассчитанная плотность материала цилиндра с указанием погрешностей измерения (рекомендуемая форма представления результатов; в ячейки, выделенные коричневым цветом, следует завести расчетные формулы)

- Для двух других размеров цилиндра D_1 и D_2 аналогично приведены средние значения, относительные и абсолютные погрешности измерения в единицах системы СИ.
- Частный вклад в полную погрешность измерения плотности от погрешности измерения D_1 определяется по формуле $(\Delta\rho/\rho)_{D1} = 2\Delta D_1 D_1 / (D_1^2 - D_2^2)$, введенной в ячейку E61 (для удобства эта формула приведена также в ячейке D55 в текстовом виде; рис. 4). Для вычисления частного вклада от погрешности измерения D_2 следует

скопировать эту формулу из ячейки E61 в ячейку H61 и, при необходимости, отредактировать (формула высвечивается в верхней строке под меню).

- Окончательно внизу листа для расчета плотности ρ материала цилиндра, полной абсолютной и относительной погрешностей измерения плотности следует ввести формулы в ячейки C63 – C65 (рис. 4), используя значения средних размеров и частных погрешностей измерения из строк 58 и 61.

3. Работа с готовой таблицей обработки Task_1_res.xls

Таблицу обработки результатов можно сделать самостоятельно, или использовать готовые файлы этих таблиц. Готовые файлы таблиц можно скопировать на внешний флеш - накопитель и использовать на PC, на котором установлен Microsoft Office 2000-2010 или LibreOffice 4-5 (русскоязычные или англоязычные версии). При использовании **готовых таблиц обработки результатов** задач практикума (например, файл Task_1_res.xls) следует пользоваться следующими рекомендациями.

Измеренные величины, а также константы, которые могут понадобиться при расчете, вводятся в **ячейки таблицы, выделенные красным цветом. Ячейки таблицы**, в которые следует **ввести/отредактировать формулы для расчета выделены коричневым цветом. Остальные ячейки таблицы**, в которые заведены не требующие изменения формулы, **должны оставаться без изменения** (эти ячейки закрыты для записи).

Для выполнения расчетов необходимо

I. Ввести **измеренные величины H_i** непосредственно в единицах измерения мм по порядку в ячейки A10 ... A19 (неиспользуемые ячейки в конце должны оставаться пустыми)

II. Задать/проверить значение **коэффициента Стьюдента $t_{\Delta, n}$** (в оригинале 2.8).

Коэффициент Стьюдента $t_{\Delta, n}$ зависит от доверительного интервала Δ и числа измерений n

III. Ввести значение приборной погрешности **ΔH_{np}** – половина цены деления измерительного прибора

IV. Аналогично (согласно пунктам I - III) заполняется модули для вычисления средних величин внешнего D_1 и внутреннего D_2 диаметров цилиндра

V. Ввести в ячейку A49 **измеренную величину m** массы цилиндра (достаточно 1 измерения) непосредственно в единицах измерения г и значение приборной погрешности **Δm_{np}** (половина единицы последнего разряда на цифровом табло)

VI. Электронная таблица автоматически рассчитывает:

1) число измерений n_H в серии (ячейка G8)

2) $H_{cp} = (1/n_H) \sum_i H_i$ – среднее значение для серии измерений $\{H_i\}$

3) $\Delta H_i = (H_i - H_{cp})$ – отклонение каждого измеренного значения H_i в серии от средней величины H_{cp}

4) $\Delta H_i^2 = (H_i - H_{cp})^2$ – квадрат отклонения каждого измеренного значения H_i в серии от средней величины H_{cp}

5) $S_H = \sqrt{\sum_i (H_i - H_{cp})^2 / (n_H (n_H - 1))}$ – средне квадратичное (стандартное) отклонение для серии из n измерений $\{H_i\}$ (доверительная вероятность 0.67)

6) $\Delta H_{cl} = S_H t_{\Delta, n}$ – случайная абсолютная ошибка серии из n измерений $\{H_i\}$ для выбранной доверительной вероятности Δ

6) $\Delta H = \sqrt{\Delta H_{cl}^2 + \Delta H_{np}^2}$ – полная абсолютная ошибка

7) $\Delta H/H = \Delta H/H_{cp}$ – полная относительная ошибка

8) аналогично выполняются расчеты средних величин и погрешностей измерения для внешнего D_1 и внутреннего D_2 диаметров цилиндра **все рассчитываемые величины в таблице имеют 1 – 2 лишние значащие цифры сверх точности измерения**

9) Для дальнейших расчетов следует привести среднее значение высоты H , относительной $\Delta H/H$ и абсолютной ΔH погрешности ее измерения **в единицах системы СИ**. Частный вклад $(\Delta \rho/\rho)_H$ от погрешности измерения H в полную погрешность измерения плотности определяется по формуле $(\Delta \rho/\rho)_H = \Delta H/H$ в ячейке B61 (рис. 4).

10) Для двух других размеров цилиндра D_1 и D_2 аналогично приведены средние значения, относительные и абсолютные погрешности измерения в единицах системы СИ.

11) Частный вклад в полную погрешность измерения плотности от погрешности измерения D_1 определяется по формуле $(\Delta \rho/\rho)_{D1} = 2\Delta D_1 D_1 / (D_1^2 - D_2^2)$ в ячейке E61 (рис. 4). Для вычисления частного вклада $(\Delta \rho/\rho)_{D2} = 2\Delta D_2 D_2 / (D_1^2 - D_2^2)$ от погрешности измерения D_2 следует скопировать формулу из ячейки E61 в ячейку H61 и, при необходимости, отредактировать ее. (рис. 4)

12) Окончательно внизу листа для расчета плотности ρ материала цилиндра, полной абсолютной и относительной погрешностей измерения плотности следует ввести формулы в ячейки (C63 – C65), выделенные коричневым цветом (рис. 4), используя значения средних размеров и частных относительных погрешностей измерения из строк 58 и 61. Для удобства пользования формулы, по которым проводятся расчеты, приведены в текстовом виде в ячейках D55 и G55 (выделены в файле синим цветом).

13) После завершения расчетов следует *записать рассчитанные величины в таблицы в рабочей тетради*, оставив необходимое число значащих цифр в соответствии с теорией ошибок (можно распечатать и вклеить таблицы в тетрадь).

При выполнении второго упражнения используется второй лист Упражн._2 электронной таблицы, который организован аналогичным образом (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
47	1) измерение массы параллелепипеда m								
48	m, г	m _{ср} , г	Δm, г	Δm ² , г ²	S _m , г	Δm _{ср} , г	Δm _{нр} , г	Δm, г	Δm/m
49	14.710	14.710					0.010	0.010	0.0
51	масса								
52	m, кг	1.471E-02							
53	Δm, кг	1.000E-05							
54	Δm/m	6.798E-04							
55	(Δρ/ρ) _m	6.798E-04		(Δρ/ρ) _m =ΔB/B			(Δρ/ρ) _c =ΔC/C		
57	длина		ширина		толщина				
58	A, м	4.618E-02	B, м	2.924E-02	C, м	8.088E-03			
59	ΔA, м	1.708E-04	ΔB, м	2.492E-04	ΔC, м	1.415E-04			
60	ΔA/A	3.698E-03	ΔB/B	8.521E-03	ΔC/C	1.749E-02			
61	(Δρ/ρ) _A	3.698E-03	(Δρ/ρ) _B	1.000E-01	(Δρ/ρ) _C	1.000E-01			
63	ρ = m/A/B/C						ρ, г/см ³		
64	ρ, кг/м ³	1.000E+03				гетинакс (1.30 - 1.40)			
65	(Δρ/ρ)	1.00E-03				текстолит (1.30 - 1.40)			
66	Δρ, кг/м ³	1.00E-01							

Рис. 5. Средние значения размеров A , B , C и рассчитанная плотность материала бруска с указанием погрешностей измерения (рекомендуемая форма представления результатов; в ячейки, выделенные коричневым цветом, следует завести расчетные формулы)

Рекомендуется сравнить полученные значения плотности материала цилиндра и бруска с известными из литературы значениями