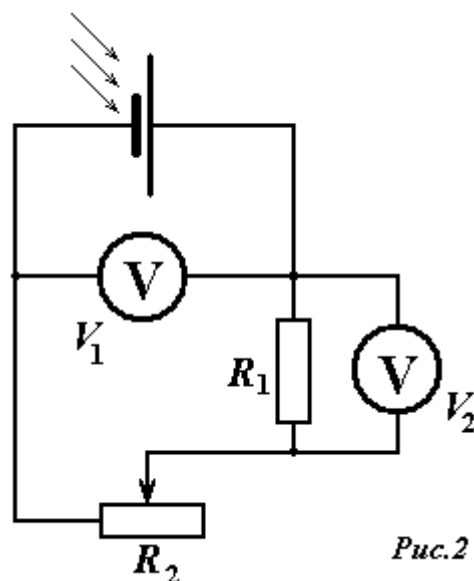
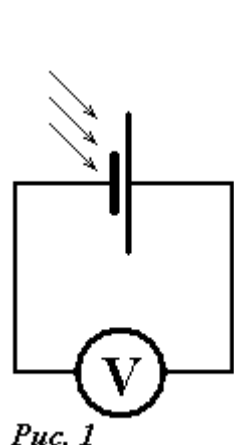


РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА

- a) Так как сопротивление вольтметра значительно больше внутреннего сопротивления солнечного элемента, то для измерения ЭДС достаточно подключить вольтметр к освещенному элементу и измерить его показания (Рис.1). Значение $E \approx 0,5$ В.



- b) Для измерения зависимости силы тока от напряжения на внешней цепи можно использовать следующую схему (Рис. 2). Здесь $R_1 = 1,00 \pm 0.01$ Ом - известное сопротивление. Показания вольтметра V_2 позволяют определить силу тока в цепи. Изменяя сопротивление переменного резистора, можно изменять силу тока в цепи. Результаты измерений приведены в Таблице 1. График зависимости показан на рис. 3.



Таблица результатов измерений.

V_1, mV	V_2, mV	I, mA	$R = R_1 + R_2, \Omega$	P, mW	$1/I, (1/A)$
23	22	22	1,05	0,51	45,45
40	22	22	1,82	0,88	45,45
64	22	22	2,91	1,41	45,45
129	22	22	5,86	2,84	45,45
153	22	22	6,95	3,37	45,45
178	22	22	8,09	3,92	45,45
202	22	22	9,18	4,44	45,45
250	22	22	11,36	5,50	45,45
294	21	21	14,00	6,17	47,62
333	21	21	15,86	6,99	47,62
354	20	20	17,70	7,08	50,00
382	19	19	20,11	7,26	52,63
403	18	18	22,39	7,25	55,56
419	17	17	24,65	7,12	58,82
431	16	16	26,94	6,90	62,50
441	15	15	29,40	6,62	66,67
447	14	14	31,93	6,26	71,43
456	13	13	35,08	5,93	76,92
461	12	12	38,42	5,53	83,33
465	11	11	42,27	5,12	90,91
467	10	10	46,70	4,67	100,00
471	9	9	52,33	4,24	111,11
476	8	8	59,50	3,81	125,00
479	7	7	68,43	3,35	142,86
482	6	6	80,33	2,89	166,67

- с) Для более точного определения характеристик солнечного элемента следует линеаризовать формулу закона Ома для полной цепи, что можно сделать различными способами.

Способ 1. Из закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1)$$

следует, что зависимость $\frac{1}{I}$ от сопротивления внешней цепи R должна быть линейной при выполнении условия постоянства ЭДС и внутреннего сопротивления

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{E}R + \frac{r}{E}. \quad (2)$$

График этой зависимости, построенный по данным Таблицы 1, приведен ниже (Рис. 4).

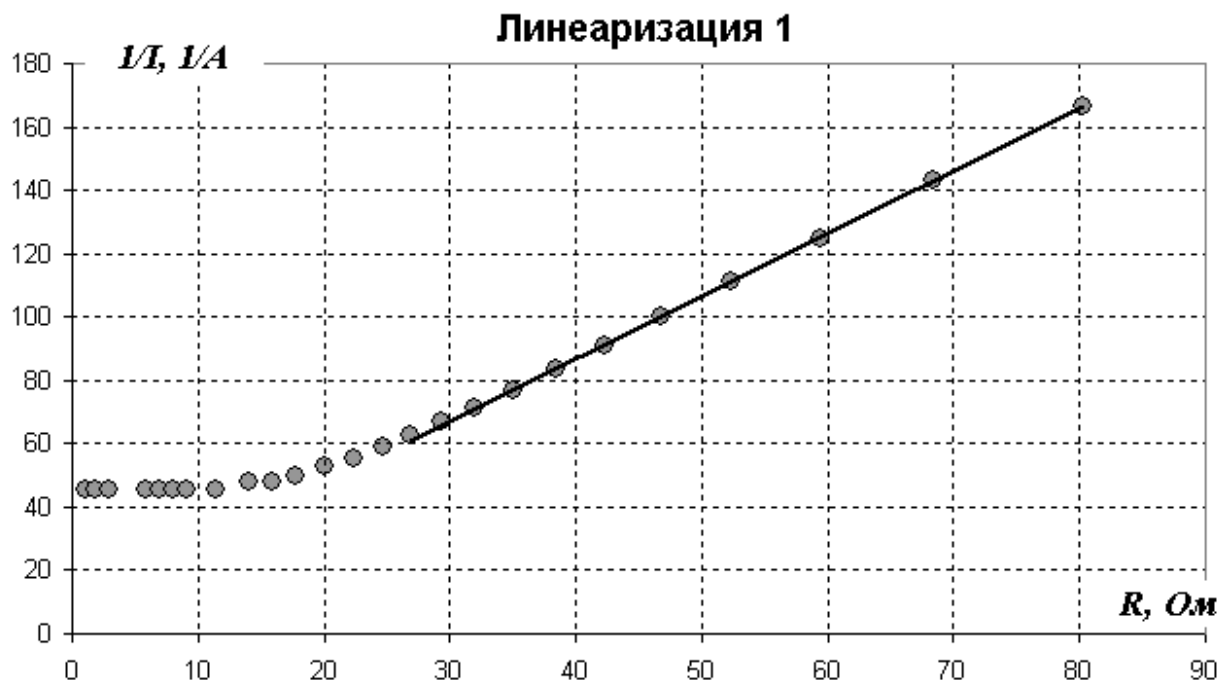


Рис. 4

Из данного графика следует, что при токах меньших 15 мА высказанные предложения выполняются, так как в этой области построенная зависимость является линейной.

Параметры зависимости $\frac{1}{I} = aR + b$, рассчитанные по методу наименьших квадратов, равны

$$a = (1,98 \pm 0,02) \text{ В}^{-1}$$

$$b = (7,7 \pm 0,9) \text{ А}^{-1}$$

Используя выражения для этих коэффициентов, следующие из уравнения (2), определяем характеристики солнечного элемента

$$E = \frac{1}{a} \approx 0,506 \text{ В}, \quad \Delta E = E \frac{\Delta a}{a} \approx 0,005 \text{ В},$$

$$r = \frac{b}{a} \approx 3,9 \text{ Ом}, \quad \Delta r = r \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2} \approx 0,5 \text{ Ом}$$

Способ 2 (традиционный) Построим зависимость напряжения на внешней цепи от силы тока, которая выражается функцией

$$U = E - Ir. \quad (3)$$

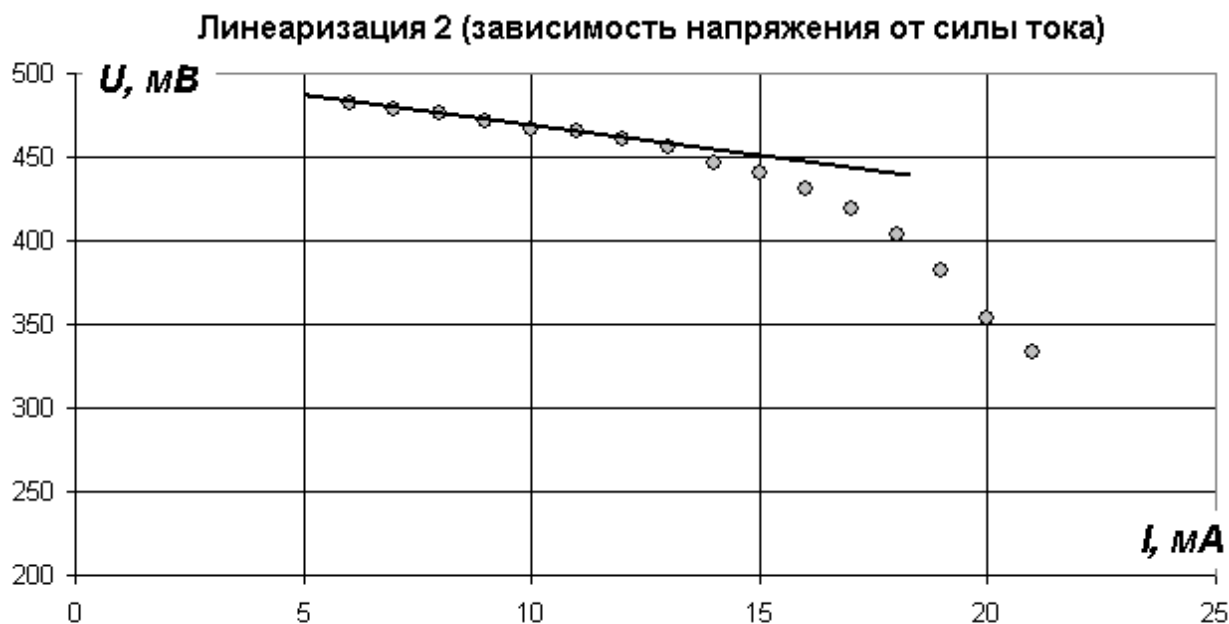


Рис. 5

График этой зависимости показан на рис. 5. Проводя прямую по нескольким начальным точкам, получаем следующие значения характеристик элемента (рассчитанные по МНК)

$$E = (508 \pm 7) \text{ мВ}, \quad r = (4,1 \pm 0,6) \text{ Ом}$$

- d) В соответствии с законами Ома и Джоуля-Ленца мощность, выделяющаяся во внешней цепи, равна

$$P = I^2 R = \left(\frac{E}{R + r} \right)^2 R.$$

Мощность максимальна, когда производная обращается в нуль –

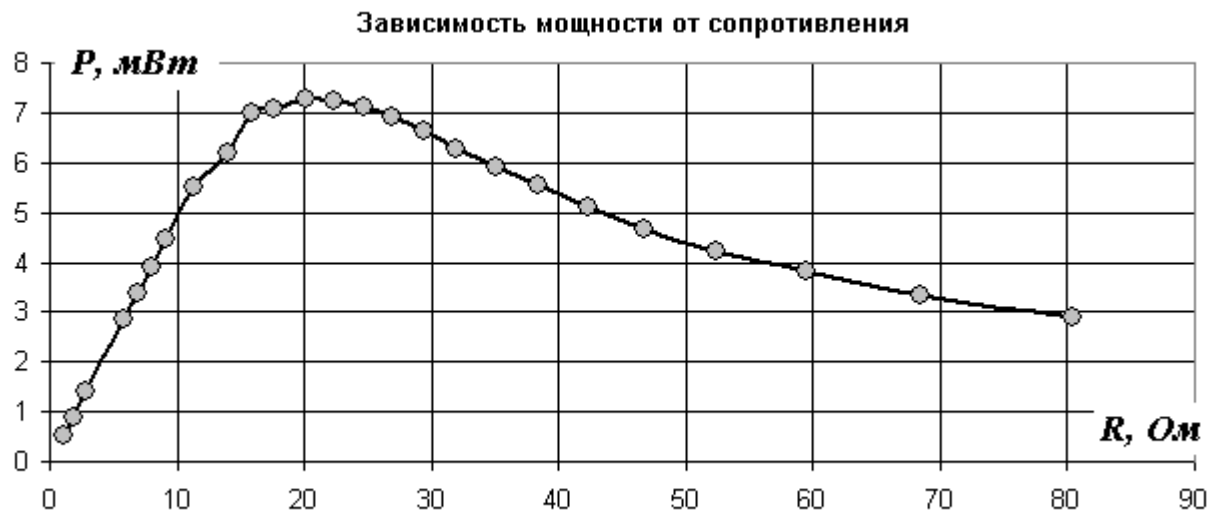
$$\left(\frac{R}{(R + r)^2} \right)' = \frac{(R + r)^2 - 2R(R + r)}{(R + r)^4} = \frac{r^2 - R^2}{(R + r)^4} = 0.$$

Из этого уравнения следует, что мощность максимальна в том случае, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источнику $r = R$.

- e) По экспериментальным данным легко рассчитать мощность и сопротивление внешней цепи

$$R = \frac{U}{I}, \quad P = UI.$$

Результаты расчетов приведены в таблице и на графике 6.

**Рис. 6**

Максимальная мощность достигается при сопротивлении внешней цепи равной $R \approx 20 \text{ Ом}$ и равна $P \approx 7,3 \text{ мВт}$. Это сопротивление превышает теоретическое значение в

$$\eta \approx \frac{20}{4} \approx 5 \text{ раз.}$$

- f) Максимальное значение силы тока равно $I_{\max} = 22 \text{ мА}$. Следовательно, коэффициент заполнения равен

$$K = \frac{P_{\max}}{I_{\max} \cdot E} = \frac{7,3}{22 \cdot 0,50} \approx 0,66.$$

Схема оценивания экспериментального тура.

Пункт	Содержание	Подразделы	баллы	Сумма
а	Измерение ЭДС (1 балл)	схема	0,5	1,0
		Численное значение (примерно 0,5 В – 0,9В)	0,5	
b	Проведение измерений (5 баллов)	Схема измерений (используется как амперметр)	1,0 (-0,5)	1,0
		Результаты измерений: - до 10 точек; - 10 и более точек; - есть две области – примерно постоянного тока и резкого спада при малых токах; - минимальный ток менее 10 мА;	(0,5) 1,0 1,0 0,5	2,5
		Построение графика: - разумный масштаб; - оси подписаны и оцифрованы; - точки нанесены, проведена сглаживающая;	0,5 0,5 0,5	1,5
с	ЭДС и сопротивление при малых токах (3 балла)	Проведена линейаризация, выделена область линейности; (получены значения по 1 – 2 точкам)	1 (0,5)	1
		Получено значение ЭДС (отличие не более 20%); Оценена погрешность;	0,5 0,5	1
		Получено значение внутреннего сопротивления (от 1 до 10 Ом); Оценена погрешность;	0,5 0,5	1
d	Теоретическое значение (1 балл)	- формула для мощности; -экстремум;	0,5 0,5	1
e	Зависимость мощности от сопротивления (3 балла)	- формулы для мощности и сопротивления (через ток и напряжение); - расчет значений для всех экспериментальных точек; - построение графика (оси, точки, сглаживающая); - численное значение сопротивления, при котором мощность максимальна, отношение к теоретическому (около 4 - 5)	0,5 0,5 1,0 1,0	3
f	Коэффициент заполнения (2 балла)	- использовано значение ЭДС из пункта (с); - максимальная сила тока из пункта (b); - численное значение коэффициента от 0,5 до 0,7	0,5 0,5 1	2