

Условие

Задание 10-2. Разрядка гальванического элемента

Приборы и оборудование: гальванический элемент 1,5 В, цифровой мультиметр, секундомер, постоянный резистор 1,0 Ом, переменный резистор (проволочный реостат) 10 Ом, переключатель двухполюсный, соединительные провода.

Внимание!

1. Убедитесь (в течение 5 минут после начала Вашего рабочего времени), что начальная ЭДС источника не менее 1,3 В, в противном случае попросите у членов оргкомитета заменить его.

2. Скользящие контакты проволочного реостата могут немного отходить от его обмотки, поэтому регулярно поджимайте их пальцами.

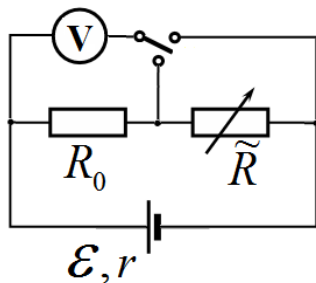
Гальванические элементы, как и все источники тока, характеризуются двумя параметрами: ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . Кроме того, часто на элементах указывают зарядовую емкость Q , измеряемую в мА·час (миллиампер·час).

В данной работе Вам необходимо исследовать характеристики промышленного гальванического элемента и их изменения в ходе разрядки батарейки.

Часть 1. Нагрузочная характеристика.

Вам необходимо получить характеристики гальванического элемента дважды: «свежего» и после его разрядки. Поэтому проведите сначала измерения со свежим элементом, потом выполните задания части 2, после чего проведите измерения данной части задания с частично разрядившимся элементом.

В данной части работы Вам необходимо измерить с высокой точностью характеристики гальванического элемента, поэтому в ходе измерения одной зависимости они должны оставаться постоянными. Однако гальванический элемент постепенно разряжается, поэтому измерения надо проводить быстро, но не спеша. Подключайте элемент к цепи только на время проведения измерений.



Для точного измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источников тока измеряют, так называемую, нагрузочную характеристику – зависимость напряжения на внешней цепи от силы тока через нее $U(I)$.

Для измерения такой характеристики используйте электрическую цепь, показанную на рисунке. Здесь R_0 – эталонный резистор (используйте резистор 1,0 Ом, сопротивление которого считайте известным и постоянным), $\tilde{R}$ – переменный резистор (используйте проволочный реостат с сопротивлением 10 Ом). Мультиметр используйте в режиме измерения напряжения. Переключая точки подключения вольтметра, Вы можете измерять напряжение на эталонном резисторе U_0 и напряжение на всей внешней цепи U .

Все результаты измерений занесите в Таблицу 1 в Листах ответов. Используйте единицы измерения, указанные в этой таблице.

Графики для одинаковых зависимостей стройте на одном бланке.

1.1 Запишите теоретическую формулу, описывающую зависимость напряжения на внешней цепи от силы тока через нее $U(I)$.

1.2 Запишите формулы, позволяющие по результатам измерения напряжений U_0 , U и известному сопротивлению R_0 рассчитать: силу тока в цепи I ; сопротивление внешней цепи R ; мощность, выделяющуюся во внешней цепи P при протекании тока.

1.3 Измерьте зависимость напряжения на внешней цепи U от силы протекающего по ней тока I . Измерения проведите дважды: первый раз со «свежим» элементом, второй – после того, как элемент разрядится в ходе выполнения заданий Части 2.

1.4 Постройте графики полученных зависимостей.

1.5 Укажите каким способом по полученной зависимости $U(I)$ можно рассчитать характеристики элемента ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление r .

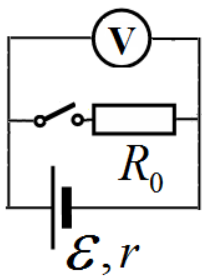
1.6 Используя полученные экспериментальные зависимости, рассчитайте максимально точно значения ЭДС элемента $\mathcal{E}$ и его внутреннее сопротивление r для двух случаев. Оцените погрешности найденных значений. Укажите, каким способом Вы провели расчеты.

1.7 Используя полученные данные, постройте графики зависимости мощности тока на внешней цепи P от ее сопротивления R . Результаты расчетов этих величин занесите в соответствующие столбцы таблицы 1.

1.8 Покажите, что максимальная мощность тока во внешней цепи достигается, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника $R = r$. Запишите формулу для максимальной мощности тока во внешней цепи.

1.9 По результатам измерений рассчитайте, какими могут быть максимальные мощности тока во внешней цепи. Укажите, при каких сопротивлениях внешней цепи они достигаются.

Часть 2. Разрядка гальванического элемента



Измерения данной части можно провести только один раз: во-первых, его длительность составляет более получаса; во-вторых, в ходе его проведения гальванический элемент сильно разрядится. Тщательно продумайте последовательность своих действий и подготовьтесь к проведению измерений!

В этой части задания Вы должны исследовать изменение характеристик гальванического элемента при его разрядке. Для проведения измерений используйте электрическую цепь, схема которой показана на рисунке. Используйте резистор $R_0 = 1,0$ Ом.

При замкнутом ключе вольтметр измеряет напряжение на резисторе R_0 - U , при разомкнутом - некоторой напряжение U_1 .

2.1 Получите формулы, позволяющие по измеренным значениям напряжений U и U_1 , а также известному сопротивлению R_0 , рассчитать ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление источника r . Проведите измерения в следующей последовательности (все результаты измерений заносите в Таблицу 2 Листов ответов):

- 1) соберите цепь, показанную на рисунке, при отключенном элементе;
- 2) подготовьте секундомер для измерения времен;
- 3) подключите источник при замкнутом ключе; через каждую минуту (начиная с нулевой)

записывайте значения напряжения U . По истечении 5 минут (последнее значения напряжения также надо измерить) разомкните ключ, остановите секундомер, измерьте значение U_1 (это надо сделать достаточно быстро).

4) замкните ключ, одновременно запустите секундомер и в течение следующих 5 минут, проводите измерения значений напряжений U (через каждую минуту).

Проведите измерения таким методом в течение 30 минут.

1. Проведите измерения по приведенной методике, результаты занесите в Таблицу 2. 2. Постройте график зависимости силы тока в цепи от времени. 3. Рассчитайте значения ЭДС и внутреннего сопротивления в моменты остановок (т.е. через каждые 5 минут). Эти значения следует внести в выделенные ячейки Таблицы 2 и итоговую Таблицу 3. 4. Рассчитайте значения электрического заряда Q , который протек через цепь за время t от начала измерений (эти времена указаны в первом столбце Таблицы 2). Кратко опишите, как вы рассчитали величины зарядов Q . 5. Постройте графики зависимости ЭДС гальванического элемента и его внутреннего сопротивления от протекшего заряда Q . 6. Рассчитайте и постройте график зависимости максимальной мощности $P_{\max}$, которую может развивать гальванический элемент во внешней цепи, от прошедшего заряда Q . 7. Считая, что полученная в п.2.7 зависимость выполняется в течение всего времени работы гальванического элемента до его полной разрядки, оцените зарядовую емкость (в мА·час) такого элемента до начала его использования.

Решение

Задание 10-2. Разрядка гальванического элемента Решение.

Часть 1. Нагрузочная характеристика.

1. Формула зависимости напряжения от силы тока

Из закона Ома для полной цепи $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$, следует, что напряжение на внешней цепи ($U = IR$) равно

$$U = \varepsilon - IR$$

1. Расчетные формулы для силы тока, сопротивления цепи и мощности тока

Формулы следуют из законов Ома и Джоуля - Ленца:

Сила тока $I = \frac{U_0}{R_0}$;

Сопротивление внешней цепи: $R = \frac{U}{I}$;

Мощность тока во внешней цепи: $P = UI$.

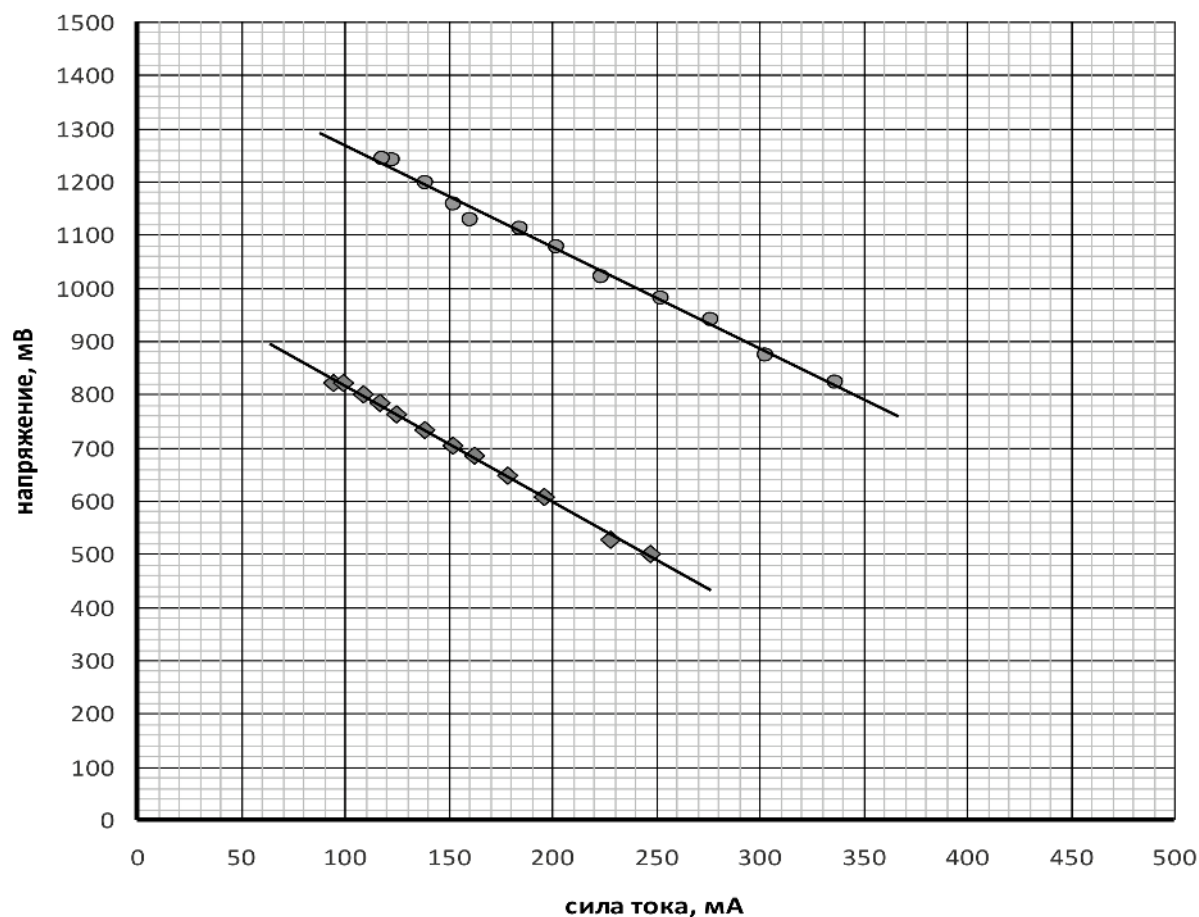
1. Результаты измерений и расчетов нагрузочной характеристики.

Таблица 1.

«свежий» элемент	разряженный элемент								
$U_0, мВ$	$U, мВ$	$I, мА$	$R, Ом$	$P, мВт$	$U_0, мВ$	$U, мВ$	$I, мА$	$R, Ом$	$P, мВт$
123	1239	123	10,07	152	94	821	94	8,73	77
118	1243	118	10,53	147	99	823	99	8,31	81
139	1196	139	8,60	166	109	800	109	7,34	87
153	1158	153	7,57	177	117	784	117	6,70	92
161	1128	161	7,01	182	125	763	125	6,10	95
185	1112	185	6,01	206	138	733	138	5,31	101
202	1078	202	5,34	218	152	704	152	4,63	107
224	1021	224	4,56	229	162	687	162	4,24	111
253	981	253	3,88	248	178	647	178	3,63	115
277	940	277	3,39	260	196	609	196	3,11	119
303	872	303	2,88	264	228	529	228	2,32	121
337	821	337	2,44	277	247	502	247	2,03	124

1.

Нагрузочные характеристики



Графики зависимости напряжения от силы тока 2. Метод расчета характеристик элемента

Из формулы п. 1.1 следует, что внутреннее сопротивление равно коэффициенту наклона графика (с обратным знаком), а ЭДС – сдвигу графика.

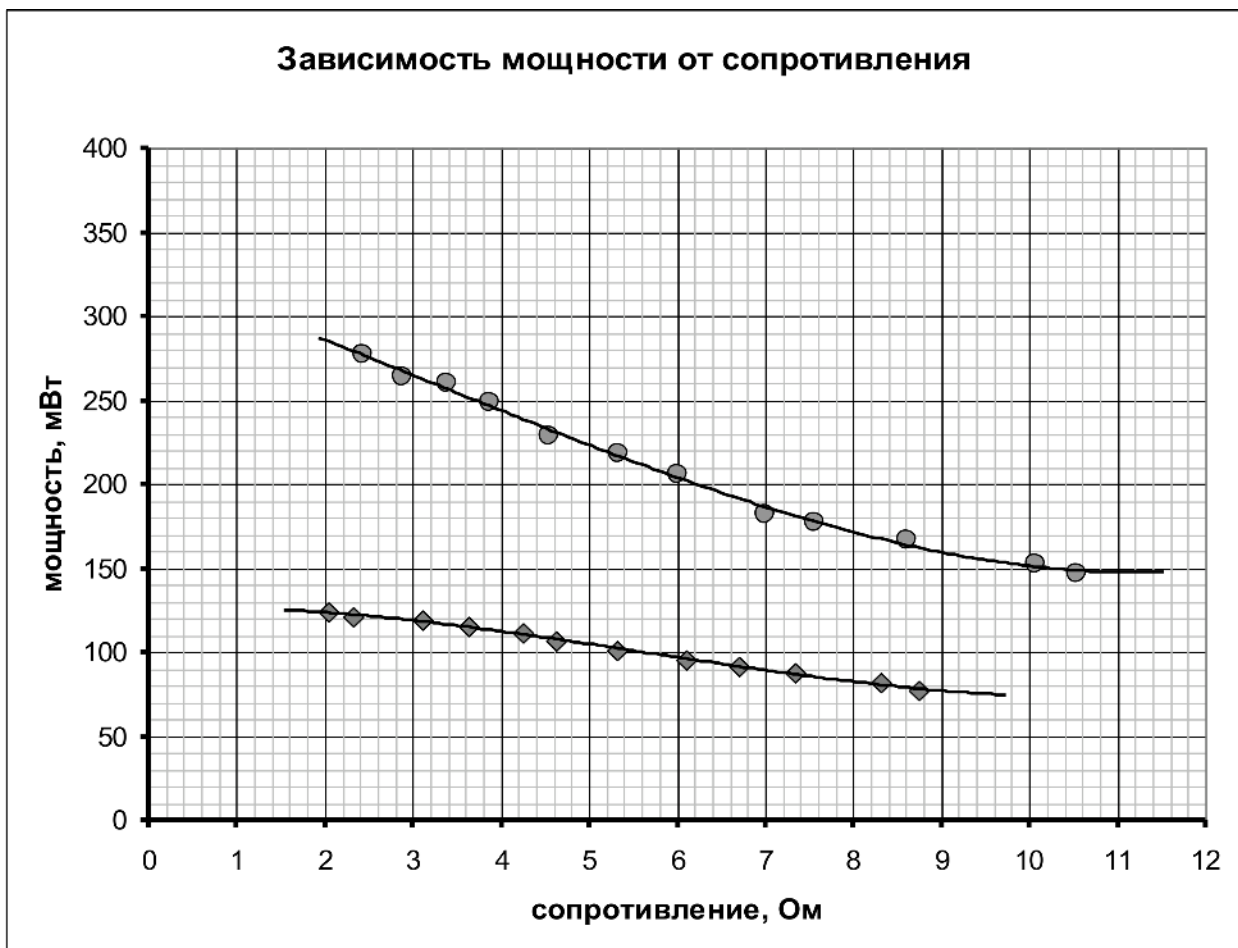
1. Значения параметров элемента и их погрешности

	Свежий элемент	Разряженный элемент
ЭДС ε	1460 мВ	1035 мВ
погрешность $\Delta\varepsilon$	20 мВ	10 мВ
внут. сопротивление r	1,91 Ом	2,18 Ом
Погрешность сопротивления Δr	0,10 Ом	0,06 Ом

Метод расчета, расчетные формулы

Использован МНК

1. Графики зависимости мощности от сопротивления



1.8 Доказательство того, что максимальная мощность во внешней цепи при $R = r$.
 Мощность во внешней цепи описывается функцией

$$P = \varepsilon^2 \frac{R}{(R + r)^2}$$

Максимум этой функции достигает при $R = r$
 Формула для максимальной мощности

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

1.9 Численные значения максимальной мощности

	Свежий элемент	Разряженный элемент
Максимальная мощность	279 мВт	123 мВт

Часть 2. Разрядка гальванического элемента

2.1 Формулы для расчета ЭДС и внутреннего сопротивления

$$\varepsilon = U_1, r = R_0 \left(\frac{U_1}{U} - 1 \right)$$

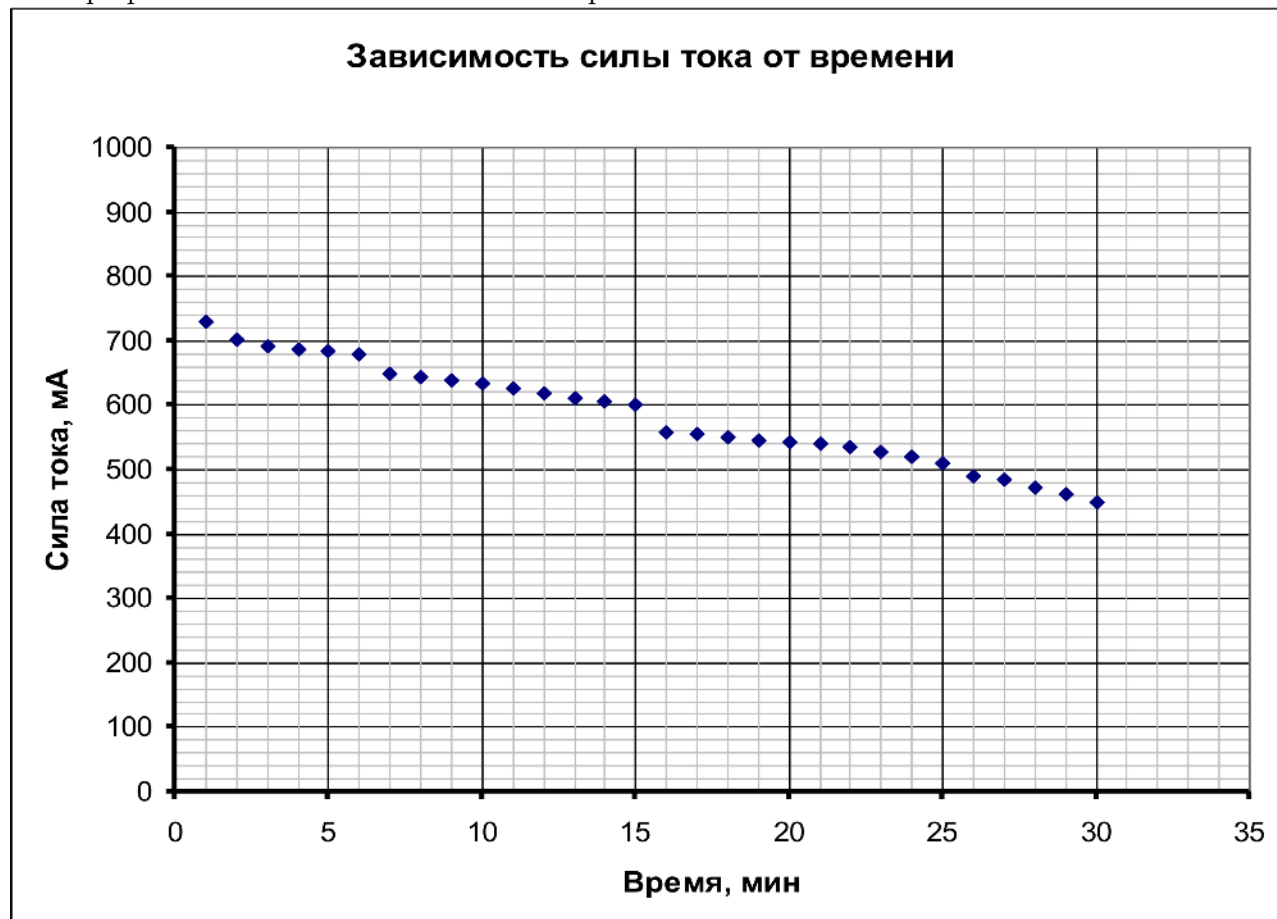
2.2 – 2.5 Таблица результатов измерений

общее время	интервал 0-5 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
0	0	800	0,00	1446		0,888
1	1	730	12,75			
2	2	702	24,68			
3	3	693	36,31			
4	4	687	47,81			
5	5	684	59,23	1262		0,930
	интервал 5-10 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
	0	684	59,23			
6	1	680	70,60			
7	2	649	81,68			
8	3	643	92,44			
9	4	639	103,13			
10	5	635	113,74	1235		1,039
	интервал 10-15 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
	0	635	113,74			
11	1	626	124,25			
12	2	618	134,62			
13	3	612	144,87			
14	4	606	155,02			
15	5	600	165,07	1214		1,126
	интервал 15-20 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
	0	600	165,07			
16	1	559	174,73			
17	2	555	184,01			
18	3	550	193,22			
19	4	545	202,34			
20	5	542	211,40	1170		1,275
	интервал 20-25 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
	0	542,0	211,4			
21	1	541	220,43			
22	2	535	229,39			
23	3	528	238,25			
24	4	520	246,98			
25	5	511	255,58	1098		1,264
	интервал 25-30 мин					
	<i>t, мин</i>	<i>U, мВ</i>	<i>Q, мА·час</i>	<i>ЭДС, мВ</i>		<i>r_{вн}, Ом</i>
	0	500	255,575			
26	1	490	263,92			
27	2	484	272,03			
28	3	473	280,01			
29	4	461	287,79			
30	5	450	295,38	1036		1,432

Итоговая Таблица 3. Характеристики элемента в зависимости от протекшего заряда

t , мин	Q , мА·час	ЭДС ε , мВ	r , Ом	$P_{\max}$, мВт
0	0	0,0	1446	0,888
5	5	59,2	1262	0,930
10	10	113,7	1235	1,039
15	15	165,1	1214	1,126
20	20	211,4	1170	1,275
25	25	255,6	1098	1,264
30	30	295,4	1036	1,432

2.3 График зависимости силы тока от времени



2.5 Методика расчета протекшего заряда Q

Необходимо численно суммировать (интегрировать) зависимость силы тока от времени.

В начальный момент $Q = 0$;

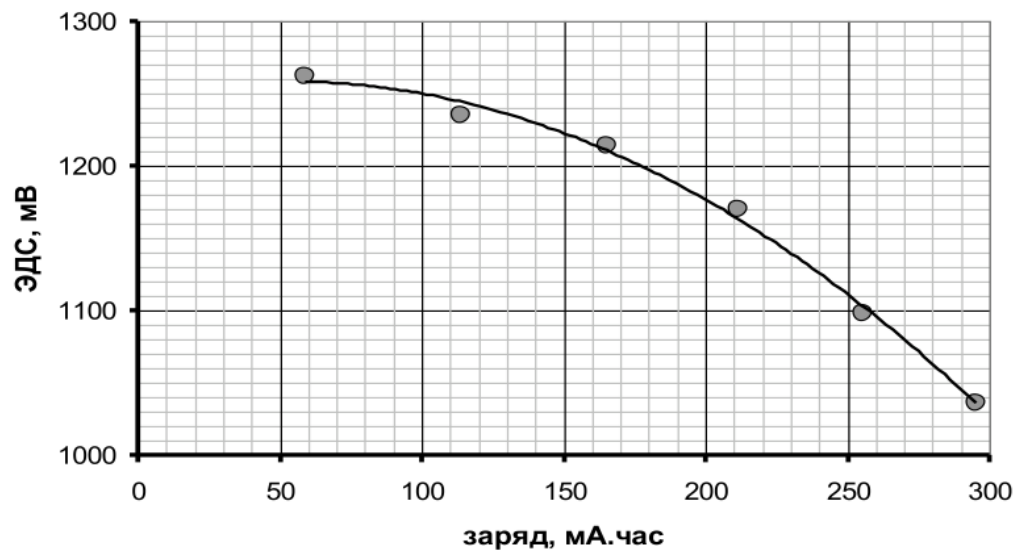
Далее последовательно рассчитываем

$$Q_k = Q_k + \frac{I_{k-1} + I_{k+1}}{2} \Delta t$$

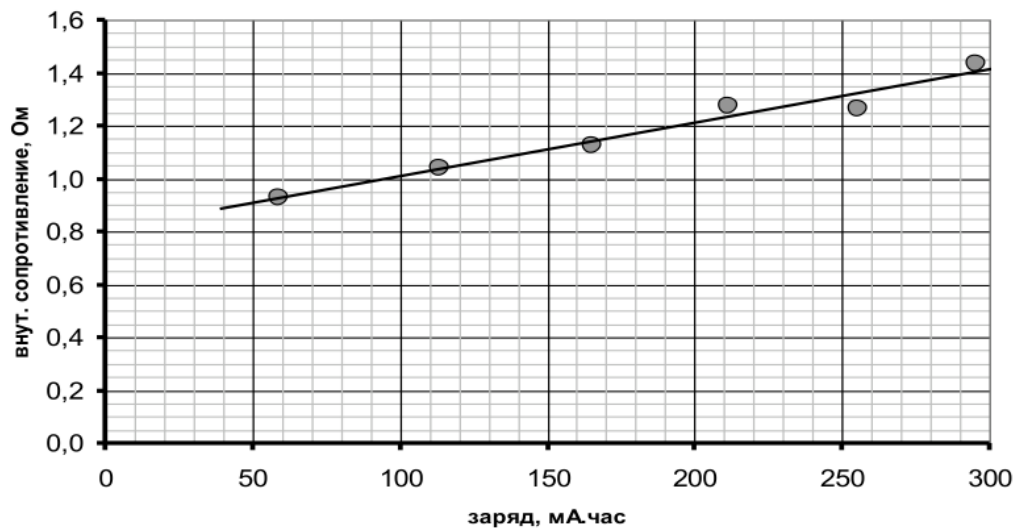
Чтобы получить результат в мА час, учтем, что $\Delta t = 1 \text{ мин} = \frac{1}{60} \text{ час}$

2.6 Графики зависимости ЭДС и внутреннего сопротивления от протекшего заряда.

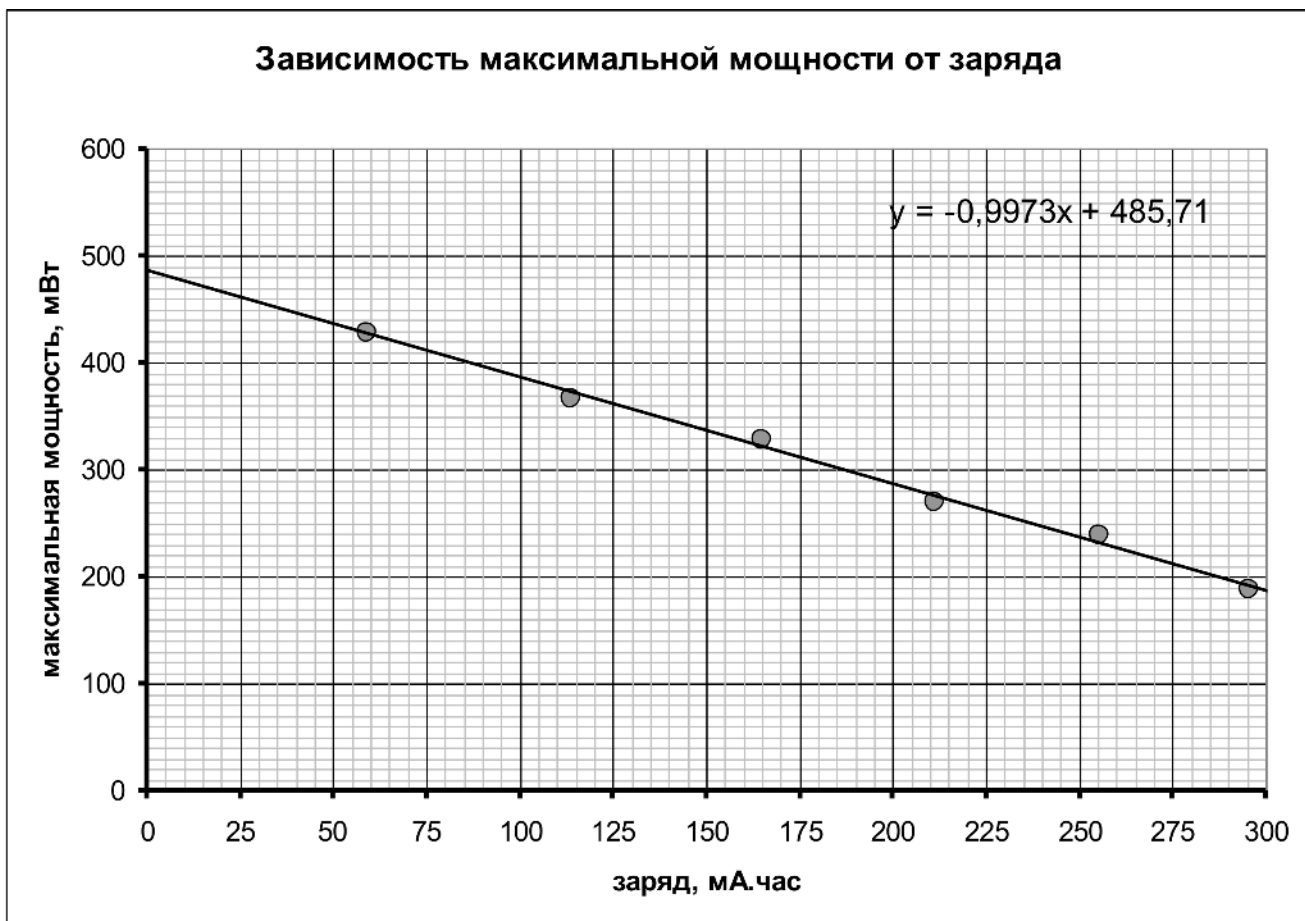
Зависимость ЭДС от заряда



Зависимость сопротивления от заряда



2.7 Зависимость максимальной мощности от заряда



2.8 Метод расчета начальной зарядовой емкости и ее численное значение.

Полученный график, как это не странно линейный. По нему легко найти коэффициент наклона (странно, но практически равен 1), и параметр сдвига по точке пересечения с осью P (примерно 500). Из этого следует, что мощность станет равной нулю при протекшем заряде примерно равном $Q \approx 500 \text{ мА} \cdot \text{час}$, это и есть ее зарядовая емкость.