

# ВАХ – какие графики! Приборы и оборудование

## Условие

### Задание 2. ВАХ – какие графики!

**Приборы и оборудование:** источник питания 4,5 В, мультиметр, реостат 6 Ом, лампочка от новогодней гирлянды, ключ, резистор с неизвестным сопротивлением, резистор 1,0 Ом соединительные провода.

> *Предупреждение!* Если в качестве источника Вы используете батарейку, то помните, что она разряжается, особенно при больших силах тока. Поэтому подключайте цепь к источнику только во время проведения измерений, для этого вам выдан электрический ключ!

Вам необходимо провести измерения в максимально возможном диапазоне напряжений. Мультиметр хорошо работает только в режиме измерения напряжения. Используйте резистор известного сопротивления для измерения силы тока в цепи.

Не забудьте нарисовать электрические схемы, использованные вами при проведении измерений и использованные Вами расчетные формулы.\*

**1.1** Исследуйте зависимость силы тока резистор неизвестного сопротивления от напряжения на нем. Постройте вольтамперную характеристику резистора (зависимость силы тока через резистор от напряжения на нем). Определите сопротивление резистора, оцените погрешность измеренного значения.

**1.2** Исследуйте зависимость силы тока через лампочку от напряжения на ней. Постройте вольтамперную характеристику лампочки. Объясните качественно вид полученной зависимости. *Достаточно двух предложений.*

**1.4** Используя результаты, полученные в п. 1.1 и 1.2 постройте график зависимости силы тока от напряжения для параллельно соединенных резистора и лампочки. Исследуйте экспериментально и постройте экспериментальный график вольтамперной характеристики этой пары. Сравните результаты теоретических расчетов и ваших измерений.

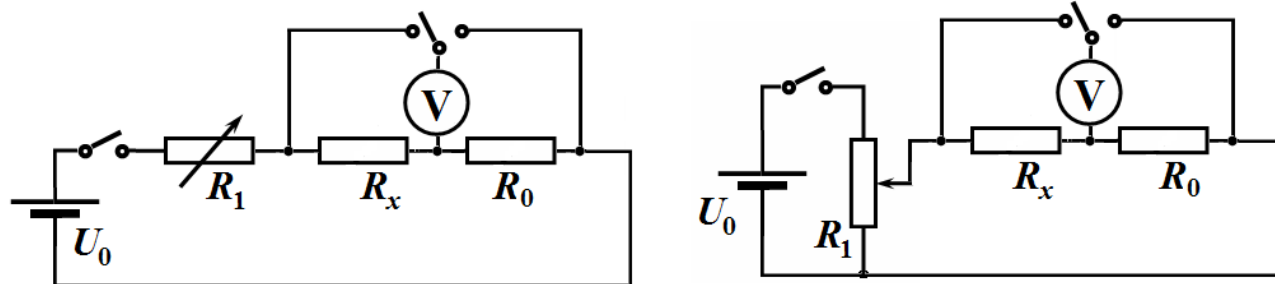
**1.5** Используя результаты, полученные в п. 1.1 и 1.2 постройте график зависимости силы тока от напряжения для последовательно соединенных резистора и лампочки. Исследуйте экспериментально и постройте экспериментальный график вольтамперной характеристики этой пары. Сравните результаты теоретических расчетов и ваших измерений.

## Решение

### Задание 9-2. ВАХ – какие графики!

Для проведения измерений в максимально возможном диапазоне напряжений следует использовать две традиционные схемы подключения реостата: по схеме потенциометра и по

схеме переменного последовательного резистора.



Для измерения силы тока измеряется напряжение на резисторе с известным сопротивлением  $R_0$ . Все приведенные ниже результаты получены при использовании обеих схем.

1.1 Результаты измерений зависимости силы тока через резистор от приложенного напряжения приведены в Таблице 1 и на графике 1.

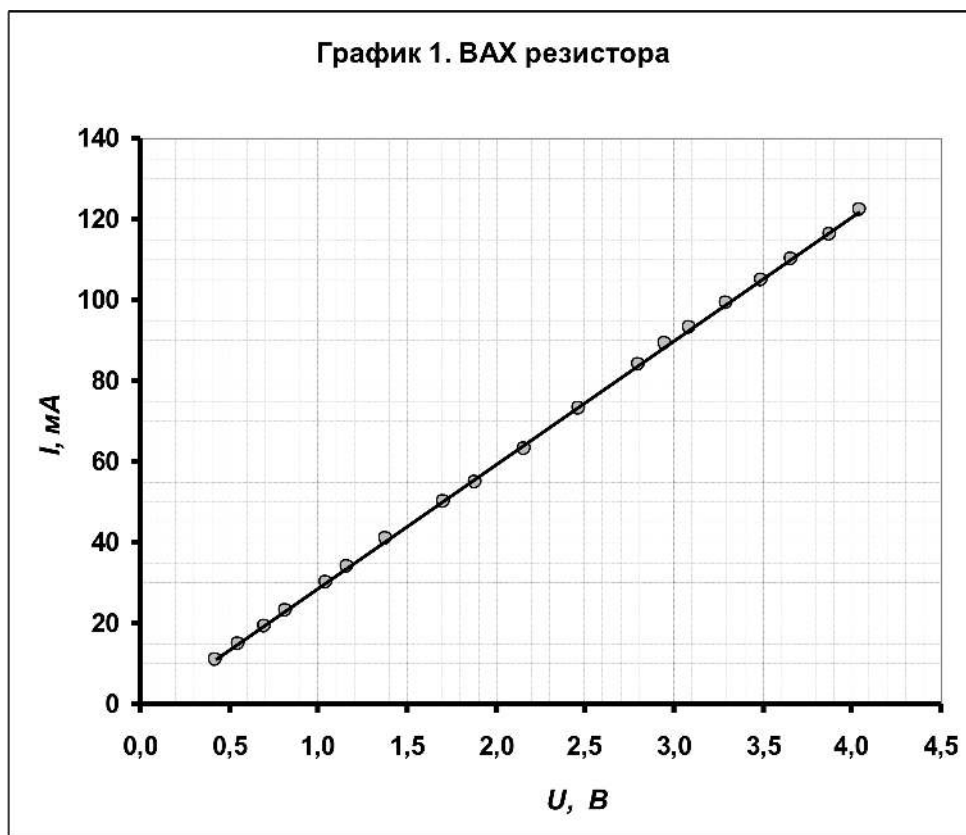


Таблица 1.

| ** $U$ , В** | ** $I$ , мА** |
|--------------|---------------|
| 4,05         | 122           |
| 3,88         | 116           |
| 3,66         | 110           |
| 3,49         | 105           |
| 3,30         | 99            |
| 3,09         | 93            |
| 2,95         | 89            |
| 2,80         | 84            |
| 2,47         | 73            |
| 2,16         | 63            |
| 1,88         | 55            |
| 1,71         | 50            |
| 1,38         | 41            |
| 1,16         | 34            |
| 1,05         | 30            |
| 0,82         | 23            |
| 0,70         | 19            |
| 0,55         | 15            |
| 0,42         | 11            |

Как следует из полученной зависимости сопротивление резистора в данном диапазоне напряжений и сил токов является постоянным. Коэффициент наклона приведенной зависимости равен<sup>1</sup>  $K = (30,6 \pm 0,2) \frac{\text{мА}}{\text{В}}$ . Следовательно, сопротивление резистора равно

$$R = (32,7 \pm 0,2) \text{Ом.} \quad (1)$$

<sup>1</sup> 1

1.2 Результаты измерений зависимости силы тока через лампочку от приложенного напряжения приведены в таблице 2 и на графике 2.

График 2. ВАХ лампочки

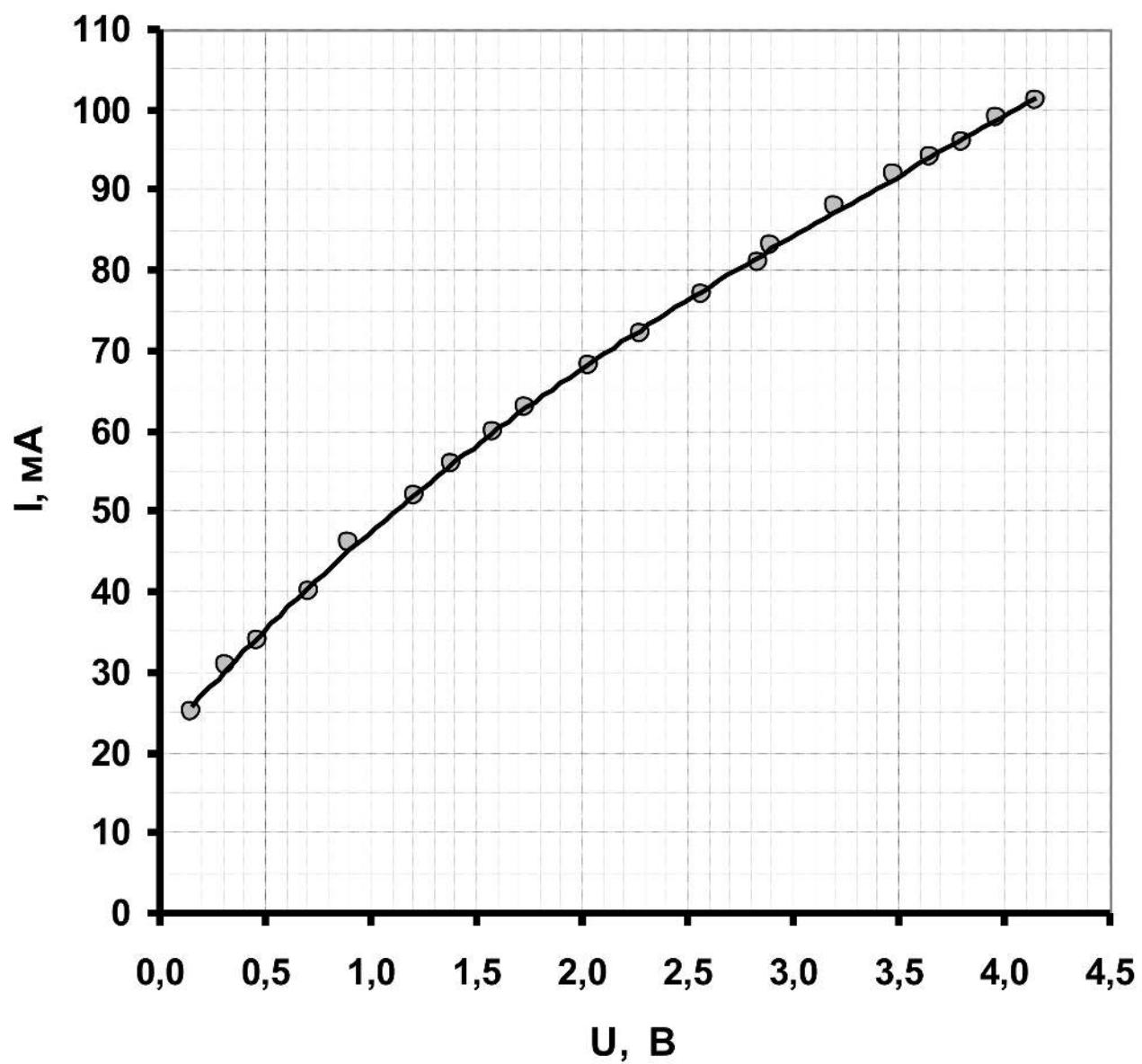
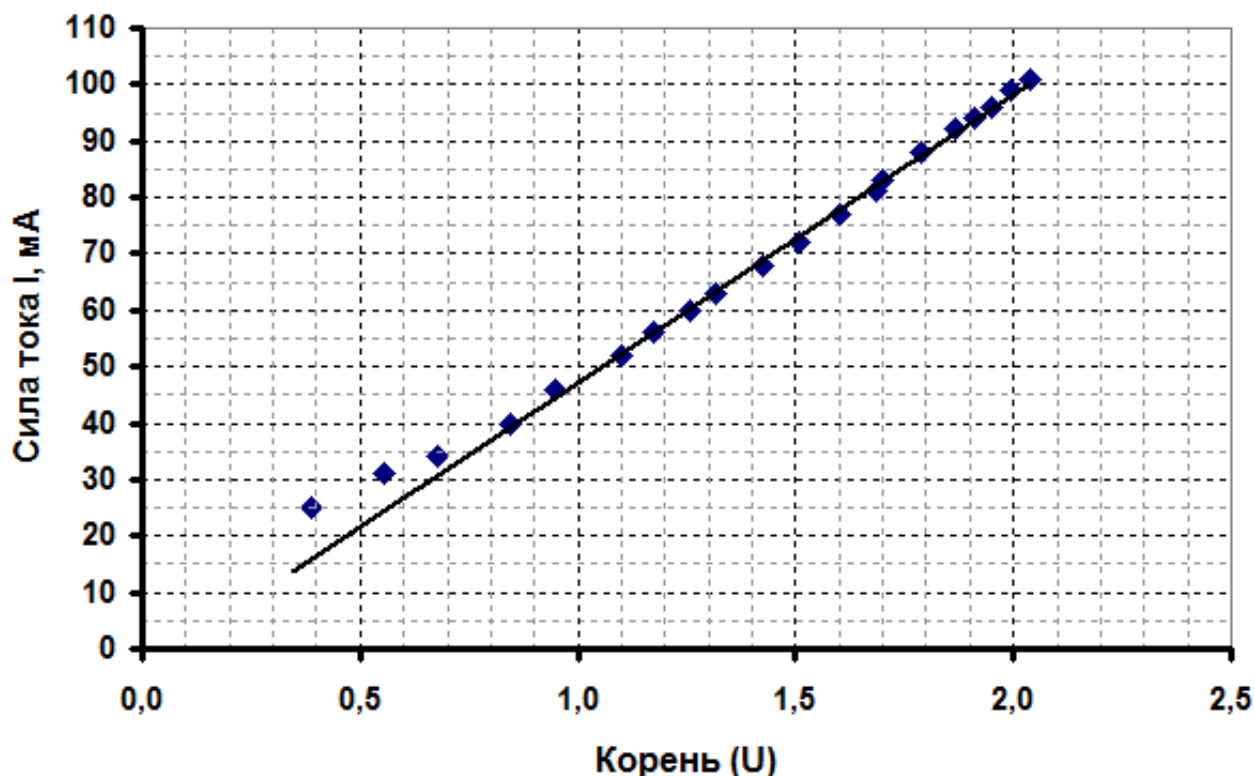


Таблица 2.

| <b><math>U</math>, В</b> | <b><math>I</math>, мА</b> |
|--------------------------|---------------------------|
| 4,15                     | 101                       |
| 3,97                     | 99                        |
| 3,80                     | 96                        |
| 3,65                     | 94                        |
| 3,48                     | 92                        |
| 3,20                     | 88                        |
| 2,89                     | 83                        |
| 2,84                     | 81                        |
| 2,57                     | 77                        |
| 2,28                     | 72                        |
| 2,03                     | 68                        |
| 1,73                     | 63                        |
| 1,58                     | 60                        |
| 1,38                     | 56                        |
| 1,21                     | 52                        |
| 0,90                     | 46                        |
| 0,71                     | 40                        |
| 0,46                     | 34                        |
| 0,31                     | 31                        |
| 0,15                     | 25                        |

Полученная зависимость является нелинейной. Объяснение нелинейности очевидно: при увеличении силы тока нить накала разогревается, поэтому ее сопротивление возрастает. Вследствие чего, сила тока нарастает медленнее.

График 3 Линеаризация ВАХ лампочки



Интересно, что полученная может быть линеаризована (по условию задачи этого не требуется). На графике 3 показана зависимость силы тока от корня из напряжения  $I(\sqrt{U})$ , которая в диапазоне напряжений от 1 до 4 В может быть приближенно описана линейной функцией

$$I(\text{мА}) \approx 51,2\sqrt{U(\text{В})} - 4,0. \quad (2)$$

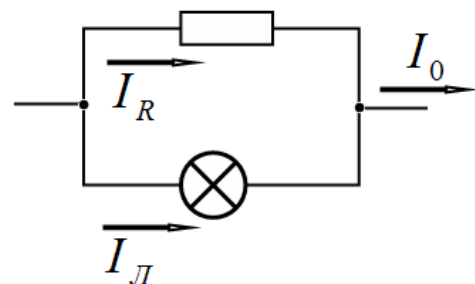
Эта приближенная зависимость может быть также использована в решении последующих пунктов задания.

1.3 При параллельном соединении напряжения на резисторе и лампочке одинаковы, а суммарная сила тока  $I_0$  равна сумме сил токов через резистор  $I_R$  и лампочку  $I_L$

$$I_0 = I_R + I_L. \quad (2)$$

Зависимость силы тока через резистор от напряжения описывается законом Ома

$$I_R = \frac{U}{R}. \quad (3)$$



Зависимость  $I_{\text{л}}(U)$  аналитически не описана (если, конечно, не принимать во внимание приближенную формулу (2)). Поэтому необходимо использовать экспериментальные данные. Один из возможных вариантов расчета – воспользоваться таблицей 2 и для каждого значения напряжения рассчитать значение силы тока через резистор по формуле (3), после чего провести сложение сил токов. Результаты расчетов приведены в таблице 3. Там же приведены результаты измерений зависимости силы тока от напряжения при параллельном соединении.

Результаты расчетов и измерений приведены в таблице 3.

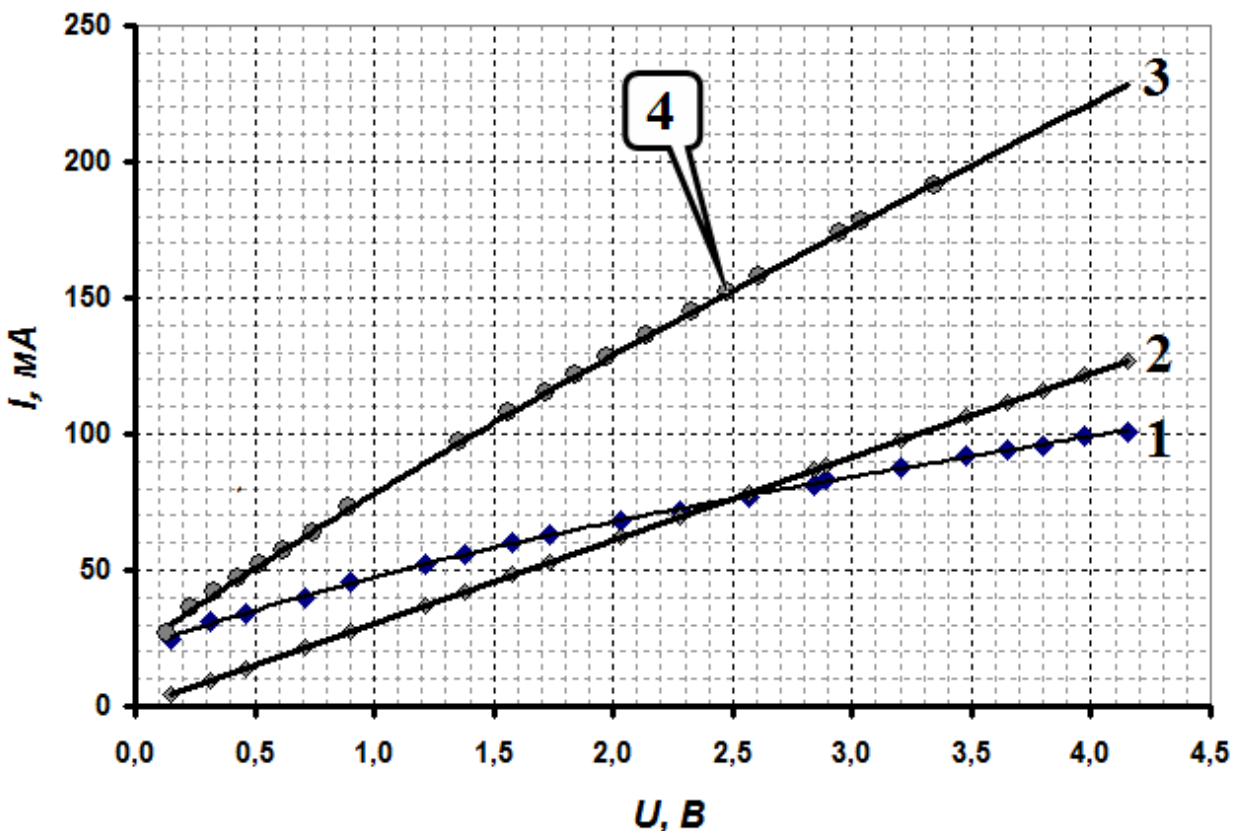
**Таблица 3. Параллельное соединение.**

| Измерения    |          | Расчеты    |            | ВАХ параллельное соединение |          |
|--------------|----------|------------|------------|-----------------------------|----------|
| ВАХ лампочки |          | $I_R$ , мА | $I_0$ , мА |                             |          |
| $U$ , В      | $I$ , мА |            |            | $U$ , В                     | $I$ , мА |
| 4,15         | 101      | 127        | 228        | 3,34                        | 191      |
| 3,97         | 99       | 121        | 220        | 3,04                        | 178      |
| 3,80         | 96       | 116        | 212        | 2,95                        | 174      |
| 3,65         | 94       | 112        | 206        | 2,61                        | 158      |
| 3,48         | 92       | 106        | 198        | 2,48                        | 152      |
| 3,20         | 88       | 98         | 186        | 2,33                        | 145      |
| 2,89         | 83       | 88         | 171        | 2,14                        | 136      |
| 2,84         | 81       | 87         | 168        | 1,97                        | 128      |
| 2,57         | 77       | 79         | 156        | 1,84                        | 122      |
| 2,28         | 72       | 70         | 142        | 1,72                        | 115      |
| 2,03         | 68       | 62         | 130        | 1,56                        | 108      |
| 1,73         | 63       | 53         | 116        | 1,35                        | 97       |
| 1,58         | 60       | 48         | 108        | 0,89                        | 73       |
| 1,38         | 56       | 42         | 98         | 0,74                        | 64       |
| 1,21         | 52       | 37         | 89         | 0,62                        | 57       |
| 0,90         | 46       | 28         | 74         | 0,52                        | 52       |
| 0,71         | 40       | 22         | 62         | 0,43                        | 47       |
| 0,46         | 34       | 14         | 48         | 0,33                        | 42       |
| 0,31         | 31       | 9          | 40         | 0,23                        | 36       |
| 0,15         | 25       | 5          | 30         | 0,13                        | 27       |

На графике 4 приведены графики всех этих зависимостей: 1 – ВАХ лампочки; 2- ВАХ резистора; 3 – рассчитанная зависимость силы тока от напряжения при параллельном соединении; 4 (кружки) – результаты измерений. Как видно из графика – получено прекрасное соотношение между результатами расчетов и измерений.

**График 4. Параллельное соединение**

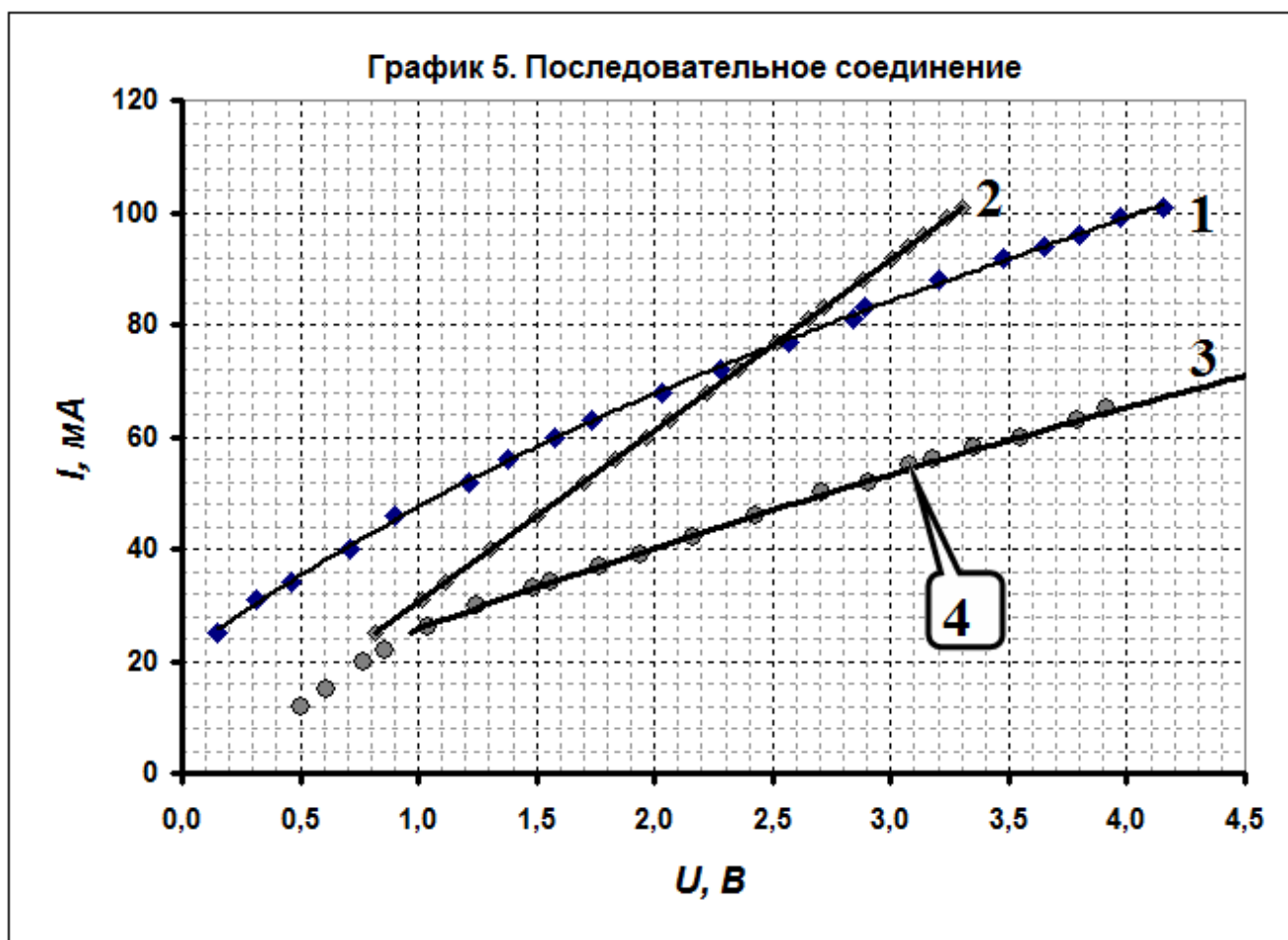
График 4. Параллельное соединение



1.4 При последовательном соединении силы токов через резистор и лампочку одинаковы, а суммарное напряжение равно сумме напряжений на резисторе и лампочке. Для расчета зависимости силы тока от напряжения можно применить методику, аналогичную, использованной в предыдущем функци. Экспериментальную ВАХ лампочки дополнить расчетом напряжения на резисторе  $U_R = IR$  и просуммировать значения напряжений при каждом значении силы тока  $U_0 = U_R + U_D$ . Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Последовательное соединение.

| Измерения    |         | Расчеты   |           | ВАХ последовательное соединение |          |
|--------------|---------|-----------|-----------|---------------------------------|----------|
| ВАХ лампочки |         |           |           |                                 |          |
| $U$ , В      | $U$ , В | $U_R$ , В | $U_0$ , В | $U$ , В                         | $I$ , мА |
| 4,15         | 101     | 3,30      | 7,45      | 3,91                            | 65       |
| 3,97         | 99      | 3,24      | 7,21      | 3,79                            | 63       |
| 3,80         | 96      | 3,14      | 6,94      | 3,55                            | 60       |
| 3,65         | 94      | 3,07      | 6,72      | 3,35                            | 58       |
| 3,48         | 92      | 3,01      | 6,49      | 3,18                            | 56       |
| 3,20         | 88      | 2,88      | 6,08      | 3,08                            | 55       |
| 2,89         | 83      | 2,71      | 5,60      | 2,91                            | 52       |
| 2,84         | 81      | 2,65      | 5,49      | 2,71                            | 50       |
| 2,57         | 77      | 2,52      | 5,09      | 2,43                            | 46       |
| 2,28         | 72      | 2,35      | 4,63      | 2,16                            | 42       |
| 2,03         | 68      | 2,22      | 4,25      | 1,94                            | 39       |
| 1,73         | 63      | 2,06      | 3,79      | 1,77                            | 37       |
| 1,58         | 60      | 1,96      | 3,54      | 1,56                            | 34       |
| 1,38         | 56      | 1,83      | 3,21      | 1,49                            | 33       |
| 1,21         | 52      | 1,70      | 2,91      | 1,25                            | 30       |
| 0,90         | 46      | 1,50      | 2,40      | 1,04                            | 26       |
| 0,71         | 40      | 1,31      | 2,02      | 0,86                            | 22       |
| 0,46         | 34      | 1,11      | 1,57      | 0,77                            | 20       |
| 0,31         | 31      | 1,01      | 1,32      | 0,61                            | 15       |
| 0,15         | 25      | 0,82      | 0,97      | 0,50                            | 12       |



Все эти зависимости представлены на графиках, с прежними обозначениями: 1 – ВАХ лампы; 2 – ВАХ резистора; 3 – рассчитанная зависимость силы тока от напряжения при последовательном соединении; 4 (кружки) – результаты измерений. Как видно из графика – и в этом случае получено прекрасное соотношение между результатами расчетов и измерений.

<sup>1</sup> Погрешность рассчитана по МНК, хотя применим и графический метод.