

Условие

Жидкие кристаллы — это вещества, обладающие кристаллическими свойствами в одних направлениях (упорядоченность) и свойствами жидкостей в других. Они имеют широкое применение в науке и технике. Например, жидкие кристаллы используются в современных мониторах и экранах мобильных устройств (ЖК-дисплеи). Жидкокристаллическая ячейка — это составляющая часть пикселя жидкокристаллического дисплея. Увеличенный образец такой ячейки предлагается исследовать в данной задаче.

ЖК-ячейка является структурой из нескольких прозрачных слоёв (рис. 1). Между парами поляризаторов с проводящими поверхностями находится слой жидкого кристалла. Проводящие поверхности и слой жидкого кристалла представляют собой конденсатор. При приложении напряжения к ячейке длинные молекулы жидкого кристалла оказываются в электрическом поле и поворачиваются, тем самым меняются оптические свойства кристалла.

Ёмкость такого конденсатора зависит от приложенного напряжения. Кроме того, жидкий кристалл обладает слабой проводимостью, и конденсатор характеризуется некоторым сопротивлением утечки.

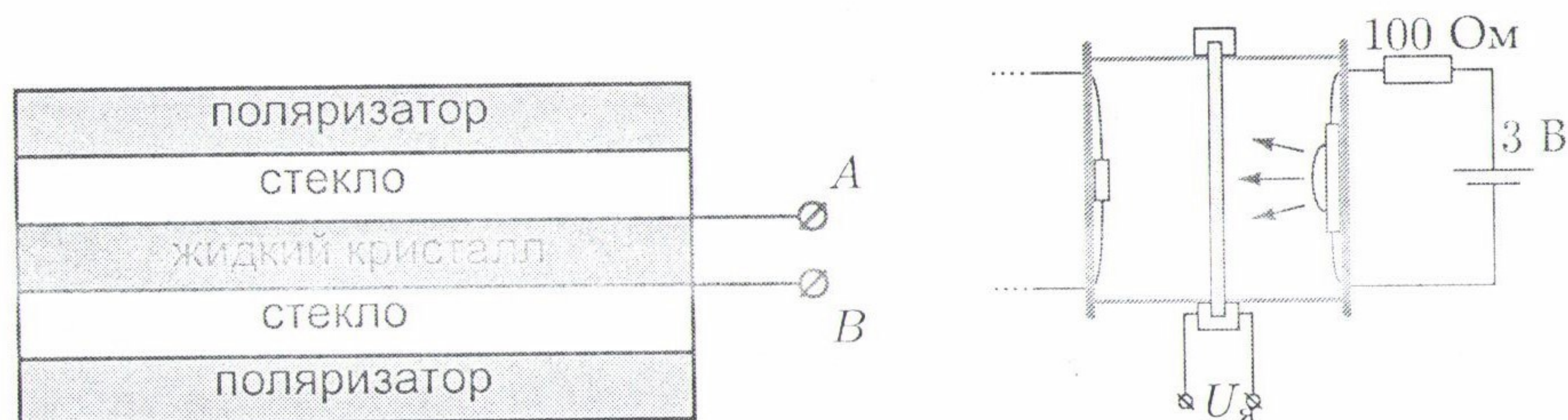


Рис. 1

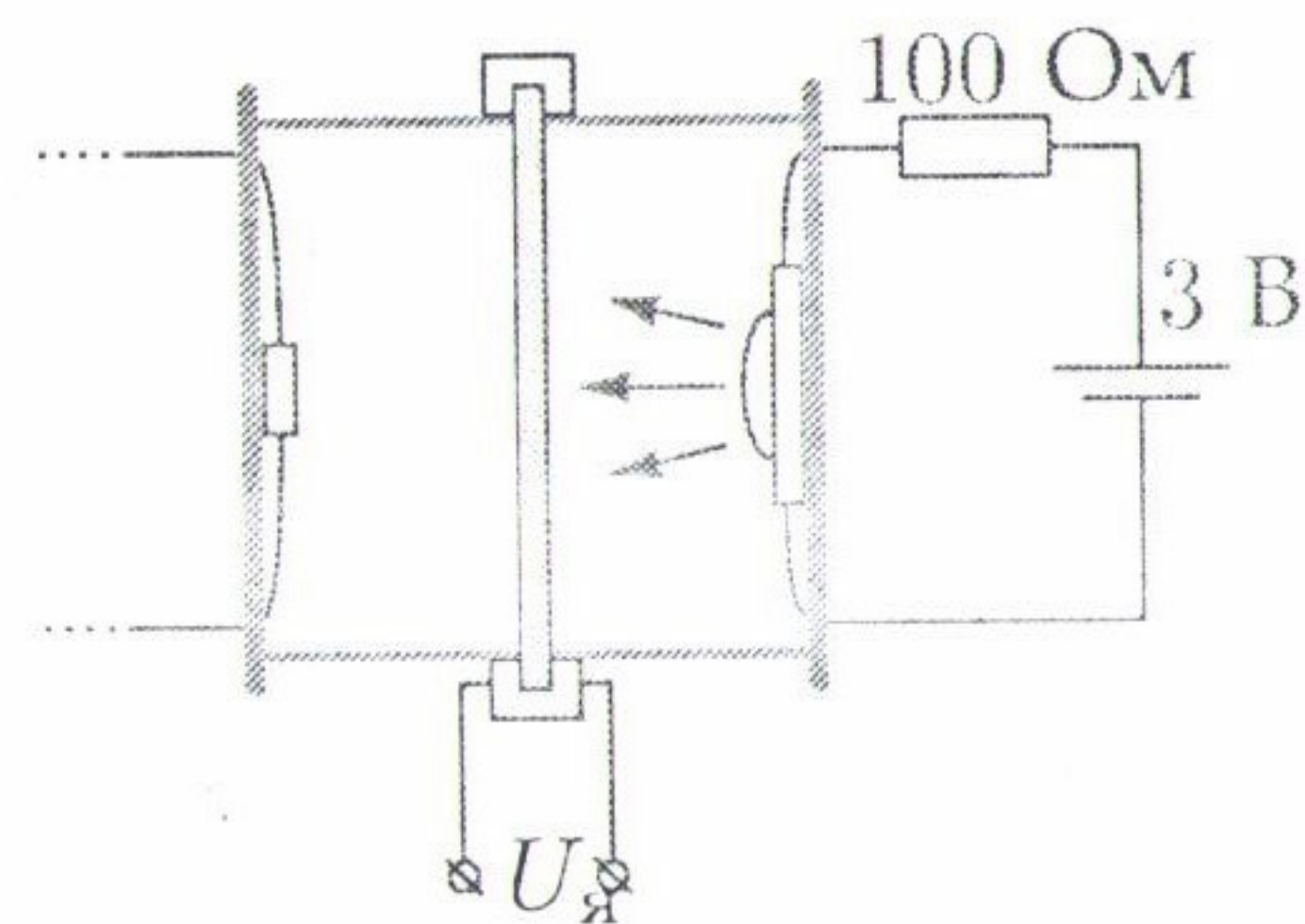


Рис. 2

Задание:

1. Соберите установку, указанную на схеме (рис. 2). Закрепите ЖК-ячейку между корпусами фото- и светодиодов. Корпуса должны плотно соприкасаться с ячейкой, чтобы уменьшить фоновую засветку. Сверху накройте установку чёрной плёнкой (закрепите резинкой). Снимите зависимость интенсивности прошедшего света $I_{пр}$ (в относительных единицах) от напряжения $U_я$ на ячейке. Исследуйте диапазон $U_я$ от 0 В до 9 В. ЖК-ячейка является неполярной. Для измерения интенсивности света пользуйтесь люксметром (см. примечание).

Постройте график полученной зависимости. 4,5 б.

2. Снимите зависимость ёмкости ЖК-ячейки от напряжения $U_я$ в интервале от 1 В до 3 В. 9 б.

3. Оцените сопротивление утечки ЖК-ячейки. 1,5 б.

Продолжение на обороте.

Примечание. В данной задаче оценивать погрешности не нужно!

Примечание. Инструкция по использованию макетной платы. Каждые пять выводов макетной платы, расположенные в одном столбце по одну сторону от середины платы, соединены внутри платы друг с другом. Например, выводы, отмеченные серым (рис. 3), замкнуты между собой.

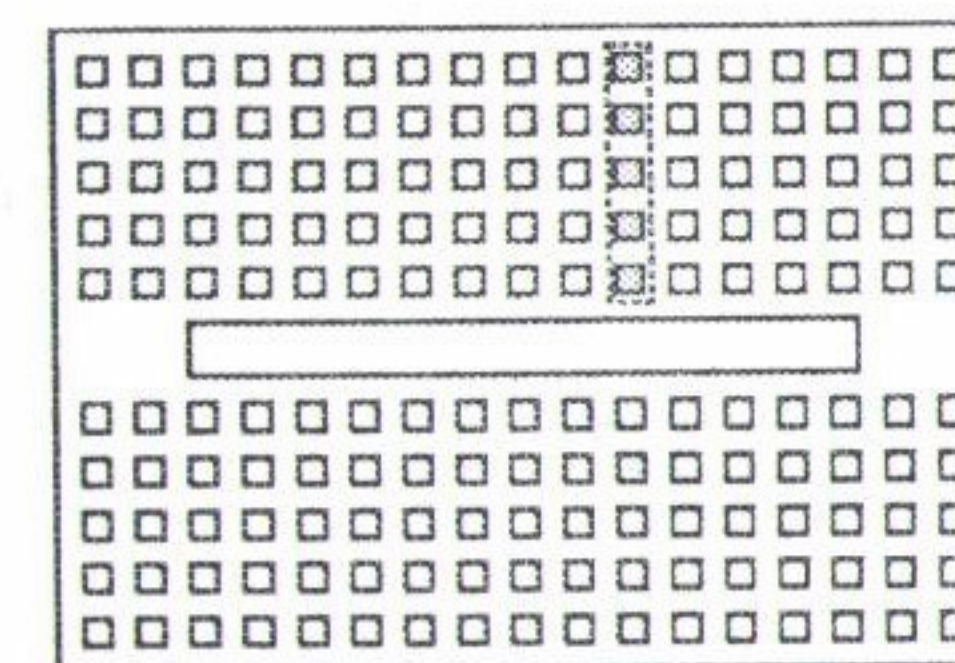


Рис. 3

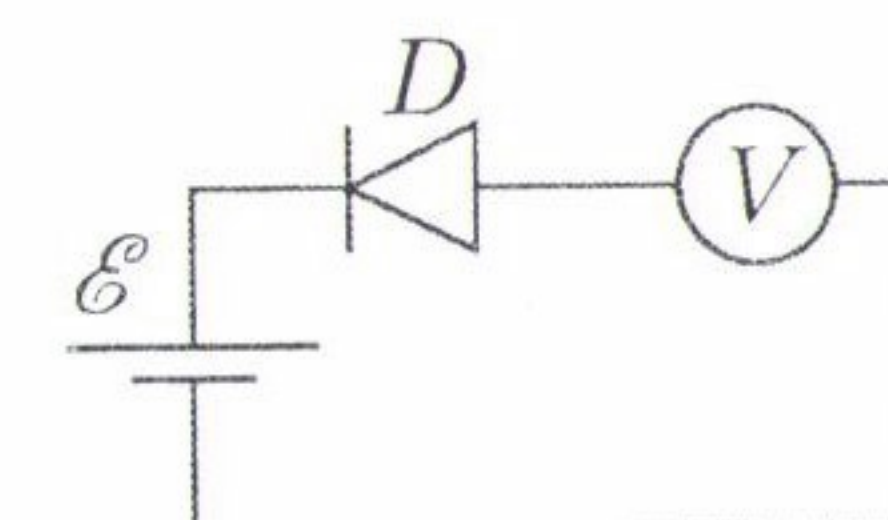


Рис. 4

Примечание. Инструкция по использованию люксметра. Для измерения интенсивности света используется люксметр. Он состоит из фотодиода в корпусе, батарейки и измерителя тока, собранных по схеме (рис. 4)

В этой схеме ток через фотодиод прямо пропорционален интенсивности падающего на него света. Для измерения тока используйте мультиметр в режиме *вольтметра*. Внутреннее сопротивление вольтметра равно 1,00 МОм на всех диапазонах измерений.

Примечание. Светодиод — это источник света, а фотодиод — это измеритель интенсивности света. Не перепутайте!

Оборудование. жидкокристаллический затвор в рамке, светодиод в корпусе (последовательно соединён с резистором), фотодиод в корпусе, держатели корпусов светодиода и фотодиода на подставке, макетная плата, батарейка «крона», 2 батарейки АА в корпусе с проводами (только для питания светодиода), потенциометр, конденсатор 10 нФ, секундомер, 2 мультиметра, 2 провода для соединения мультиметра и макетной платы, два провода типа «крокодил», чёрная плёнка, резинка.

Возможное решение

1. Для измерения коэффициента пропускания в держателе закрепим светодиод, фотодиод и жидкокристаллическую ячейку между ними. Соберём схему измерения (рис. 5). Вращая ручку потенциометра, будем изменять напряжение $U_{\text{я}}$ на ячейке, и снимать показания люксметра (значение обратного тока через фотодиод найдём, зная внутреннее сопротивление вольтметра $I_{\text{ф}} = U_{\text{в}}/R_{\text{в}}$). Построим график $I_{\text{ф}}(U_{\text{я}})$ (рис. 6).

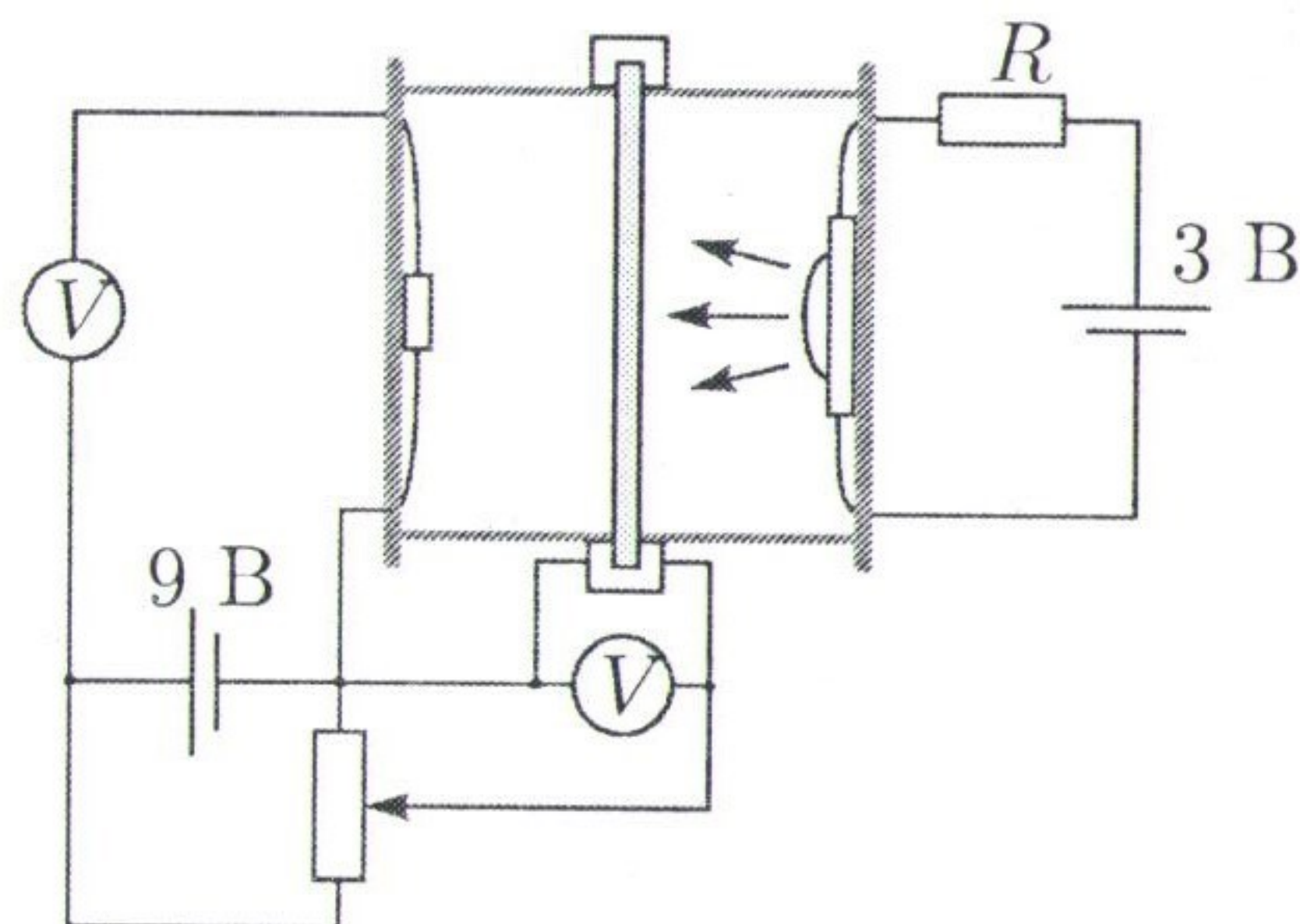


Рис. 5

2. Зарядим конденсатор $C_0 = 10$ нФ до некоторого напряжения U_0 , а ЖК-ячейку разрядим. Ёмкость ячейки C определим заряжая её от конденсатора C_0 . После перераспределения заряда $q_0 = C_0 U_0$ напряжение U_1 на конденсаторах одинаково, поэтому ёмкость затвора равна

$$C = C_0 \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right).$$

Заметим, что напряжение U_1 на конденсаторах не удаётся определить с помощью вольтметра, так как характерное время разрядки через вольтметр $\tau = R_{\text{в}} C \approx 1$ мс. Для определения напряжения на ячейке воспользуемся графиком коэффициента пропускания, полученного в пункте 1. Результаты занесём в таблицу.

$U, \text{В}$	0.69	1.34	1.41	1.53	1.72	1.84	2.02
$C, \text{нФ}$	30	14.3	15.8	16.5	16.9	18.0	18.5
$U, \text{В}$	2.16	2.28	2.4	2.56	2.79	2.99	
$C, \text{нФ}$	19.3	19.7	21.1	21.8	21.6	22.0	

3. Зарядим ячейку до напряжения $U_0 = 3,0$ В, отключим от батарейки и будем наблюдать за показаниями люксметра от времени. Через время $t = 60$ с напряжение на ячейке составит $U_1 = 1,8$ В. Для оценки считаем что ёмкость постоянна в данном диапазоне напряжений. Сопротивление утечки равно

$$R = \frac{t}{C \ln U_0/U_1} \approx 2 \text{ ГОм.}$$

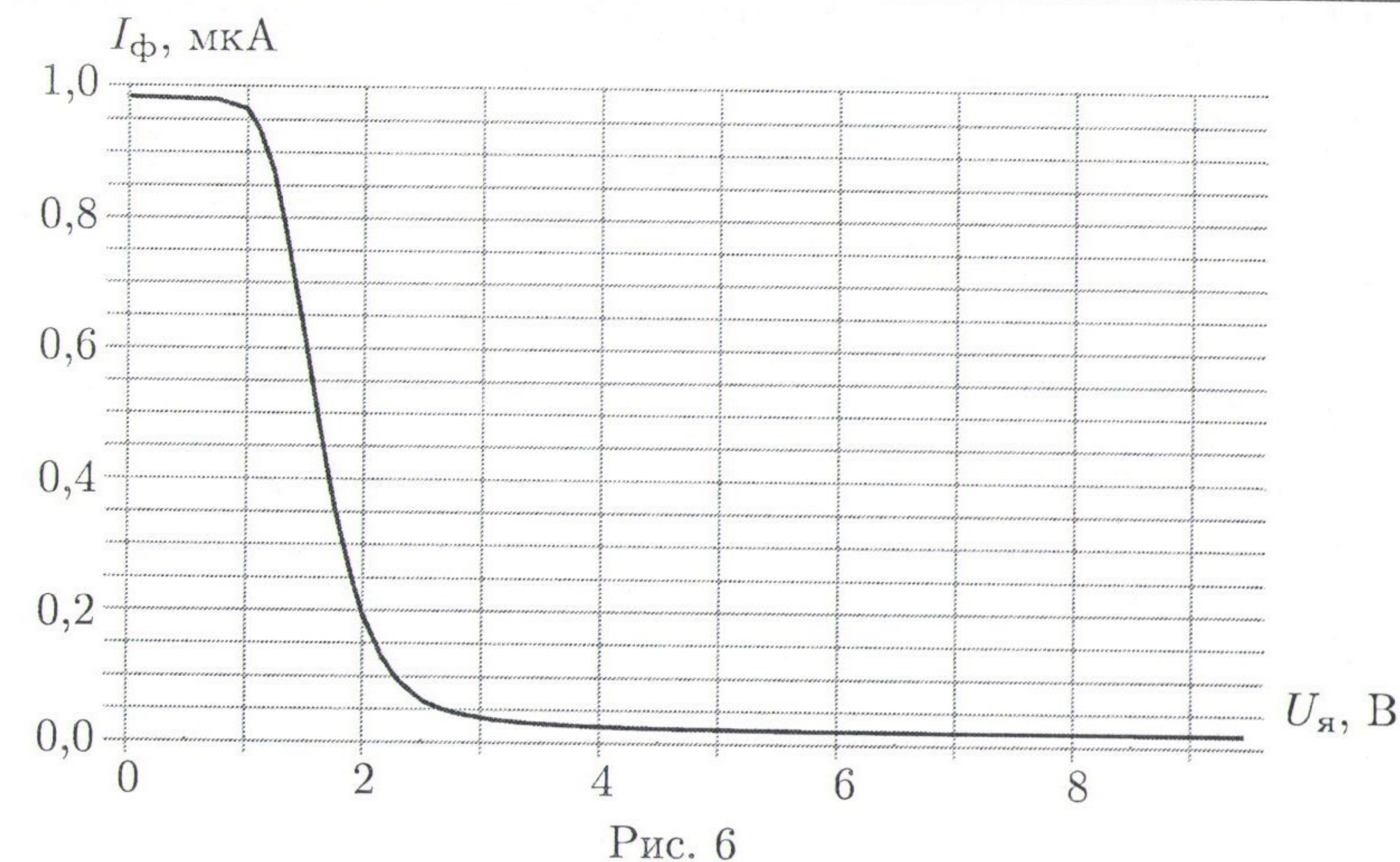


Рис. 6