

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.А. Насонов

## **ИЗУЧЕНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование,  
профиль «Физика»*

ВОРОНЕЖ  
ВГУ  
2009

УДК 53(045)  
ББК 22.2  
Н31

Издано по решению  
учебно-методического совета ВГПУ.  
Протокол № 6 от 16.04.09 г.

Рецензент

доцент кафедры общей физики *В.С. Еремин* (ВГПУ)

**Насонов А.А.**

Н31 Изучение биполярного транзистора : учебно-методическое пособие по курсу «Физическая электроника» для студентов направления «Физико-математическое образование», профиль «Физика» / А.А. Насонов. – Воронеж : ВГПУ, 2009. – 10 с.

Учебно-методическое знакомит с теоретическими основами принципа действия биполярного транзистора. Дается описание практического проведения измерений и расчётов основных параметров биполярного транзистора.

УДК 53(045)  
ББК 22.2

© Насонов А.А., 2009  
© Редакционно-издательское оформление.  
Воронежский госпедуниверситет, 2009

*Цель работы:* ознакомиться с теоретическими основами принципа действия биполярного транзистора. Практически провести измерения и расчёты основных его параметров.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

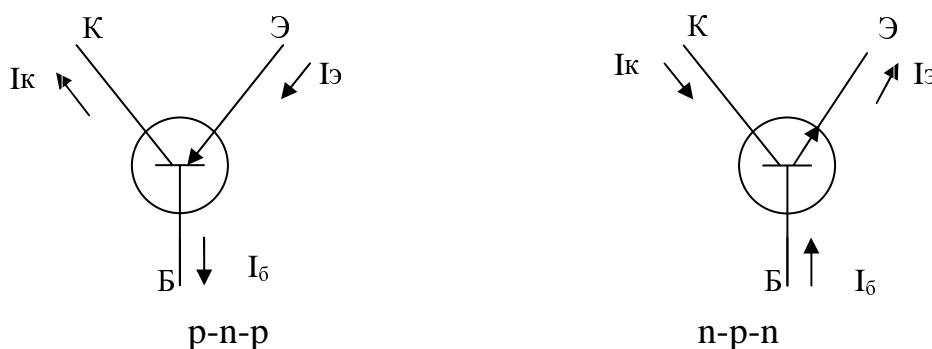
**Биполярным транзистором** называется полупроводниковый прибор с двумя р-п переходами. Основным материалом для изготовления является кремний (реже германий)

В качестве примесей для создания р-типа проводимости используют 3-х валентные элементы индий, бор, галлий. Для n-типа проводимости используют 5-и валентные элементы мышьяк, фосфор, сурьму.

Транзисторы применяются для усиления тока, напряжения, мощности, генерирования колебаний, а так же как электронные переключатели. Они так же являются основным элементом аналоговых и цифровых микросхем.

Все транзисторы различают по структуре на р-п-р и п-р-п типа. Так же они разделяются по мощности-малой, средней, высокой, частоте усиливаемых сигналов – низкой, средней, высокой, уровню шума и.т.д.

В промышленности используют различные технологические методы изготовления – сплавление, диффузия, эпитаксия. Обозначение транзисторов разной структуры и направление токов в нем изображении на рисунке 1.



**Рисунок 1. Устройство биполярного транзистора**

Рассмотрим транзистор, например, р-п-р-структуры.

В слабо легированной пластине монокристалла кремния толщиной 0,15–0,2 мм с проводимостью n-типа с обеих сторон созданы слои с проводимостью р-типа и их объем значительно больше.

Причем концентрация основных носителей в этих областях так же значительно выше чем в области n-типа  $N_p \gg N_n$

Средняя часть называется базой (n-тип) а, крайние р-области эмиттер и коллектор. Концентрация дырок в эмиттере несколько больше чем в коллекторе  $P_э > P_к$ .

Таким образом, в транзисторе образованы два р-п-перехода – эмиттерный (эмиттер-база) и коллекторный (коллектор-база)

Входная часть транзистора – это эмиттерный переход, а выходная – коллекторный. Принцип работы транзистора основан на управлении токами за счет изменения напряжения на р-п переходах.

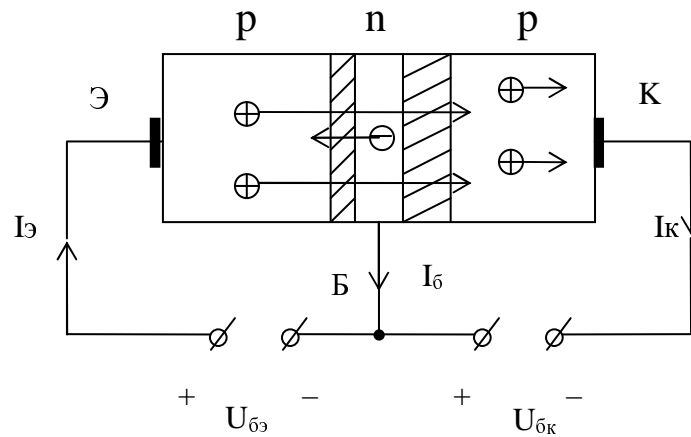


Рисунок 2

При подключении внешнего источника напряжения плюсом к эмиттеру, а минусом к базе, этот переход будет открыт для основных носителей.

Из области эмиттера дырки будут инжектироваться в базу, где они частично рекомбинируют с электронами.

Так как концентрация дырок много больше концентрации электронов, то большая часть дырок не рекомбинирует ( $P_э \gg n_б$ ).

Коллекторный переход будет открыт подачей напряжения от другого источника с противоположной полярностью. Этот переход будет закрыт для основных носителей – дырок коллектора и электронов базы.

Дырки эмиттера, попавшие в базу, окажутся в ней неосновными носителями.

Поэтому электрическое поле закрытого коллекторного перехода будет для них ускоряющим, т.е. p-n переход для них открыт.

Таким образом, дырки проходят через транзистор создавая протекающий ток. Для эффективного сбора основных носителей площадь коллектора делается значительно больше эмиттера.

Уравнение токов для транзистора:  $I_э = I_б + I_к$  (рис. 1).

Так  $I_б \ll I_э, I_к$ , следовательно,  $I_э \approx I_к$ . Если отключить источник напряжения база-эмиттер ( $U_{бэ}$ ), то в коллекторной цепи будет протекать незначительный ток неосновных носителей  $I_{к0}$  – обратный (тепловой) ток коллектора.

Для оценки соотношения токов существует дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера:  $\alpha = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э}, U_{кэ} = \text{const}$  (1).

Так как  $I_э > I_к$ ,  $\alpha < 1$ . Обычно его величина составляет  $\alpha \approx 0,95 \div 0,99$ .

Усилительные возможности транзистора обычно оцениваются дифференциальным коэффициентом передачи тока базы:  $\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}, U_{кэ} = \text{const}$ . (2).

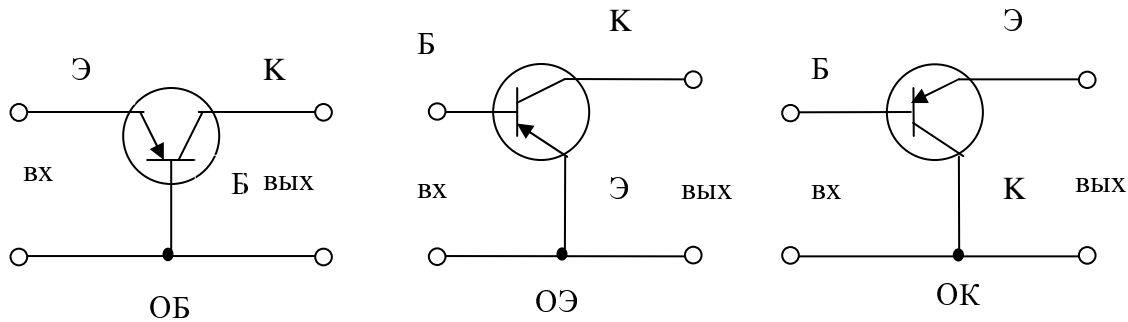
Так как  $I_б \ll I_к$ , то величина  $\beta$  составляет десятки и сотни. Между этими коэффициентами существует связь:  $\beta = \frac{1}{1-\alpha}$  (3).

## Способы включения транзистора

Транзисторы в электрическую цепь включаются так, что один его электрод является входным, второй – выходным, а третий подключается к общему проводу.

Отсюда следуют названия схем включения:

С общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК)



**Рисунок 3**

Каждая из этих схем обладает набором входных и выходных параметров.

**Схема ОБ** - входные параметры  $I_э, U_{бэ}$   
выходные параметры  $I_к, U_{кб}$

**Схема ОЭ** - входные параметры  $I_б, U_{бэ}$   
выходные параметры  $I_к, U_{кэ}$

**Схема ОК** - входные параметры  $I_б, U_{кб}$   
выходные параметры  $I_э, U_{кэ}$

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) так же разделяются на входные и выходные. Так же существуют статические характеристики, снятые при постоянных токах и напряжениях и динамические, снятые при изменяющихся величинах токов и напряжений.

Для схемы с ОЭ статистические характеристики выглядят таким образом:

$I_б = f(U_{бэ}), U_{кэ} = \text{const}$  - входная характеристика.

$I_к = f(U_{кэ}), I_б = \text{const}$  - выходная характеристика

$I_к = f(I_б), U_{кэ} = \text{const}$  - передаточная характеристика

Для расчёта электрических схем широко используются так называемые h-параметры. Для схемы ОЭ:

$h_{11} = \frac{U_{бэ}}{I_б}, U_{бэ} = \text{const}$  - входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.

$h_{12} = \frac{U_{бэ}}{I_{кэ}}, I_б = \text{const}$  - коэффициент внутренней обратной связи в режиме холостого хода.

$h_{21} = \frac{I_к}{I_б}, U_{кэ} = \text{const}$  - коэффициент усиления тока в режиме короткого замыкания на выходе.

$h_{22} = \frac{I_к}{U_{кэ}}, I_б = \text{const}$  - выходная проводимость в режиме холостого хода на входе.

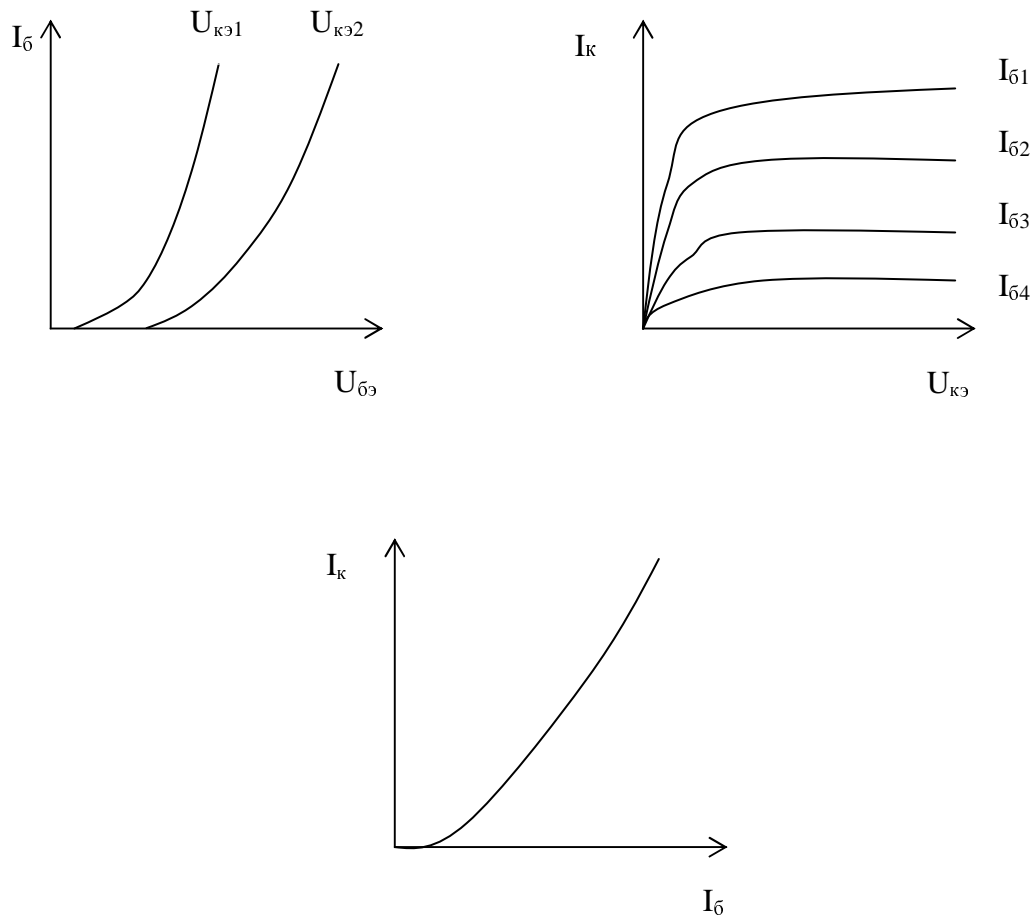


Рисунок 4

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**Снятие входной характеристики  $I_б = f(U_бэ)$ ,  $U_кэ = \text{const}$  транзистора включенного по схеме с ОЭ.**

1. Собрать схему по рисунку 5:

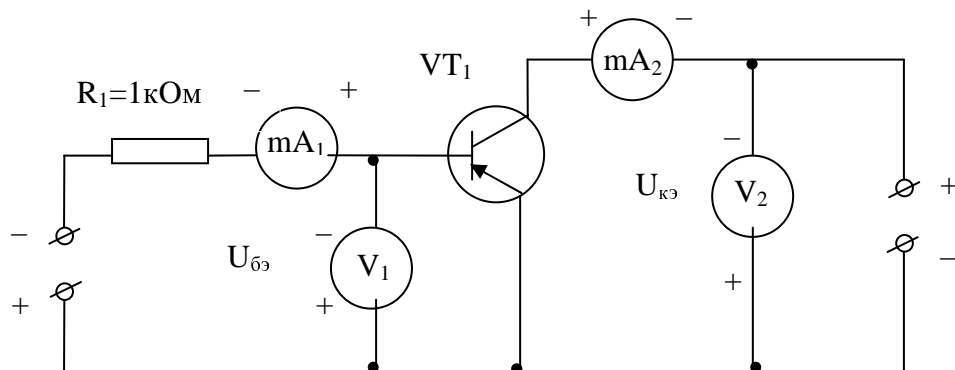


Рисунок 5

2. Установить пределы на приборах:

Вольтметр  $V_1$  - 6В (цена деления-0,2В), вольтметр  $V_2$  - 30В

Миллиамперт  $mA_1$  - 3мА, миллиамперт  $mA_2$  - 30мА.

3. Снять зависимость  $I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}})$  при  $U_{\text{бэ}} = 1\text{В}$  и  $U_{\text{кэ}} = 2\text{В}$ .

**Строго следить за  $U_{\text{кэ}} = \text{const}$  – постоянно корректировать его изменения!**

4. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

$U_{\text{бэ}} \text{ В}$		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$U_{\text{кэ}1} = 1\text{В}$	$I_{\text{б}} \text{ мА}$						
$U_{\text{кэ}2} = 2\text{В}$							

5. Построить график  $I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}})$ ,  $U_{\text{кэ}} = \text{const}$ .

6. Рассчитать:

$h_{11} = \frac{U_{\text{бэ}}}{I_{\text{б}}}$  и  $h_{12} = \frac{U_{\text{бэ}}}{I_{\text{кэ}}}$  используя графический метод на рисунке 6.

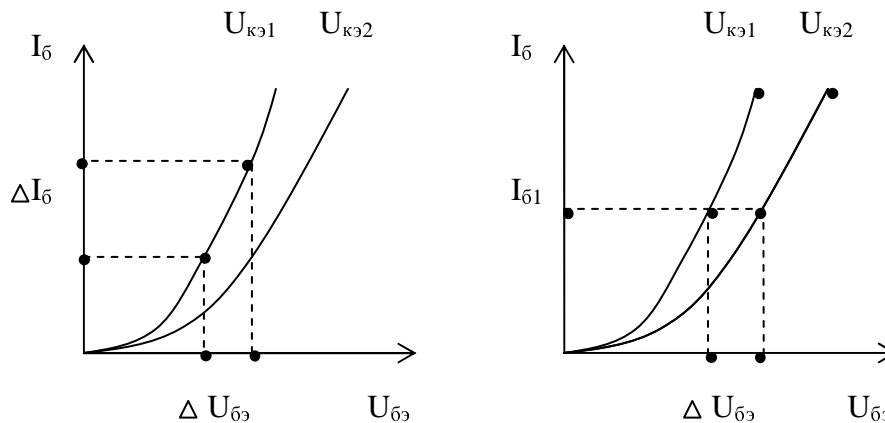


Рисунок 6

**Снятие выходной характеристики  $I_{\text{к}} = f(U_{\text{кэ}})$ ,  $I_{\text{б}} = \text{const}$  транзистора включенного по схеме с ОЭ**

1. Установить значение  $I_{\text{б}}$ , регулируя напряжение  $U_{\text{бэ}}$ , а затем значение  $U_{\text{кэ}}$ . При любых регулировках **строго следить за  $I_{\text{б}} = \text{const}$  и потом корректировать  $U_{\text{кэ}}$ !**

2. Изменяя  $U_{\text{кэ}}$ , измерить  $I_{\text{к}}$  и результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

$U_{\text{кэ}} \text{ В}$		0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_{\text{б}1} = 0,1 \text{ мА}$	$I_{\text{к}} \text{ мА}$									
$I_{\text{б}2} = 0,3 \text{ мА}$										
$I_{\text{б}3} = 0,5 \text{ мА}$										

3. По результатам из таблицы 2 построить семейство выходных характеристик  $I_{\text{к}} = f(U_{\text{кэ}})$ ,  $I_{\text{б}} = \text{const}$ .

4. Рассчитать параметры:  $h_{21} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{б}}}$ ,  $U_{\text{кэ}} = \text{const}$  и  $h_{22} = \frac{I_{\text{к}}}{U_{\text{кэ}}}$ ,  $I_{\text{б}} = \text{const}$ .

Используя графический метод (рис. 7):

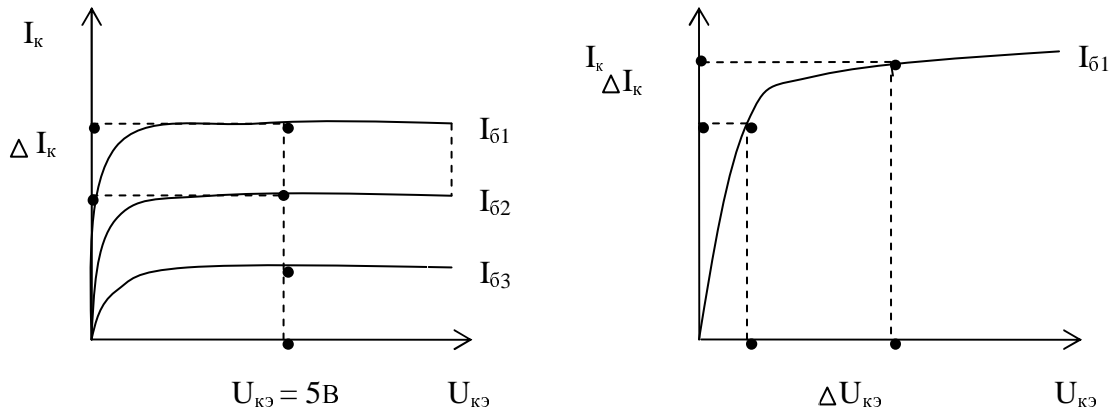


Рисунок 7

**Снятие передаточной характеристики  $I_k = f(I_б)$ ,  $U_{кэ} = \text{const}$  транзистора включенного по схеме с ОЭ.**

1. Установить некоторое значение  $U_{бэ}$  и соответственно ток  $I_б$  установить  $U_{кэ} = 10\text{В}$ .
2. Изменяя  $U_{бэ}$  и ток  $I_б$  в соответствии с таблицей 3 измерить и записать значения тока  $I_k$ .

**Строго следить и корректировать  $U_{кэ} = 10\text{В}$ !**

3. По данным измерений построить зависимость  $I_б = f(I_k)$ ,  $U_{кэ} = \text{const}$  и рассчитать коэффициент  $\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_б}$ , сравнить его значение с  $h_{21}$ .

Для расчета выбирается средняя линейная часть графика:

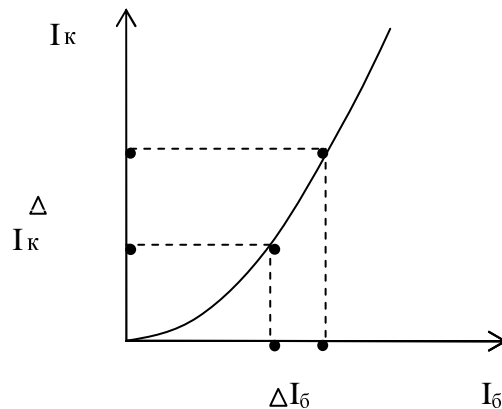


Рисунок 8

Таблица 3

$U_{кэ}=10\text{ В}$	$I_б\text{ мА}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	$I_k\text{ мА}$						

3. Выключить питание схемы.

**Измерение обратного тока коллектора  $I_{к0}$**

1. Установите предел измерения миллиамперметра  $\text{mA}_1$  ( $I_k$ ) на  $3_{\text{мА}}$  (цена деления  $0,1_{\text{мА}}$ ).
2. Отключить источник питания  $U_{бэ}$ .
3. Включить питание  $U_{кэ} = 10\text{ В}$ .
4. Измерить  $I_{к0}$  и записать его значение.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Конструкция и структура биполярного транзистора.
2. Принцип действия биполярного транзистора.
3. Схемы включения транзистора и их свойства.
4. Понятие о входных и выходных параметрах.
5. Определение  $h$ -параметров в схеме с ОЭ.
6. Как определяются коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ ?
7. Какие основные режимы работы транзистора существуют? Их характеристика и применение.
8. Определение обратного тока коллектора и его влияние на параметры транзистора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершензон Е.М. Радиотехника / Е.М. Гершензон, Г.Д. Полянина, Н.В. Соина. – М.: Просвещение, 1986.
2. Степаненко И.П.. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004.
3. Харченко В.М. Основы автоматики и электронно-вычислительной техники / В.М. Харченко. – М.: Просвещение, 1991.

Учебное издание

НАСОНОВ Алексей Альбертович

**ИЗУЧЕНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование»,  
профиль «Физика»*

Изготовление оригинала-макета: *Ю.С. Топоркова*

Подписано в печать 30.10.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 0,6. Уч.-изд. л. 0,58.  
Заказ 300. Тираж 15 экз.

Воронежский госпедуниверситет.  
Отпечатано в типографии университета.  
394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.