

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»»

Институт микроприборов и систем управления им. Л.Н. Преснухина

Отчет по лабораторной работе № 1_____

Однократные измерения и их погрешности

(название лабораторной работы)

Метрология и электрорадиоизмерения

(название дисциплины)

Выполнили студенты группы ИВТ-32

Голев Андрей Дмитриевич

(подпись) (Ф.И.О.)

Жигалов Даниил Владиславович

(подпись) (Ф.И.О.)

Лазарева Мария Викторовна

(подпись) (Ф.И.О.)

Проверил преподаватель

(подпись) (Ф.И.О.)

Москва, 2023 г.

1. Цель работы

Постановка измерительных экспериментов по оценке электрических параметров цепей при статических однократных измерениях с использованием цифрового мультиметра и последующая оценка погрешностей данных измерений.

2. Используемое оборудование

NI PXI-1033 (6259, 5102, 5402, 4065), NI ELVIS, резисторы.

Теоретические сведения

Метрология – наука об измерениях и методах обеспечения их единства и требуемой точности.

В данной лабораторной работе предоставляется возможность постигнуть основы измерений и оценок их погрешностей. Рассматриваются и применяются на практике основные понятия метрологии.

В этом нам поможет оборудование от дружественной американской компании National Instruments.

В частности, используются шасси NI PXI-1033, функциональный генератор NI 5402, цифровой мультиметр NI 4065 и макетная плата NI ELVIS.



Рисунок 1 - NI PXI-1033



Рисунок 2 - NI 5402



Рисунок 3 - NI 4065



Рисунок 4 - NI ELVIS

Измерение – процесс экспериментального получения значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

3. Выполнение лабораторной работы

3.1 Измерение напряжения с “чёрного ящика” и оценка точности проведённого измерения

4.1.1 Используя нижеприведённую схему, необходимо было собрать её макет и измерить напряжение с помощью программного мультиметра от NI.

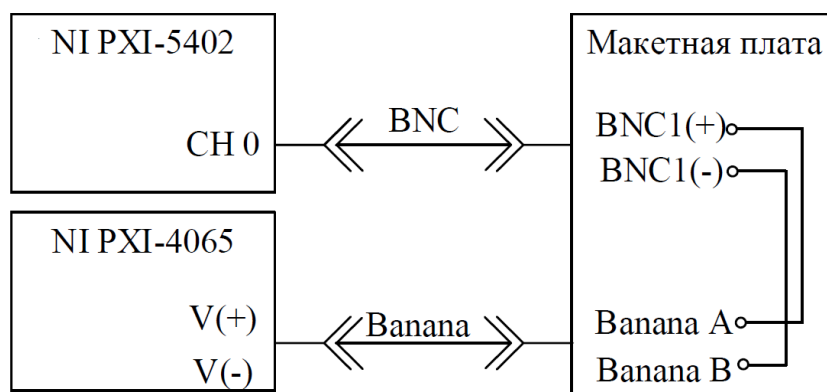


Рисунок 5 - Схема измерения постоянного напряжения

Случайное значение напряжения подавалось на макетную плату NI ELVIS с помощью программы, написанной на Python (см. [листинг 2](#) в приложении А).

Далее были проведены измерения (см. [протокол измерений Б.1](#)) с помощью мультиметра NI PXI-4065.

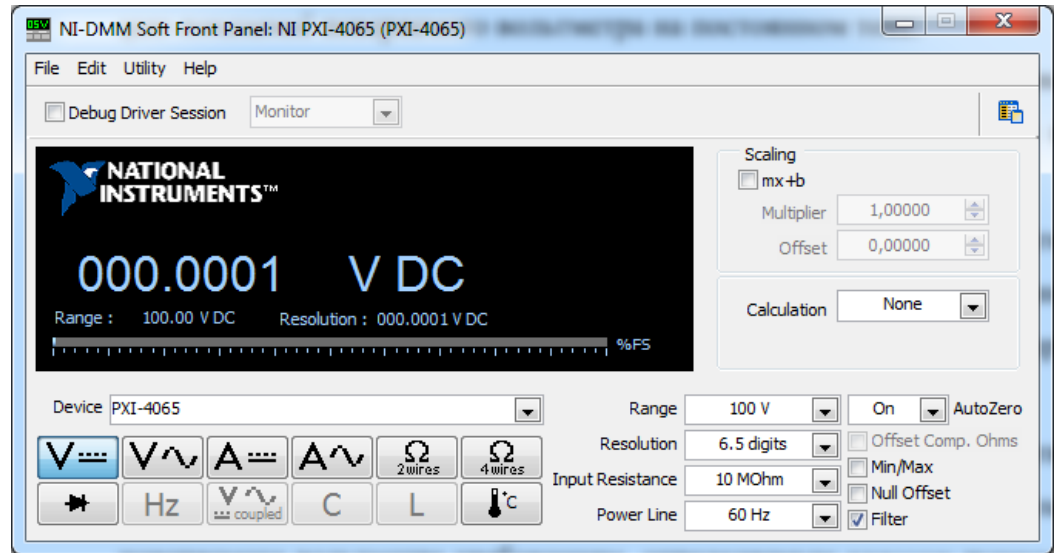


Рисунок 6 - Интерфейс мультиметра NI PXI-4065

4.1.2 Рассчитаем методическую погрешность θ_m по формуле

$$\theta_m = U_{\text{ген}} \cdot \left(\frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}} - 1 \right),$$

где R_V – входное сопротивление мультиметра,

$U_{\text{ген}}$ – напряжение генератора,

$R_{\text{ген}}$ – выходное сопротивление генератора [2].

Выразим $U_{\text{ген}}$ через U_V с помощью формулы

$$U_V = U_{\text{ген}} \frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}}$$

Получаем

$$U_{\text{ген}} = U_V \frac{R_V + R_{\text{ген}}}{R_V} = -9,659 \cdot \frac{10 \cdot 10^6 + 50}{10 \cdot 10^6} = -9,659048295.$$

Теперь вычислим методическую погрешность

$$\begin{aligned}\theta_{\text{м}} &= U_V - U_{\text{ген}} = U_{\text{ген}} \cdot \left(\frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}} - 1 \right) = \\ &= -9,65905 \cdot \left(\frac{10^7}{10^7 + 50} - 1 \right) = 4,8295 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

4.1.3 Оценим основную инструментальную погрешность по формуле

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(a \cdot U_{\text{исп}} + b \cdot D_U),$$

где $U_{\text{исп}}$ – измеренное значение,

D_U – выбранный предел измерения.

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot (-9,659048295) + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10) \approx 0,000749314,$$

4.1.4 Оценим дополнительную погрешность по формуле

$$\theta_{\text{Тдоп}} = \pm(T_{\text{норм}} - T_{\text{PХI}}) \cdot (a \cdot U_{\text{исп}} + b \cdot D_U)$$

$$\theta_{\text{Тдоп}} = \pm(28 - 38,2) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot (-9,659048295) + 10^{-6} \cdot 10) \approx \pm 0,000390611$$

4.1.5 Рассчитаем суммарную инструментальную погрешность

$$\theta(0,95) = k_{0,95;2} \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2}$$

$$\theta(0,95) = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = 0,000929515$$

3.2 Оценка инструментальной погрешности на диапазоне измерений

4.2.1 Задавая опорное напряжение с помощью программы (см. [листинг 1](#) в приложении А), были проведены 10 измерений, результаты которых представлены в [протоколе измерений Б.2](#).

4.2.2 Построим график зависимости измеренных значений с границами погрешности измерения $[U_{\text{п}} - \theta(0,95); U_{\text{п}} + \theta(0,95)]$ и границ погрешности генератора $[U_{\text{оп}} - \theta_{\text{оп}}; U_{\text{п}} + \theta_{\text{оп}}(0,95)]$.

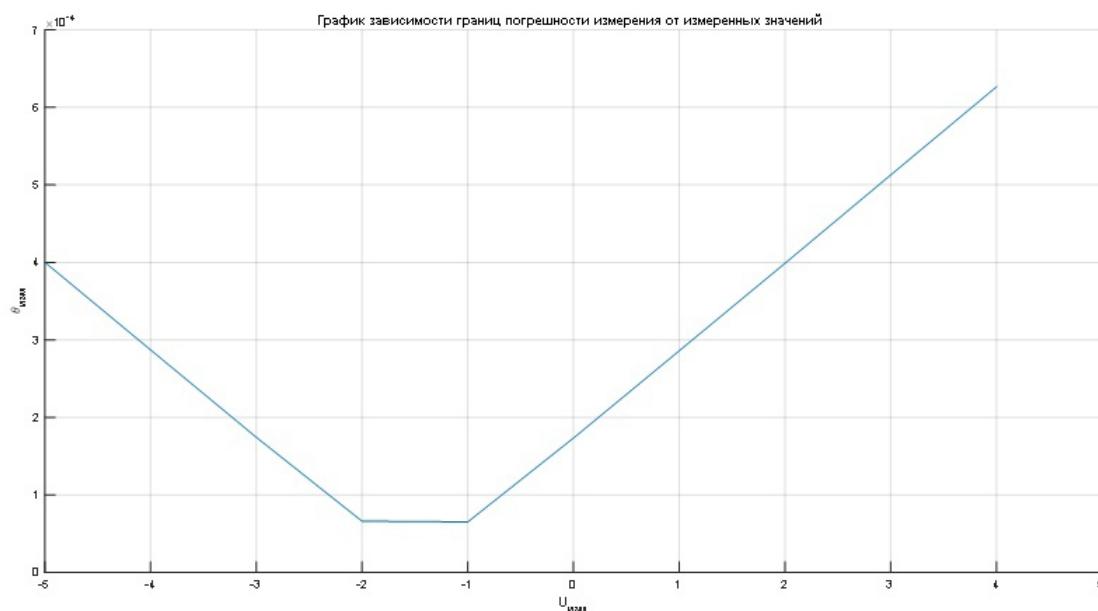


Рисунок 7 – График зависимости границ погрешности измерения от измеренных значений

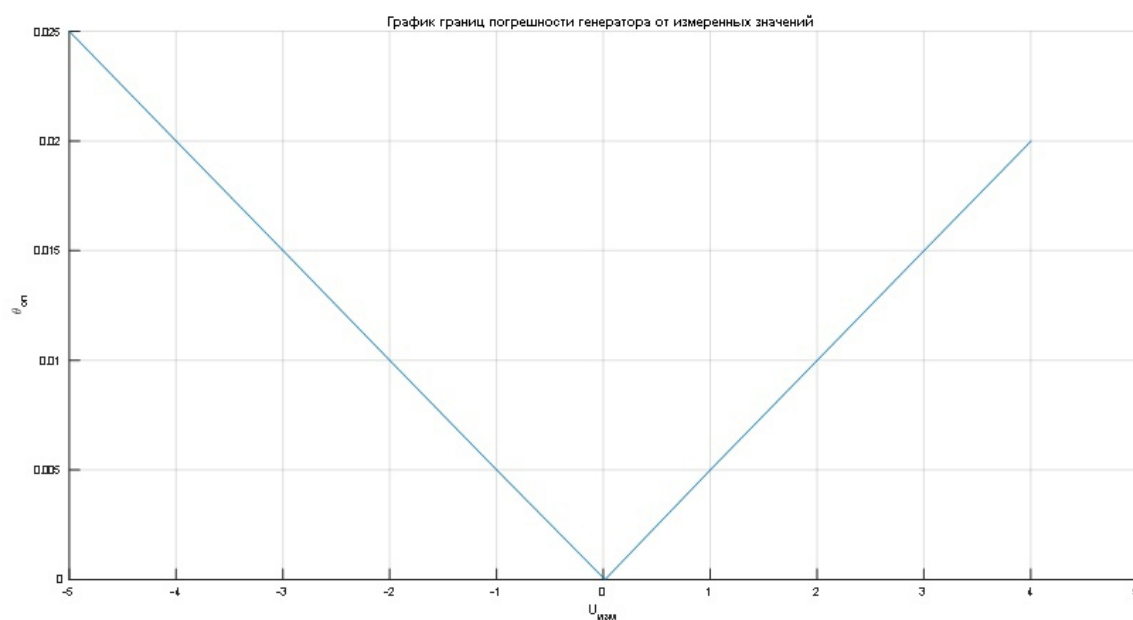


Рисунок 8 – График границ погрешности генератора от измеренных значений

4.3 Измерение сопротивлений резисторов

4.3.1 Заполнив [протокол измерений Б.3](#), оценим инструментальную погрешность мультиметра в режиме омметра при 2-х выводной схеме по формулам

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2 \cdot 10^{-5} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{доп}} = \pm(8 \cdot 10^{-6} \cdot R + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_R),$$

$$\theta(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2}.$$

$$\theta_{\text{осн}_1} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1002,440 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3) \approx \pm 0,130268 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{осн}_2} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 998,740 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3) \approx \pm 0,129861 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_1} = \pm 10^{-3} \cdot (8 \cdot 1,00244 + 1) = \pm 0,00901952 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_2} = \pm 10^{-3} \cdot (8 \cdot 0,99874 + 1) = \pm 0,00898992 \text{ Ом}$$

$$\theta_1(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,143638 \text{ Ом}$$

$$\theta_2(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,143189 \text{ Ом}$$

4.3.2 Оценим инструментальную погрешность мультиметра в режиме омметра при 4-х выводной схеме по формулам

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{доп}} = \pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot R + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{осн}_1} = \pm 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 1,003955 + 2,4) \approx \pm 0,0290198 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{осн}_2} = \pm 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 1,006770 + 2,4) \approx \pm 0,0290338 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_1} = \pm 10^{-3} \cdot (0,3 \cdot 1,003955 + 2) = \pm 0,00230119 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_2} = \pm 10^{-3} \cdot (0,3 \cdot 1,006770 + 2) = \pm 0,00230203 \text{ Ом}$$

$$\theta_1(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,032022 \text{ Ом}$$

$$\theta_2(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,0320374 \text{ Ом}$$

4.4 Расчёт схемы делителя напряжения

4.4.1 Рассчитаем выходное значение схемы делителя напряжения для номинальных значений резисторов при входном напряжении 5 В.

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{1 \text{ кОм}}{2 \text{ кОм}} = 2,5 \text{ В}$$

4.4.2 Вычислим расчётную погрешность делителя напряжения при заданных значениях погрешности резисторов по формуле

$$\Delta U_{\text{вых}} = \pm \left(\frac{R_{2н}}{(R_{1н} + R_{2н})^2} \cdot \Delta R_1 + \frac{R_{1н}}{(R_{1н} + R_{2н})^2} \cdot \Delta R_2 \right) \cdot U_{\text{вх}} = \pm 0,025 \text{ В}$$

4.5 Оценка инструментальной погрешности делителя напряжения и сравнение с расчётным значением

4.5.1 На макетной плате была собрана схема делителя напряжения

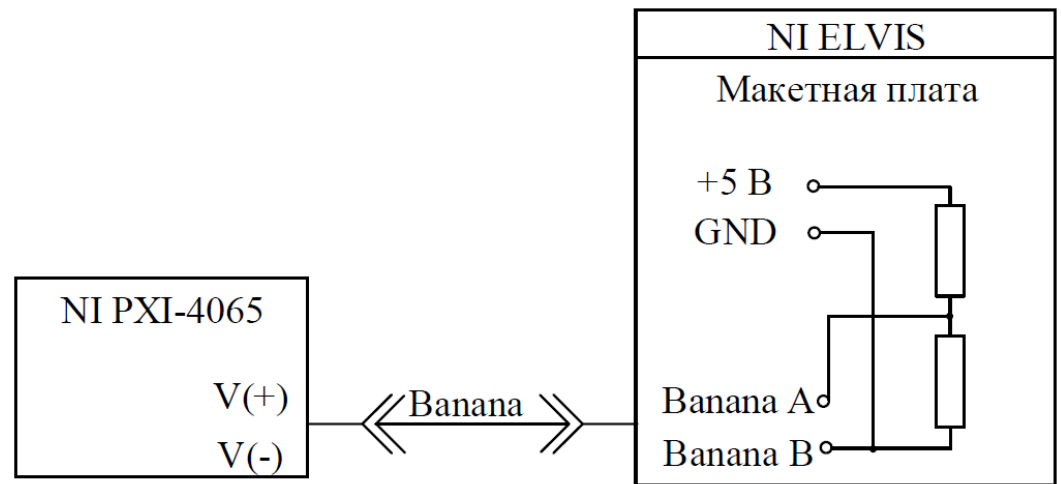


Рисунок 9 - Схема делителя напряжения

После измерения мультиметром был заполнен [протокол Б.4](#).

4.5.2 Оценим инструментальную погрешность для измеренного значения

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot 2,56175 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10) \approx 0,000350558 \text{ В}$$

$$\theta_{\text{Тдоп}} = \pm(28 - 38,2) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,56175 + 10^{-6} \cdot 10) \approx \pm 0,000233 \text{ В}$$

$$\theta(0,95) = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = 0,000463 \text{ В}$$

4. Вывод

В данной лабораторной работе мы ознакомились с основными принципами измерений и оценки погрешностей. Также были сопоставлены экспериментальные данные с расчётными, которые с учётом погрешностей являются валидными.

Приложение А. Листинги программ

Листинг 1 – “generate dc value.py”

```
1. import nifgen
2. import sys

3. with nifgen.Session("PXI-5402") as session:
4.     session.output_mode = nifgen.OutputMode.FUNC
5.     session.load_impedance = -1.0;
6.     session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
7.     amplitude=0.0, frequency=0, dc_offset=0.0, start_phase=0.0)
8.     with session.initiate():
9.         value = 0.0;
10.        print('Generation dc voltage...')
11.        while True:
12.            try:
13.                print('Press "+" to increment voltage and "-" to
14.                decrement by 1 volt or just a number from -10. to 10 V and then "Enter" or
15.                press Ctrl+C to exit')
16.                bp = input()
17.                if bp == '+':
18.                    value += 0.5
19.                elif bp == '-':
20.                    value -= 0.5
21.                elif float(bp)>= -10.0 and float(bp)<= 10.0:
22.                    value = float(bp)/2
23.            session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
24.            amplitude=0.0, frequency=0,
25.                                                    dc_offset=value,
26.            start_phase=0.0)
27.        except KeyboardInterrupt:
28.            print("to be able to exit script gracefully")
29.            sys.exit()
```

Листинг 2 – “generate random dc value.py”

```
1. import nifgen
2. import sys
3. import random

4. with nifgen.Session("PXI-5402") as session:
5.     session.output_mode = nifgen.OutputMode.FUNC
6.     session.load_impedance = -1.0;
7.     with session.initiate():
8.         value = random.uniform(-5, 5)
9.         print('Generating random dc voltage')
10.        print('Press Ctrl+C to exit')
11.        while True:
12.            try:
13.                session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
14.                amplitude=0.0, frequency=0,
15.                                                    dc_offset=value,
16.                start_phase=0.0)
17.            except KeyboardInterrupt:
18.                print("to be able to exit script gracefully")
19.                sys.exit()
```

Приложение Б. Протоколы измерений

Таблица Б.1 - Протокол измерения напряжения постоянного тока

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра U_V , В	Температура СИ, °С
10	6,5	10	50	-9,659	37,74

Таблица Б.2 - Протокол измерения напряжения постоянного тока в диапазоне 1-10 В и оценка инструментальной погрешности

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра U_V , В	Температура СИ, °С
10	6,5	10	50	-	38,2
№	Опорное напряжение $U_{оп} \pm \Delta_{оп}$	Измеренное напряжение $U_{изм}$	Инструментальная погрешность $\Delta_{рхл}$	Границы результата измерения $(U_{изм} - \Delta_{рхл}; U_{изм} + \Delta_{рхл})$	
1	-5±0,025	-4,99790	0,000400	(-4,998300; -4,997500)	
2	-4±0,02	-3,99860	0,000287	(-3,998887; -3,998313)	
3	-3±0,015	-2,99780	0,000174	(-2,997974; -2,997626)	
4	-2±0,01	-1,99980	0,000066	(-1,999866; -1,999734)	
5	-1±0,0005	-0,99898	0,000065	(-0,999045; -0,998915)	
6	0±0	0,01560	0,000175	(0,015425; 0,015775)	
7	-1±0,0005	1,00102	0,000286	(1,000734; 1,001306)	
8	-2±0,01	2,00228	0,000399	(2,001881; 2,002679)	
9	-3±0,015	3,00135	0,000513	(3,000837; 3,001863)	
10	-4±0,02	4,00323	0,000627	(4,002603; 4,003857)	

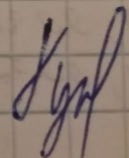
Таблица Б.3 - Протокол измерения сопротивлений резисторов

Предел измерений, Ом	Разрешение	Частота питания сети, Гц
1000	6,5	50
Показания омметра (2-х выводная схема) R_1 , кОм		1,002440
Показания омметра (2-х выводная схема) R_2 , кОм		0,998740
Показания омметра (4-х выводная схема) R_1 , кОм		1,003955
Показания омметра (4-х выводная схема) R_2 , кОм		1,006770

Таблица Б.4 - Протокол измерения выходного напряжения делителя

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра, В	Показания вольтметра, В
10	6,5	10	50	0,256175	0,253506

Галив Андрей
 Миталов Даниил
 Лазарева Мария



Список использованных источников

1. ЛР1. Однократные измерения.
2. NI 5402 Specification. - С.3