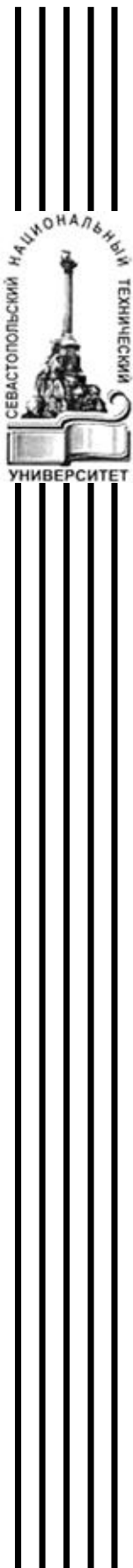


Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический университет



## **ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Основы метрологии»  
для студентов направления подготовки 050201  
«Системная инженерия»  
дневной и заочной форм обучения

Севастополь  
2013



УДК 621.317

**Исследование схемы измерения температуры с помощью термометра сопротивления:** Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы метрологии» для студентов направления подготовки 050201 «Системная инженерия» дневной и заочной форм обучения / Разраб. С.П. Быков, В.В. Чмут В.В. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013.- 14 с.

Целью методических указаний является обеспечение наглядного изучения принципов измерения температуры с помощью термометров сопротивления, градуировки термометров, оценки тепловой инерции, измерительных схем включения термометров сопротивления, методов обработки полученных экспериментальных результатов; приобретение студентами практических навыков работы с аналоговыми и цифровыми измерительными приборами.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 050201 «Системная инженерия» дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры технической кибернетики, протокол № 5 от 21.02.2013 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент

Кудрявченко И.В., к.т.н., доцент кафедры ИС

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. Цель работы                                        | 4  |
| 2. Краткие теоретические сведения                     | 5  |
| 3. Описание лабораторной установки                    | 7  |
| 4. Порядок выполнения экспериментальных исследований  | 9  |
| 5. Порядок выполнения теоретических расчетов          | 11 |
| 6. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы | 12 |
| 7. Контрольные вопросы                                | 13 |
| Библиографический список                              | 14 |

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью выполнения лабораторных работ является углубление и закрепление полученных теоретических знаний по измерению неэлектрических величин, приобретение навыков градуировки термометра сопротивлений (ТС) путем использования градуировочной характеристики, оценки погрешности измерения температуры с помощью ТС, оценки тепловой инерции ТС; освоение методов выбора схемы включения ТС с учетом температуры среды.

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо проверить и экспериментально подтвердить зависимость сопротивления термометра от температуры, произвести градуировку термометра сопротивлений, измерить его постоянную времени.

## 2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приборы, использующие термосопротивление для измерения температуры, называются термометрами сопротивления (ТС). В соответствии с ГОСТ-6651-78 ТС бывают двух основных разновидностей: с платиновым (ТСП) и медным (ТСМ) чувствительными элементами (датчиками температуры). ТС предназначены для измерения температуры в диапазоне от -260 до +1100 °С.

Сопротивление ТСП в диапазоне температур от 0 до 650 °С можно определить по формуле:

$$R = R_0(1 + A\theta + B\theta^2) \quad (1)$$

где  $R$ ,  $R_0$  - сопротивления преобразователя при  $\theta$  и 0 °С;

$A = 3,9702 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ ,  $B = -5,8893 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-2}$  - температурные коэффициенты.

Температурная зависимость сопротивления ТСМ в диапазоне температур от -60 до +180 °С линейная:

$$R = R_0(1 + \alpha\theta), \quad (2)$$

где  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$  - температурный коэффициент сопротивления меди.

Градуировочные характеристики ТСП и ТСМ различных типов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Градуировочные характеристики ТСП и ТСМ

| Тип градуировки | Зависимость сопротивления термометра (Ом) от температуры (°С) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 0                                                             | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |
| 100П            | 100                                                           | 103,9 | 107,9 | 111,9 | 115,8 | 119,7 | 123,6 | 127,5 | 131,4 | 135,3 | 139,1 |
| 100М            | 100                                                           | 104,3 | 108,6 | 112,8 | 117,1 | 121,4 | 125,7 | 130,1 | 134,2 | 138,5 | 142,8 |
| гр23            | 53                                                            | 55,3  | 57,5  | 59,8  | 62,0  | 64,3  | 66,6  | 68,8  | 71,1  | 73,3  | 75,6  |
| гр21            | 46                                                            | 47,8  | 49,6  | 51,5  | 53,3  | 55,1  | 56,9  | 58,7  | 60,4  | 62,2  | 64,0  |

Погрешности, возникающие при измерении температуры термометрами сопротивления, вызываются нестабильностью во времени начального сопротивления термометра и его температурного коэффициента сопротивления (ТКС), изменением сопротивления линии, соединяющей датчик с измерительным прибором, перегревом термометра измерительным током.

Сопротивление термометров в промышленных условиях измеряется мостами либо логометрами. Наибольшее распространение получили уравновешенные мосты с ТС, которые подключаются с помощью двух- или трехпроводной линии. Для измерения температуры в узком интервале температур удобнее использовать неуравновешенный мост, так как здесь устранен основной недостаток уравновешенных мостовых схем

необходимость выполнения ручных манипуляций, связанных с уравниванием моста.

Наиболее существенной погрешностью ТС является погрешность, обусловленная изменением сопротивления проводников, соединяющих чувствительный элемент (датчик температуры) с прибором. Изменение сопротивления проводников может происходить, во-первых, при колебаниях температуры окружающей среды и, во-вторых, при изменении длины проводников, соединяющих датчик с прибором (включение датчика ТС через короткую или длинную линию).

При измерении температуры с помощью ТС следует учитывать тепловую инерцию, вызывающую появление динамической погрешности, которая представляет собой разность текущего значения температуры ТС и температуры окружающей среды. Время установления показаний прибора с ТС пропорционально постоянной времени  $T$ , величина которой рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}}, \quad (3)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  - моменты времени;

$\theta_1$  и  $\theta_2$  - измеренные значения температуры ТС в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ .

### 3. ПРОГРАММА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1. Градуировка термометра сопротивления

Установить переключатель SA1 и выключатели SA2, SA3 в положение 2. К клеммам «R<sub>t</sub>» подключить магазин сопротивлений. Переключатель НАГРЕВ ↔ ИЗМЕРЕНИЕ установить в положение ИЗМЕРЕНИЕ.

Набрать сопротивление магазина сопротивлений R<sub>0</sub>, соответствующее значению сопротивления ТС при 0 °С (см. данные таблицы 1 для градуировки гр21).

Тумблер СЕТЬ установить в положение ВКЛ, выключатель SA3 - в положение 1. С помощью переменного резистора R2 «УСТ 0°С» (ручками ГРУБО и ТОЧНО) стрелку прибора ZEPAX установить на нулевую отметку шкалы температур.

Набрать сопротивление магазина R<sub>100</sub>, соответствующее величине сопротивления ТС при 100 °С. С помощью переменного резистора R5 «УСТ 100 °С» установить стрелку прибора на отметку 100 °С. Операцию установки начального и конечного значений шкалы провести несколько раз.

Последовательно изменяя сопротивление магазина в соответствии с градуировочной характеристикой ТС (см. данные таблицы 1 для градуировки гр23), снять показания прибора через каждые 10 °С. Заполнить таблицу наблюдений.

Таблица 2 - Таблица наблюдений

| °С                    | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-----------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Показание прибора, °С |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Погрешность Δ, °С     |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
| Относит. погр. γ, %   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

#### 3.2. Исследование измерительной цепи ТС

Изменение сопротивления проводников, соединяющих датчик температуры с прибором, в лабораторной установке моделируется с помощью добавочных резисторов ΔR<sub>л</sub> и выключателя SA2. Необходимо исследовать влияние изменения сопротивления линии при включении ТС по двух- и трехпроводной схеме.

4.2.1. Установить переключатель SA1 и выключатели SA2, SA3 в положение 2 (двухпроводная схема). Сопротивление магазина установить, например, равным сопротивлению ТС при 20 °С. Произвести отсчет температуры  $\theta_{12}$  по шкале прибора.

4.2.2. Установить переключатель SA2 в положение 1 и провести отсчет температуры  $\theta_{22}$  по шкале прибора.

4.2.3. Установить переключатель SA1 в положение 1, а выключатели

SA2 и SA3 в положение 2 (трехпроводная схема). Сопротивление магазина установить равным сопротивлению ТС по п.4.2.1. Произвести отсчет температуры  $\theta_{13}$  по шкале прибора.

4.2.4 Установить переключатель SA2 в положение 1 и провести отсчет температуры  $\theta_{23}$  по шкале прибора.

### 3.3. Определение постоянной времени ТС

Выключатель SA3 установить в положение 2. К клеммам «R<sub>t</sub>» подключить датчик температуры ТС. Установить выключатель СЕТЬ схемы нагревателя в положение ВКЛ. Трубку с чувствительным элементом ТС поместить в нагреватель. Как только стрелка прибора достигнет верхних отметок шкалы (от 90 до 100 °С), необходимо извлечь датчик ТС из нагревателя и установить выключатель SA3 в положение 1. Переключатель «Нагрев↔Измерение» установить в положение «Измерение».

Наблюдать за процессом охлаждения датчика ТС от 100 °С до комнатной температуры (до значений температуры в диапазоне от 40 до 50°С), снимая показания прибора через равные промежутки времени, например, через 30 секунд. Заполнить таблицу наблюдений.

Таблица 3 - Таблица наблюдений

| Время, с        | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 |
|-----------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Температура, °С |   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |

#### 4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, которая монтируется на приборной доске, размещенной на лабораторном столе в вертикальном положении.

Лабораторная установка содержит следующие средства измерения, контроля и управления:

- аналоговый прибор ZEPAX; обеспечивает возможность измерения температуры в диапазоне от 0 до 100 °C (упрощенная принципиальная схема термометра сопротивления приведена на рисунке 1)

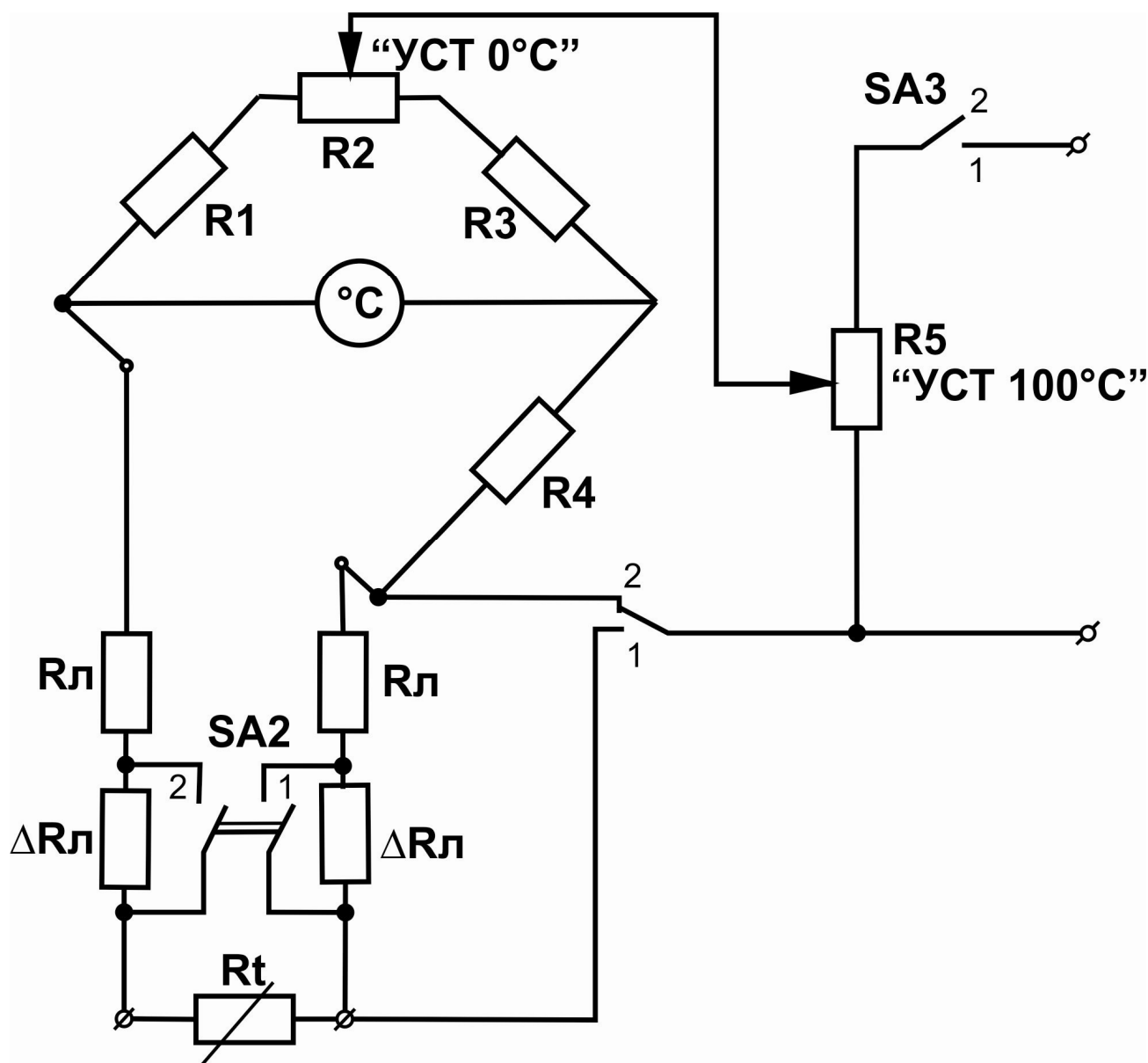


Рисунок 1 - Принципиальная схема термометра сопротивления

- магазин сопротивлений P33 - обеспечивает установку значения образцового сопротивления  $R_t$ , в диапазоне от 0 до 99999,9 Ом с шагом 0,1 Ом (подключается к клеммам « $R_t$ » в режиме градуировки TC);

- клеммы « $R_1$ » - предназначены для подключения термосопротивления (датчика температуры или магазина сопротивлений);

- тумблер СЕТЬ - предназначен для включения (отключения) прибора

**ZEPAX;**

- ручки: УСТ 0°C (ГРУБО и ТОЧНО); УСТ 100°C предназначены для градуировки шкалы ТС;
- переключатель SA1 - предназначен для включения ТС по двух- или трехпроводной схеме;
- выключатель SA2 - предназначен для имитации увеличения или уменьшения сопротивления проводников, соединяющих ТС с прибором ZEPAX (при включении/отключении добавочных резисторов  $\Delta R_n$ );
- выключатель SA3 - предназначен для включения/отключения напряжения питания схемы, изображенной на рисунке 1;
- переключатель НАГРЕВ  $\leftrightarrow$  ИЗМЕРЕНИЕ;
- тумблер СЕТЬ схемы питания нагревателя;
- нагреватель - предназначен для нагрева датчика температуры ТС от комнатной температуры до температуры 100 °C;
- датчик температуры ТСМ (с медным чувствительным элементом), размещенный в металлической трубке с рукояткой из пластмассы; предназначен для измерения температуры в диапазоне от 0 до 100 °C в комплекте с прибором ZEPAX.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

5.1. Принимая данные первой строки таблицы 2 за действительные значения температуры, рассчитать абсолютные и относительные погрешности измерения для оцифрованных отметок шкалы. По наибольшей абсолютной погрешности определить возможный класс точности термометра сопротивления.

5.2. Рассчитать величину приведенной относительной погрешности, вызванной изменением сопротивления линии при двухпроводной и трехпроводной схемах включения ТС. Сравнить полученные результаты.

5.3. Построить график зависимости температуры  $\theta$  ТС от времени охлаждения  $t$ :

$$\theta = f(t).$$

Рассчитать постоянную времени ТС по формуле (3) для начального, среднего и конечного участков кривой  $\theta = f(t)$ .

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчет, представляемый к защите после окончания исследования, должен содержать:

- титульный лист;
- цель исследования;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- перечень используемых приборов;
- результаты эксперимента;
- результаты расчетов;
- графический материал;
- выводы по результатам исследования.

На оформление студентом индивидуального отчета отводится внеаудиторное время в количестве 0.5 от числа аудиторных часов. Защита отчета производится на очередном занятии.

Студент, не оформивший или не защитивший отчет по предыдущей работе, к выполнению очередной лабораторной работы не допускается.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Укажите зависимости сопротивления ТС от температуры.
- 7.2. Перечислите основные требования к материалам для ТС.
- 7.3. Какой формулой следует пользоваться для определения сопротивления ТС в заданном интервале температур?
- 7.4. Как осуществляется градуировка ТС?
- 7.5. Нарисовать принципиальную схему ТС и объяснить различия двух- и трехпроводной схем включения ТС в уравновешенный мост.
- 7.6. Объяснить возникновение динамической погрешности измерения температуры с помощью ТС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Душин Е.М. Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин; под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.- 480с.
2. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с. (Учебник для вузов).
3. Сергеев А.Г. Метрология: учебник / А.Г. Сергеев. – М.: Логос, 2005. – 272 с.
4. Шишмарев В.Ю. Электрорадиоизмерения: уч. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образ. / В.Ю. Шишмарев, В.И. Шанин; под ред. В.Ю. Шишмарева. – М.: ИЦ «Академия», 2004.- 336 с.; ил. (Среднее специальное образование).
5. Хрусталева З.А. Электротехнические измерения: учебник. / З.А. Хрусталева. - М.: КноРус, 2011. – 208 с.
6. Панфилов В.А. Аналоговые методы и средства электрических измерений / В.А. Панфилов. – М.: Энергопресс, 2006. – 112 с.
7. Шишмарев В.Ю. Средства измерений / В.Ю. Шишмарев.. - М.: ИЦ «Академия», 2010.- 320 с.
8. Хромоин П.К. Электротехнические измерения: уч. пособие / П.К. Хромоин. – М.: Форум, 2008. – 288 с., ил. (Профессиональное образование).
9. Пустовая О.А. Электрические измерения: уч. пособие / О.А. Пустовая. - М.: КноРус, 2010. – 247 с. (Высшее образование).
10. Афанасьев А.А. Физические основы измерений: учебник / А.А. Афанасьев. - М.: ИЦ «Академия», 2010. (Высшее профессиональное образование).
11. Кудасов Ю.Б. Электротехнические измерения: уч. пособие / Ю.Б. Кудасов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 184 с.
12. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник и др.; Ред. Є. С. Поліщук; Ін-т інновац. технологій і змісту освіти. - Львів : Бескид Біт, 2008. - 618 с. : іл.
13. Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Метрология и метрологическое обеспечение", "Стандартизация и сертификация" и "Управление качеством" / А. Г. Сергеев. - М. : Высшее образование, 2008. - 576 с.: ил.
14. Назаров Н.Г. Метрология : основные понятия и математические модели: учеб. пособие для студ. вузов / Н. Г. Назаров. - М.: Высшая школа, 2002. - 348 с.: ил.
15. Желєзна А.О. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посіб. для студ. машинобуд. та приладобуд. спец. / А. О. Желєзна, В. А. Кирилович ; Житомир. держ. технолог. ун-т. - К.: Кондор, 2004. - 796 с.: ил.
16. Методы электрических измерений: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Информационно-измер. техника" / Ред. Э. И. Цветков. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. - 388 с.: ил.



Заказ № \_\_\_\_\_ от «\_» \_\_\_\_\_ 2013 г. Тираж \_\_\_\_\_ экз.  
Изд-во СевНТУ