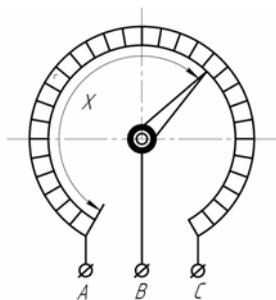


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе №1  
по дисциплине "Физические основы получения информации"  
для подготовки бакалавров техники и технологии  
по направлению 200100 «Приборостроение»  
всех форм обучения



Воронеж 2011

Составители: канд. техн. наук А.В. Турецкий,  
канд. техн. наук Н.В. Ципина,  
канд. техн. наук В.А. Шуваев

УДК 621.3.049.7.002 (075)

Исследование потенциометрических преобразователей перемещений: методические указания к лабораторной работе №1 по дисциплине «Физические основы получения информации» для подготовки бакалавров техники и технологии по направлению 200100 «Приборостроение» всех форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.А. Шуваев, А.В. Турецкий, Н.В. Ципина. Воронеж, 2011. 16 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по курсу «Физические основы получения информации». Основной целью указаний являются выработка навыков работы с потенциометрическими преобразователями, уяснение их принципа действия, характеристик и параметров. Методические указания предназначены для бакалавров техники и технологии по направлению 200100 «Приборостроение» всех форм обучения.

Табл. 1. Ил. 8. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,  
проф. А.В. Муратов

Печатается по решению редакционно–издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011

# 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

## 1.1. Цель работы

Изучение теории потенциметрических (реостатных) преобразователей и проведение экспериментальных исследований линейных и функциональных преобразователей.

## 1.2. Содержание работы

Потенциметрические преобразователи предназначены для преобразования линейных или угловых перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических устройствах непрерывного типа.

1) изучить принцип действия, конструкцию, характеристики и схемы включения потенциметрических преобразователей различного типа;

2) уяснить методики построения статических характеристик потенциметрических преобразователей;

3) согласно индивидуальным заданиям снять данные для построения статических характеристик потенциметрических преобразователей, реализующих различные функциональные зависимости;

4) по полученным данным построить характеристики;

5) снять характеристики нагруженного преобразователя;

6) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе со стендом лабораторной установки.

## 2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

### 2.1. Задание № 1

Изучить назначение, принцип действия, характеристики, схемы включения и погрешности потенциметрических преобразователей.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

Потенциметрические преобразователи применяются в различных информационно-измерительных системах и вычислительных устройствах. Потенциметрические преобразователи служат для преобразования угловых и линейных перемещений в соответствующие им по величине электрические напряжения.

Реостатные преобразователи служат для преобразования угловых и линейных перемещений в соответствующие им по величине электрические сопротивления.

Принцип действия, характеристики и схемы включения.

Потенциметрические (реостатные) преобразователи представляют собой проводник, изготовленный из материала с большим удельным сопротивлением. Наибольшее распространение находят проволочные потенциметрические преобразователи, эскиз конструкции которых приведен на рис. 1, а.

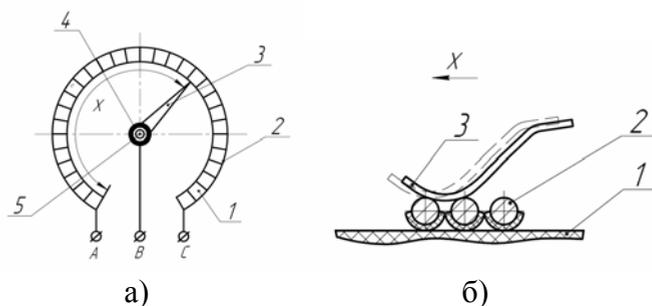


Рис. 1. Конструкция преобразователя

На каркасе 1 прямоугольной или круглой формы, выполненном из изоляционного материала, размещены плотно в

один ряд витки изолированного провода 2 из материала с высоким омическим сопротивлением. По очищенной от изоляции поверхности скользит щетка 3 движка преобразователя. Щетка обычно представляет собой металлическую ленточку или проволоку, изогнутую на конце. Щетка выполняется из упругих материалов.

При перемещении по обмотке потенциометра, изогнутый коней щетки касается следующего витка раньше, чем сходит с предыдущего (рис. 1 ,б). Вследствие этого в момент перехода с витка на виток контакт не нарушается и каждому положению X щетки соответствует сопротивление  $R_x$ , между одним из крайних зажимов (например, А) и средним зажимом В,

Полное сопротивление реостата равно:

$$R_0 = \frac{4\rho l_h w}{\pi d^2}, \quad (1.1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление материала провода;

$l_h$  – средняя длина витка;

$w$  – число витков;

$d$  – диаметр провода.

Если к крайним зажимам А и С преобразователя (рис. 1,а) приложить напряжение питания  $U_0$ , то каждому положению щетки  $x$  будет соответствовать напряжение  $U_x$ . При этом создается функция преобразования  $U_x = \Psi(x)$ . Такой преобразователь называется потенциометрическим.

Зависимости  $R_x = f(x)$  и  $U_x = \Psi(x)$  являются статическими характеристиками реостатного и потенциометрического преобразователей соответственно. Эти характеристики могут быть как линейными, так и нелинейными.

Преобразователь, сопротивление и напряжение которого изменяются пропорционально перемещению щетки, называется линейным, и его характеристики имеют вид прямой линии:

$$R_x = S \cdot x \quad \text{или} \quad U_x = S_l \cdot x$$

$$\text{где } S = \frac{\partial R}{\partial x} = \text{const} \quad \text{или} \quad S_l = \frac{\partial U}{\partial x} = \text{const}$$

Коэффициенты  $S$  и  $S_l$ , связывающие механическую величину - перемещение и электрическую - сопротивление или на-  
пряжение, называются чувствительностью преобразователей.

Для случая измерения углового перемещения

$$x = k \cdot \alpha,$$

где  $r$  - радиус каркаса преобразователя:

$\alpha$  - входное измеряемое угловое перемещение.

Для получения нелинейной статической характеристики можно применить каркас переменного сечения (так называемый профилированный), или шунтировать отдельные участки линейного реостата.

При применении каркаса переменного сечения шаг намотки постояен, а нелинейность достигается изменением длины витка  $l_{nx_i}$  на различных участках за счет переменной высоты  $h_{x_i}$  каркаса (рис. 2).

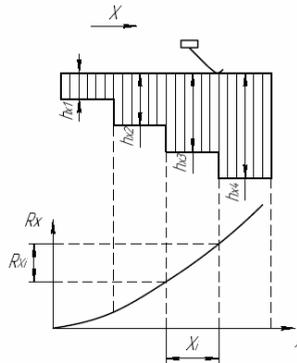


Рис. 2. Схема и характеристика преобразователя с профилированным каркасом

Высота  $h_{xi}$  прямоугольного каркаса (для 1-го участка)  
равна:

$$h_{xi} = \frac{\pi R_{xi} d^2 d_{из}^2}{8 \rho x_i} - a,$$

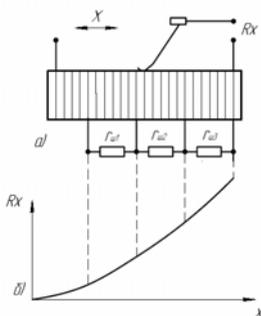
где  $R_{xi}$  и  $x_i$  - сопротивление и длина  $i$ -го участка преобразователя;

$\rho$  - удельное сопротивление материала провода;

$a$  - толщина каркаса

$d$  и  $d_{из}$  - диаметры обмоточного провода без изоляции и с изоляцией.

При применении метода шунтирования, линейный реостат делится на ряд равных участков и шунтируется сопротивлениями  $r_{ш}$  различной величины. При этом характеристика реостата будет иметь вид ломаной линии, состоящей из прямолинейных отрезков, число которых равно числу участков (рис. 3).



а) схема; б) характеристика;  $r_{ш1}$ ,  $r_{ш2}$ ,  $r_{ш3}$  - сопротивления шунтов.

Рис. 3. Преобразователь с зашунтированными участками

Величина сопротивления шунта определяется по формуле:

$$r_{ш} = (\Delta R_{0i} \Delta R_i) / (\Delta R_{0i} - \Delta R_i).$$

где  $\Delta R_{0i}$  - сопротивление  $i$ -го участка до шунтировки;  
 $\Delta R_i$  - требуемое сопротивление  $i$ -го участка.

Электрическая схема нагруженного преобразователя показана на рис. 4.

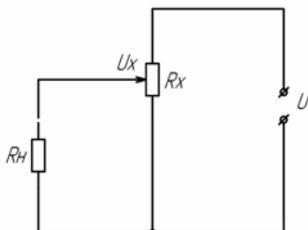


Рис. 4. Схема электрической цепи потенциметрического преобразователя

Статическая характеристика преобразователя имеет вид:

$$U_x = \phi(X) = \frac{U_0 x / l_0}{1 + (R_0 / R_H)(x / l_0)(1 - (x / l_0))}, \quad (2)$$

где  $U_x$  - выходное напряжение;  
 $x$  - измеряемое входное перемещение;  
 $l_0$  - общая длина катушки преобразователя;  
 $U_0$  - напряжение питания;  
 $R_H$  - сопротивление нагрузки;  
 $R_0$  - полное сопротивление преобразователя.

Видно, что функция (2) - статическая характеристика нагруженного преобразователя - нелинейна, причем нелинейность существенно зависит от отношения  $R_0 / R_H$ .

При  $R_H = \infty$ , т.е. для ненагруженного потенциметрического преобразователя, в случае использования прямолинейного каркаса и равномерной намотки, из уравнения (2) следует, что  $U_x = S \cdot x$ , где  $S=U_0/l_0$  - чувствительность потенциметрического преобразователя.

Схема включения потенциметрического преобразователя представлена на рис. 5.

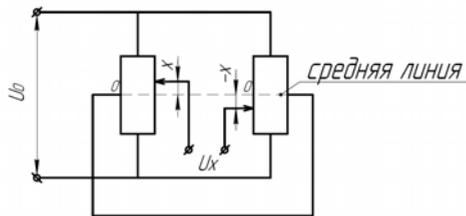


Рис. 5 Схема включения потенциметрических преобразователей

Эта мостовая электрическая схема состоит из двух одинаковых линейных потенциметров. При этом на потенциометрах фиксируется средняя «нулевая точка», относительно которой отсчитывается выходное напряжение  $U_x$ , соответствующее входному перемещению  $x$ .

#### Материалы.

Материал провода обмотки должен иметь высокое удельное сопротивление, малый температурный коэффициент сопротивления, обладать стабильностью характеристик во времени, коррозионной стойкостью, высококачественной изоляцией и большой прочностью как на истирание, так и на разрыв.

В преобразователях широко используются сплавы: константан, нихром, манганин. Для высокоточных преобразователей применяют сплавы на основе золота серебра, палладия.

Для изготовления каркасов потенциометров используют как неметаллические материалы, так и металлы. Из неметаллических материалов применяют текстолит, гетинакс, эбонит, органическое стекло, прессованную керамику. Недостатки неметаллических материалов: гигроскопичность, низкие теплопроводность и теплоемкость. Для металлических каркасов применяются алюминиевые сплавы АМГ, Д1, Д16 и др. Анодирование каркасов или изоляция различными лаками позволяют получить прочные электроизоляционные покрытия.

Материал щетки движка должен быть упругим, износостойчивым, устойчивым против электрической эрозии и коррозии (которые приводят к нарушению контакта). Среди дешевых материалов можно назвать бериллиевую и фосфористую бронзы. Лучшими материалами являются палладий, иридий и сплавы (платино-иридиевый, палладий-иридиевый)

Погрешности.

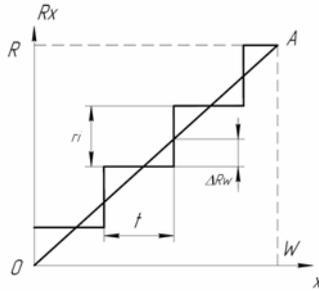
Погрешности могут появиться как следствие несовершенства метода измерений- методические погрешности, так и вследствие несовершенства конструкции самого преобразователя, свойств материала и др. -инструментальные погрешности.

Методические погрешности.

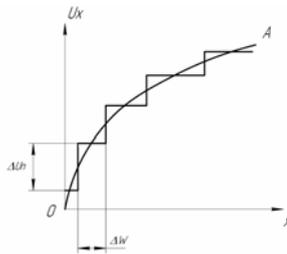
1) Витковая погрешность, или погрешность ступенчатости возникает из-за того что сопротивление или напряжение на выходе проволочного потенциометра изменяется скачком при переходе щетки с одного витка на другой (рис. 6,а).

Пока щетка скользит по одному витку, сопротивление  $r_1$  витка не изменяется. При переходе щетки на другой виток сопротивление сразу возрастает на величину  $r_1$ . За расчетную характеристику преобразователя принимают прямую линию, проходящую через середину каждой ступеньки (линия ОА). Величина отклонения фактической (ступенчатой) характеристики от расчетной и является витковой погрешностью преобразователя. В случае линейного потенциометра величину витковой погрешности рассчитывают по формуле

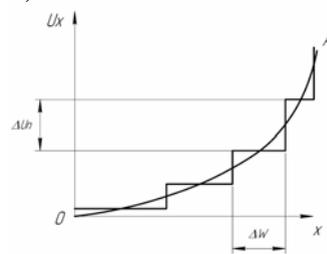
$$\Delta R_w = 0.5 r_l = 0.5 R_0 w$$



а)



б)



в)

Рис. 6. Графики, поясняющие витковую погрешность потенциометров

Для нелинейного потенциометра расчетная характеристика  $OA$  не линейна (рис. 6.б,в) и величина максимальной витковой погрешности вычисляется по наиболее крутому ее участку  $\Delta U = \Delta U_n / 2\Delta w$

где  $\Delta U_n$  - приращения выходных величин, соответствующие наиболее крутым участкам характеристик;

$\Delta w$  – число витков в тех же участках.

2) Потенциометрические преобразователи по своим динамическим характеристикам являются безинерционными звеньями.

3) Температурная погрешность возникает за счет нагрева преобразователя током, протекающим по обмотке.

Инструментальные погрешности.

1) Температурная погрешность возникает вследствие того, что при изменении температуры окружающей среды электрическое сопротивление преобразователя изменяется по величине в соответствии с уравнением

$$R_t = R_0(1+\alpha t),$$

где  $R_t$  - сопротивление потенциометра при изменении температуры;

$R_0$  - исходное сопротивление при начальном состоянии;

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления материала провода.

2) Производственно-технологическая погрешность обусловлена непостоянством электрического сопротивления провода по его длине, отступлением от заданного шага намотки, неодинаковостью периметра каркаса на отдельных участках и др.

3) Погрешности трения проявляются из-за сухого трения при перемещении щетки по обмотке потенциометра. Погрешности переходного сопротивления появляются из-за прерывания контакта между щеткой и проводом преобразователя, вследствие чего возникают быстрые флуктуации выходного напряжения потенциометра.

## 2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Каково назначение потенциметрических и реостатных преобразователей?

2. Каково устройство потенциметрических преобразователей?

3. Что называют статической характеристикой потенциметрических преобразователей?

4. Что называют чувствительностью преобразователя?

5. Какие материалы применяют для изготовления потенциметрических преобразователей?

6. Каковы причины появления методических и инструментальных погрешностей в потенциметрических преобразователях?

7. Каким образом получают нелинейные статические характеристики?

8. Приведите примеры использования потенциметрических преобразователей в технике?

### **3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

#### 3.1. Задание

1) Изучить теоретическую часть работы. Ознакомиться с различными типами реостатов (линейных и функциональных).

2) Снять статические характеристики и построить графики  $R = \varphi(\alpha)$  для соответствующих реостатов.

3) Проанализировать статические характеристики нелинейных реостатов по диапазонам измерения, виду функциональной зависимости и чувствительности на различных участках характеристики.

4) Снять статическую характеристику потенциметра.

5) Сделать заключение по выполненной лабораторной работе.

#### 3.2. Описание лабораторной установки

Вид лицевой панели лабораторной установки приведен на рис. 7.

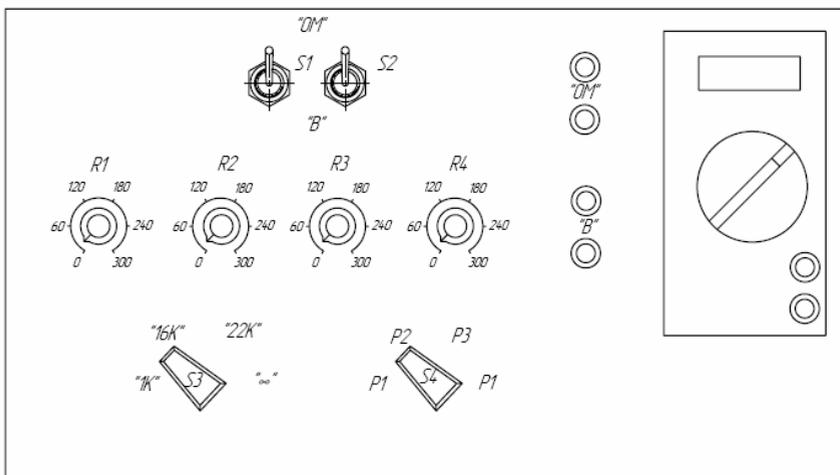


Рис. 7. Схема лицевой панели лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема установки представлена на рис. 8.

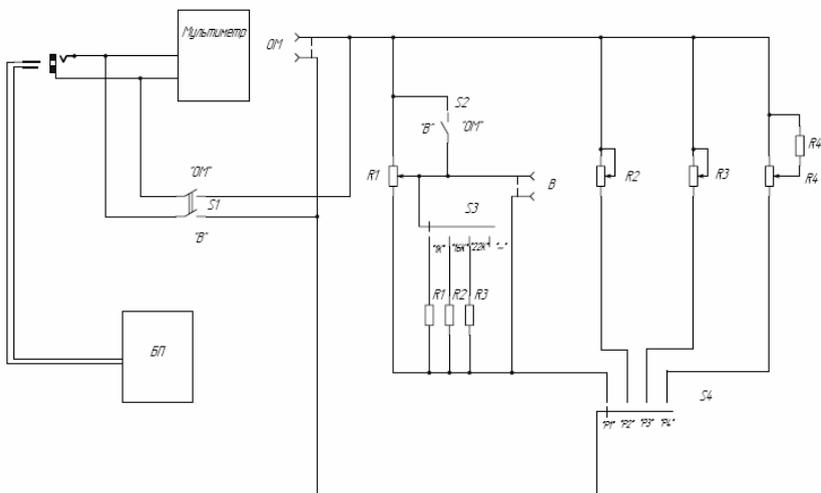


Рис. 8. Электрическая схема лабораторной установки

На панели лабораторной установки смонтированы: один линейный (R1) и три функциональных (R1, R2, R3) реостата.

Угловые положения щеток реостатов определяются по шкала, нанесенным на панель установки.

Включение требуемого реостата осуществляется с помощью переключателя S4.

В качестве измерительного устройства используется мультиметр. Для его подключения в схему используются клеммы.

Переключатель S3 необходим для нагрузки реостата R1, работающего потенциометром.

### 3.3. Методика проведения эксперимента

Определение статической характеристики

1. Включить установку в сеть
2. Тумблеры S1 и S2 перевести в верхнее положение «Ом».
3. Подключить щупы мультиметра к клеммам «Ом».
4. Установить переключатель S4 в положение P1, а переключатель S3 в положение «∞».
5. Установить движок со щеткой реостата R1 в крайнее левое положение («0») и записать значение угла  $\alpha$  по шкале реостата в таблицу.

Результаты эксперимента

№ пп	$\alpha$ , град.	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом

6. Установить на мультиметре режим измерения сопротивлений и изменяя диапазон добиться появления показаний.

Записать величину сопротивления по мультиметру в таблицу.

7. Установить движок щетки реостата в положение  $\alpha = 60^\circ \dots 300^\circ$  через  $30^\circ$ . Провести измерения по методике п. 6.

8. Установить переключатель S4 в положение P2, P3, P4 поочередно. Провести измерения по методике п.п. 5,6,7.

9. Построить зависимости  $R = \varphi(\alpha)$  - статическую характеристику реостатов.

10. Проанализировать полученную характеристику, установить диапазон работы по входному (углу) и выходному (напряжению)

Определение статической характеристики нагруженного потенциометрического преобразователя

1. Включить установку в сеть

2. Тумблеры S1 и S2 перевести в нижнее положение «В».

3. Подключить щупы мультиметра к клеммам «В».

4. Установить переключатель S4 в положение P1, а переключатель S3 в положение « $\infty$ ».

5. Установить движок со щеткой реостата R1 в крайнее левое положение («0») и записать значение угла  $\alpha$  по шкале реостата в таблицу 2

6. Установить на мультиметре режим измерения постоянных напряжений и изменяя диапазон добиться появления показаний. Записать величину напряжения по мультиметру в таблицу.

7. Установить движок щетки реостата в положение  $\alpha = 60^\circ \dots 300^\circ$  через  $30^\circ$ . Провести измерения по методике п. 6.

8. Установить переключатель S3 в положение 1К, 16К, 22К поочередно. Провести измерения по методике п.п. 5,6,7.

9. Построить зависимости  $U = \varphi(\alpha)$  - статическую характеристику потенциометра.

10. Сравнить характеристики при различных нагрузках, сделать выводы.

Составить отчет по работе, в содержании которого привести:

1. теоретическую часть;
2. конструкцию потенциометрических преобразователей;
3. таблицы результатов эксперимента;
4. построенные статические характеристики.

### 3.4 Контрольные вопросы.

1. Каковы достоинства и недостатки потенциометрических преобразователей?

3. Каковы области применения потенциометрических преобразователей?

4. Дайте оценку погрешностей, вносимых при использовании потенциометрических преобразователей.

6. Каким образом можно получить требуемую функциональную зависимость потенциометрического преобразователя.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Е.П. Осадчий, А.И.Тихонов, В.И. Карпов и др. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е.П. Осадчий; под ред. Е.П.Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. 480 с.

2. Д.И. Агейкин и др. Датчики контроля и регулирования. Справочные материалы/ Д.И. Агейкин – М.: Машиностроение, 1965., 928 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания.....	1
2. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	1
3. Лабораторные задания и методические указания к его выполнению.....	11
Библиографический список.....	15

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе №1  
по дисциплине «Физические основы получения информации»  
для подготовки бакалавров техники и технологии  
по направлению 200100 «Приборостроение»  
всех форм обучения

Составители:  
Турецкий Андрей Владимирович  
Ципина Наталья Викторовна  
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции

Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано в печать 27.09.2011.  
Формат 60×84/16. Бумага для множительных  
аппаратов.  
Усл. печ. л. 11,1 Уч.-изд. л. 0,9 Тираж 25 экз. «С»  
Зак. №

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14