

## **МЕТОДИКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНО-МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ**

**Гречихин В.В., Январёв С.Г., Лозин О.И., Шайхутдинов Д.В.**

*ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия (346428, Новочеркасск, ул. Просвещения 132), e-mail: vgrech@mail.ru*

Рассматривается один из этапов комплекса работ по исследованиям и разработкам исполнительных систем для промышленных систем управления на основе ферромагнитных материалов с памятью формы, а именно разработка методики метрологической оценки степени достоверности результатов их натурно-модельных испытаний. Такая оценка включает в себя два аспекта: во-первых, определение степени адекватности теоретических моделей исполнительных систем по результатам экспериментальных проверок и, во-вторых, диагностику состояний исполнительных систем в процессе эксплуатации. Предложена методика, заключающаяся в обеспечении множественного сравнения различных функциональных зависимостей параметров исполнительной системы. Причем предполагается сравнение теоретической и соответствующей ей экспериментальной зависимости или одинаковых экспериментальных зависимостей, получаемых в процессе эксплуатации системы в разное время, чем обеспечивается возможность мониторинга её состояния. Предложенная методика реализована в разработанной в среде графического программирования LabVIEW программе для персонального компьютера.

Ключевые слова: исполнительное устройство, ферромагнитный материал с памятью формы, графическое программирование

## **PROCEDURE OF THE METROLOGICAL ASSESSMENT OF DEGREE OF AUTHENTICITY OF RESULTS OF FULL-SCALE MODELING TESTS OF MAGNETIC SHAPE MEMORY ACTUATORS**

**Grechikhin V.V., Yanvarev S.G., Lozin O.I., Shaykhutdinov D.V.**

*Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional University «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)», Novocherkassk, Russia (436428, Novocherkassk, street Prosvjasheniya, 132), e-mail: vgrech@mail.ru*

One of stages of a complex of works on researches and development of actuators for industrial control systems on the basis of magnetic shape memory alloy, namely development of a procedure of a metrological assessment of degree of authenticity of results of their full-scale modeling tests is considered. Such assessment includes two aspects: first, definition of degree of adequacy of theoretical models of actuators by results of experimental checks and, secondly, diagnostics of conditions of actuators in use. The procedure consisting in ensuring multiple comparison of various functional dependences of parameters of actuators is offered. And comparison theoretical is supposed and, corresponding to it, experimental dependence, or identical experimental dependences received in use systems at different times than possibility of monitoring of its state is provided. The offered procedure is realized in the program for the personal computer developed in the environment of graphic programming by LabVIEW.

Keywords: actuator, magnetic shape memory alloy, graphic programming

Разработаны и начинают широко использоваться интеллектуальные материалы, позволяющие контролируемым образом преобразовывать один вид энергии в другой. К ним в полной мере относятся и ферромагнитные материалы с памятью формы [4, 6]. Применение материалов позволяет повысить точность преобразования и упростить конструкцию технических систем. В последние несколько лет на кафедре информационных и измерительных систем и технологий Южно-Российского политехнического университета ведутся исследования в области разработок исполнительных систем на основе ферромагнитных материалов с

эффектом памяти формы [1, 2, 5]. Одним из этапов этих работ является разработка методики метрологической оценки степени достоверности результатов натурно-модельных испытаний создаваемых исполнительных систем. Такая оценка включает в себя два аспекта: во-первых, определение степени адекватности теоретических моделей исполнительных систем по результатам экспериментальных проверок и, во-вторых, диагностику состояний исполнительных систем в процессе эксплуатации.

**Цель работы:** Разработка методики, алгоритма и программы метрологической оценки степени достоверности результатов натурно-модельных испытаний исполнительных систем на основе материалов с памятью формы.

**Материал и методы исследований:** методы математического анализа, теории алгоритмов.

### **Результаты и обсуждение**

В статье описывается разработанная методика метрологической оценки степени достоверности результатов натурно-модельных испытаний исполнительных систем на основе материалов с памятью формы. Она характеризуется следующим.

1. Используется единый механизм для экспериментальных проверок адекватности теоретических моделей (в виде совокупности функциональных зависимостей параметров исполнительных систем) и для диагностики систем путем сравнения экспериментальных данных, полученных в разное время.

2. Инструментальную основу методики составляет разработанная в среде графического программирования LabVIEW[3] программа «Диагностика магнотриксционной установки», которая содержит интерфейс пользователя и предназначена для обработки теоретических и экспериментальных данных, предварительно сохраняемых на жестком диске персонального компьютера.

3. Суть методики заключается в обеспечении множественного сравнения различных функциональных зависимостей параметров исполнительного устройства. Причем предполагается сравнение теоретической и соответствующей ей экспериментальной зависимости, или одинаковых экспериментальных зависимостей, получаемых в процессе эксплуатации установки в разное время, чем обеспечивается возможность мониторинга её состояния.

4. Таким образом, процесс диагностики включает в себе множество процедур сравнения пар функций. В каждой паре одна из функций – образцовая, а другая – сравниваемая. Если сравниваются теоретическая и экспериментальная функции, экспериментальная является образцовой, а теоретическая – сравниваемой. Если сравниваются две экспериментально полученные функции, то образцовой является более ранняя зависимость, а сравниваемой – более поздняя.

5. В каждой паре функциональные зависимости сравниваются в каждой точке аргумента. Таким образом, перед сравнением в разработанной программе для каждой пары функциональных зависимостей выполняются необходимые согласования (выравнивания) диапазонов и шага значений аргумента. Механизм таких согласований – интерполяция.

6. Критерий оценки адекватности теоретической зависимости или воспроизводимости экспериментальной зависимости – непревышение максимальным по модулю значением отклонения сравниваемой функциональной зависимости от образцовой заданного допустимого значения.

7. Количество видов функциональных зависимостей не ограничено. Добавление в анализ нового вида функциональной зависимости не требует перестройки или модернизации программы. Этим обеспечивается гибкость, что важно, учитывая инновационный характер работ по созданию и исследованию исполнительных устройств на основе материалов с памятью формы. Заключение по результатам сравнения каждой пары функциональных зависимостей формулируется отдельно.

Таким образом, аналитически разработанную методику можно выразить следующей совокупностью выражений:

$$B = [b_1, b_2, \dots, b_n] = [p_1 > p_{1\max}?, p_2 > p_{2\max}?, \dots, p_n > p_{n\max}?];$$

$$p_1 = \max(|G_1(X_1)|) = \max(|F_{11}(X_1) - F_{12}(X_1)|);$$

$$p_2 = \max(|G_2(X_2)|) = \max(|F_{21}(X_2) - F_{22}(X_2)|);$$

$$\dots$$

$$p_n = \max(|G_n(X_n)|) = \max(|F_{n1}(X_n) - F_{n2}(X_n)|),$$

где  $B$  – вектор логических индикаторов  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ;  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – максимальные по модулю значения функций  $G_1(X_1), G_2(X_2), \dots, G(X_n)$ ;  $p_{1\max}, p_{2\max}, \dots, p_{n\max}$  – пороговые значения для параметров  $p_1, p_2, \dots, p_n$ ; каждая функция  $G_i(X_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ ) представляет собой функцию отклонений сравниваемой функциональной зависимости  $F_{i1}(X_i)$  от образцовой функциональной зависимости  $F_{i2}(X_i)$  в каждой точке аргумента  $X_i$ ;  $n$  – количество видов функциональных зависимостей.

Описанная методика реализована в виде компьютерной программы, разработанной в среде графического программирования LabVIEW. Интерфейс пользователя представлен на лицевой панели программы (рис. 1).

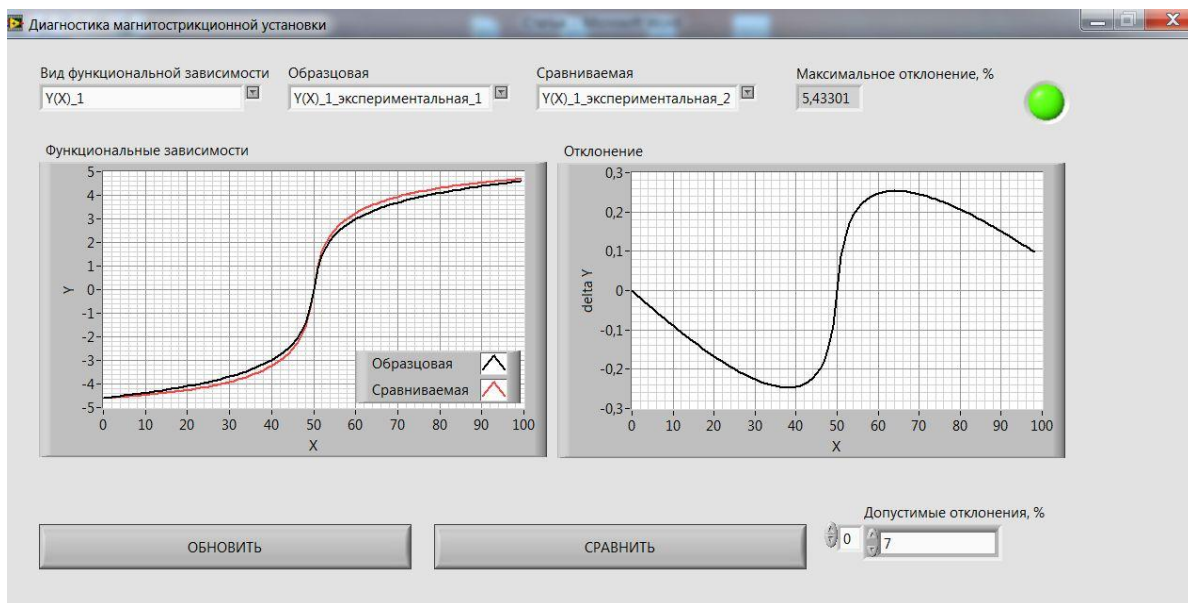


Рис. 1. Интерфейс программы, реализующей разработанную методику

Элементами управления лицевой панели (то есть элементами, через которые пользователь вводит информацию в программу) являются:

- списочный элемент выбора «Вид функциональной зависимости» для выбора вида функциональной зависимости;
- списочный элемент выбора «Образцовая» для выбора образцовой функциональной зависимости, принадлежащей выбранному виду;
- списочный элемент выбора «Сравниваемая» для выбора сравниваемой функциональной зависимости, принадлежащей выбранному виду;
- виртуальная кнопка «Обновить» для повторного обращения в процессе работы программы к жесткому диску компьютера и считывания обновленных данных в директории «Данные»;
- виртуальная кнопка «Сравнить» для выдачи команды на выполнение процедуры сравнения выбранных образцовой и сравниваемой функциональных зависимостей;
- массив элементов числового ввода «Допустимые отклонения» для задания пользователем множества значений-порогов допустимых отклонений для каждого вида функциональной зависимости.

Элементами индикации лицевой панели (то есть элементами, через которые информация выдается для пользователя) являются:

- числовой индикатор «Максимальное отклонение, %» для отображения численного значения максимального по отклонения сравниваемой функциональной зависимости от образцовой;
- виртуальный светодиодный индикатор – для цветовой сигнализации превышения максимальным отклонением допустимого значения для данного вида функциональной зависимо-

сти (норма – зелёный цвет, превышение – красный цвет);

– график «Функциональные зависимости» – для графического отображения выбранных образцовой и сравниваемой функциональных зависимостей;

– график «Отклонение» – для графического отображения отклонения выбранной сравниваемой зависимости от выбранной образцовой зависимости как функции в каждой точке аргумента.

Необходима следующая структура каталога для хранения данных теоретически и экспериментально полученных зависимостей на жестком диске компьютера:

– первый уровень – папка «Данные», должна располагаться на одном уровне с основным файлом программы;

– второй уровень – папки, имена которых соответствуют именам функциональных зависимостей;

– третий уровень – две папки: «Теоретические» и «Экспериментальные», во всех папках каждой функциональной зависимости;

– четвертый уровень – файлы, имена которых представляют собой номера по порядку. В каждом таком файле непосредственно записаны данные одного вычислительного или реального эксперимента по получению одной функциональной зависимости.

Порядок работы пользователя с программой следующий.

1. При запуске программа автоматически обращается к жесткому диску компьютера к директории «Данные», которая должна располагаться на одном уровне с основным файлом программы. В эту директорию необходимо предварительно записать данные вычислительных и реальных экспериментов, соблюдая структуру папок и файлов, которая была описана выше.

2. На основе анализ этой директории формируется состав списочного элемента «Вид функциональной зависимости».

3. С помощью этого элемента пользователь выбирает вид функциональной зависимости (рис. 2). На основе этого выбора формируются составы списочных элементов «Образцовая» и «Сравниваемая». При этом состав элемента «Сравниваемая» подчинен составу элементов «Образцовая». Прежде всего, из всего множества функциональных зависимостей выбираются соответствующие выбранному виду. Далее, после выбора образцовой функциональной зависимости, она исключается из вариантов выбора сравниваемой зависимости. Кроме того, если в качестве образцовой функциональной зависимости выбрана одна из экспериментальных зависимостей, из вариантов выбора сравниваемой функции исключаются все экспериментальные, имеющие более малый порядковый номер, то есть полученные в более раннее время. Этим обеспечивается порядок, когда в качестве образцовой экспериментальной функ-

ции используется зависимость, соответствующая более малому сроку эксплуатации магнито-стрикционной установки. Образцовая и сравниваемая зависимости отображаются на графике «Функциональные зависимости».

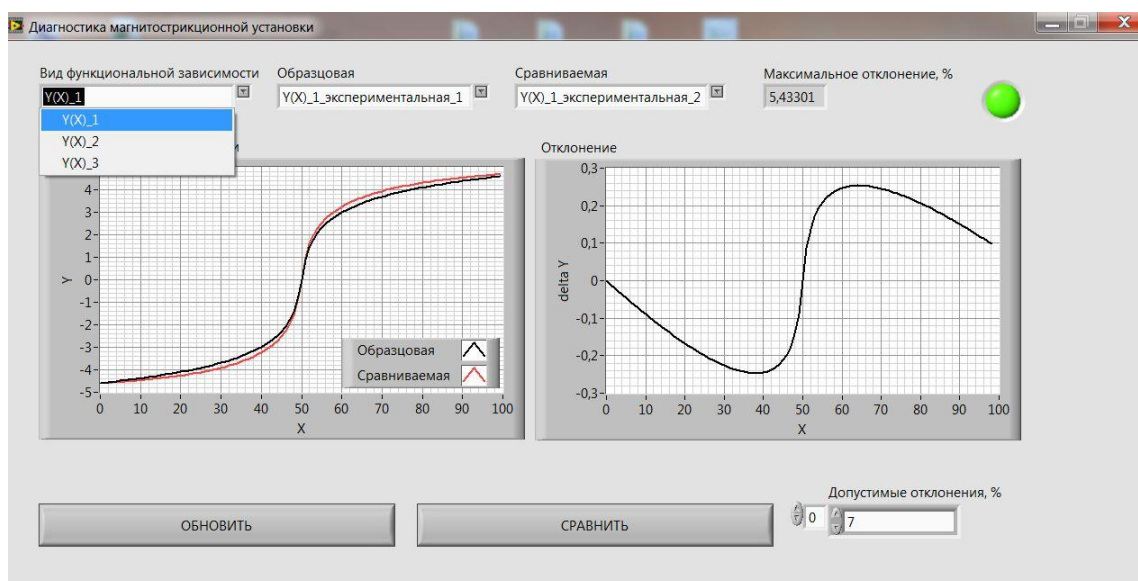


Рис. 2. Иллюстрация выбора пользователем вида функциональной зависимости

4. После нажатия пользователем кнопки «Сравнить» выполняется процедура сравнения выбранных функциональных зависимостей. На графике «Отклонение» отображается функция отклонения сравниваемой зависимости от образцовой зависимости в каждой точке аргумента. Максимальное по модулю отклонение численно отображается в элементе «Максимальное отклонение», при этом загорается виртуальный светодиодный индикатор, цвет которого, красный или зеленый, свидетельствует о том, превысило ли максимальное отклонение допустимое значение.

5. Если данные на жестком диске компьютера обновились в процессе работы программы, необходимо нажать кнопку «Обновить», в результате чего программа повторно обратится к директории «Данные» и обновит составы списочных элементов для выбора функциональных зависимостей.

Алгоритм работы программы реализован согласно стандартному принципу событийно-управляемого программирования. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 3. На рисунке: ФЗ – функциональная зависимость.

Обрабатываемыми в программе событиями являются:

- изменение значения списочного элемента выбора «Вид функциональной зависимости»;
- изменение значения списочного элемента выбора «Образцовая»;
- изменение значения списочного элемента выбора «Сравниваемая»;
- нажатие виртуальной кнопки «Обновить»;

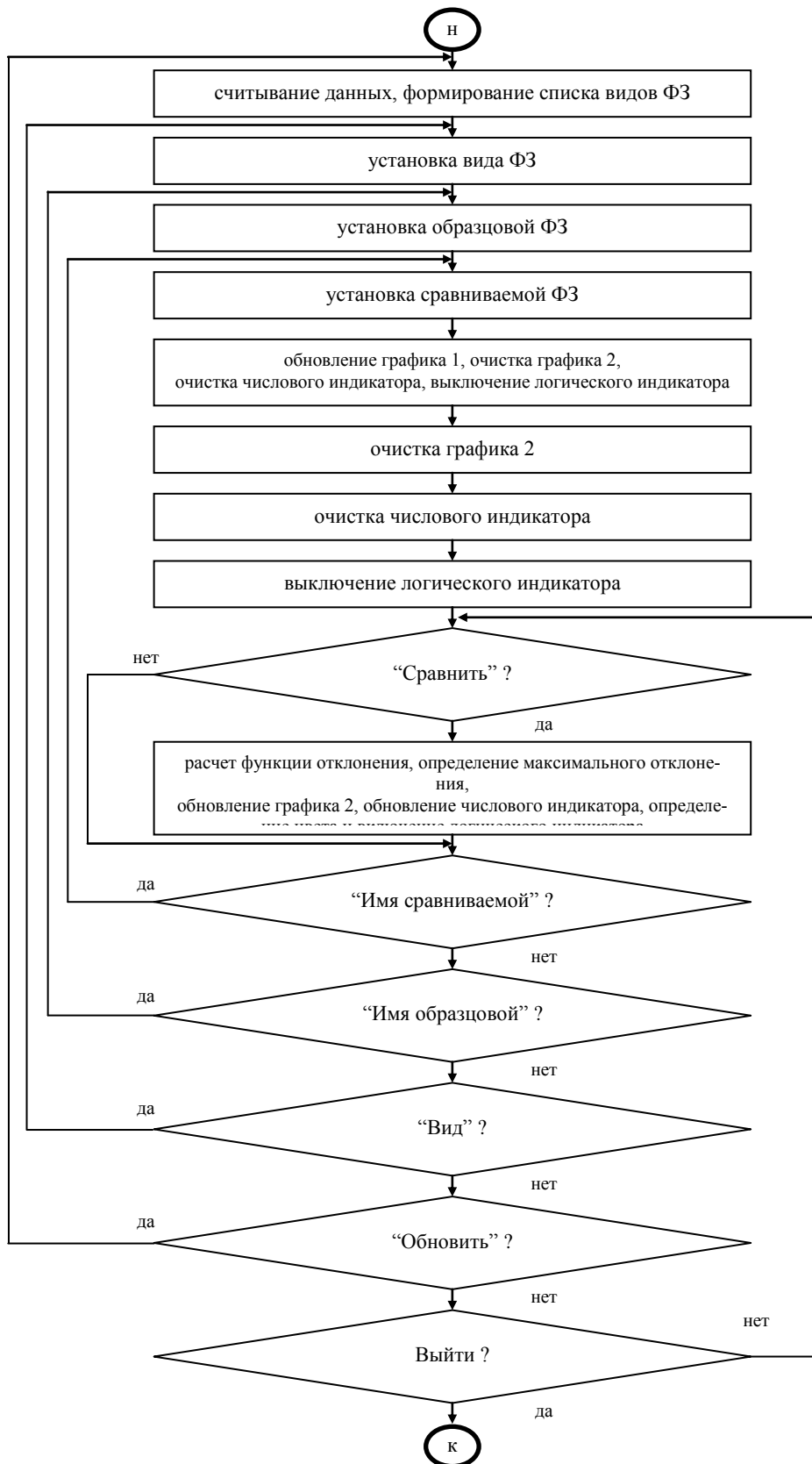


Рис. 3.Блок схема алгоритма программы, реализующей разработанную методику

## **Заключение**

Таким образом, в рамках комплекса работ по исследованию исполнительных систем на основе материалов с памятью формы разработана методика метрологической оценки степени достоверности результатов их натурно-модельных испытаний. Методика может быть применена как для проверок адекватности теоретических моделей исполнительных систем, так и для диагностики исполнительных систем путем сравнения экспериментальных данных, полученных в разное время.

*Результаты работы получены при поддержке гранта РФФИ №14-08-01288 «Разработка теории натурно-модельных испытаний измерительных и исполнительных систем, построенных на основе ферромагнитных материалов с эффектом памяти формы».*

## **Список литературы**

1. Измерительно-исполнительные устройства на основе ферромагнетиков с памятью формы // Горбатенко Н.И. и др. // Материалы XIXМеждународ. конф. по постоянным магнитам, г. Суздаль, 23-27 сент. 2013 г.: – М.: ООО «Инновационный технопарк», 2013. – С. 160-161.
2. Математическая модель активного элемента актуатора на основе материала с памятью формы // В.В. Гречихин, О.И. Лозин, Д.В. Шайхутдинов, С.Г. Январев // Материалы V Международ. конф. с элементами научной школы для молодежи «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества», г. Суздаль, 6-10 окт. 2014 г.: – М: ИМЕТ РАН, 2014. – С. 19-21.
3. Суранов, А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям / А. Я. Суранов. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
4. Ферромагнетики с памятью формы / А.Н. Васильев [и др.] // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 7. – С. 577-608.
5. Characterisation of Ni-Mn-Ga magnetic parameters based on indirect measurements and mathematical modeling of the experimental setup / Gorbatenko, N., Grechikhin, V., Kolomiets, A., Kucherova, A., Narakidze, N. // Proceedings of the 6th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2011 1, pp. 12-14-2011.
6. New materials for micro-scale sensors and actuators: an engineering review / S.A. Wilson, R.P.J. Jourdain, Q. Zhang [ets.]// Materials Science & Engineering R-Reports. – 2007. – V. 56, № 6. – P. 1-129.

**Рецензенты:**



Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск;

Кириевский Е.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск.