

**Учредитель**

Новосибирский государственный технический университет

**Главный редактор**

**А.Г. Вострецов**, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, НГТУ, г. Новосибирск

**Заместитель главного редактора**

**С.А. Харитонов**, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск

**Ответственный секретарь**

**А.А. Воевода**, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск

**Редакционная коллегия:**

**Ю.Е. Воскобойников**, д-р физ.-мат. наук, проф., СибСТРИН, г. Новосибирск

**Ю.Д. Григорьев**, д-р техн. наук, проф., СПбГЭТУ (ЛЭТИ), г. С.-Петербург

**А.М. Малышенко**, д-р техн. наук, проф., ТПУ, г. Томск

**Ю.Ф. Мухомад**, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, ИрГУПС, г. Иркутск

**А.И. Рубан**, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ,

СФУ, Ин-т косм. и информ. технологий, г. Красноярск

**В.И. Хабаров**, д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

**Журнал зарегистрирован**

**в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания**

**и средств массовых коммуникаций в 2002 г.**

**(свидетельство ПИ № 77-11739 от 08 февраля 2002 г.)**

Адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: [ucit@ucit.ru](mailto:ucit@ucit.ru)

Web site: <http://journals.nstu.ru/sbornik/>

Editorial adress: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

---

---

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ  
НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

---

ISSN 2307-6879

№ 2 (95)

2019

**СОДЕРЖАНИЕ**

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

- Воевода А.А., Бобобеков К.М., Шипагин В.И.** Синтез одноканальных регуляторов с использованием факторизации передаточной функции объекта ..... 7
- Шипагин В.И.** Различные подходы к решению задачи перевернутого маятника ..... 18
- Шпаков В.К.** Гибридная интеллектуальная система управления мобильным роботом (ГИСУМР)..... 28

*ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА  
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ*

- Лесс В.М., Прокопов А.В., Нейман В.Ю.** Сравнение подходов к анализу динамических цепей с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования..... 35

*СООБЩЕНИЯ*

- Казанская О.В., Якименко А.А., Булатов А.Д.** Проект по разработке информационного сервиса профориентирования ..... 49
- Ерохина А.А., Селифанов В.В.** Анализ нормативно-правовых документов на этапе подготовки к разработке программы и методики испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры РФ (ИСПДн)..... 57

<b>Иванова В.А., Селифанов В.В.</b> Анализ документов по разработке программы и методик аттестационных испытаний значимого объекта критической инфраструктуры РФ (ГИС).....	66
<b>Чеглаков С.К.</b> Исследование и выбор методов для дезинфекции питьевой воды.....	75
<b>Правила для авторов</b> .....	82

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Корректор *Л.Н. Кинит*  
Компьютерная верстка *С.И. Ткачева*

---

Лицензия № ИД 04303 от 20.03.01. Подписано в печать 14.01.2020  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз. Уч.-изд. л. 4,88  
Печ. л. 5,25. Изд. № 288. Заказ № 284. Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

## **Editorial board**

Novosibirsk State Technical University

### ***Chief Editor***

***Vostretsov A.G.***, D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,  
Novosibirsk, RF

### ***Deputy Chief Editor***

***Kharitonov S.A.***, D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,  
Novosibirsk, RF

### ***Executive Secretary***

***Voevoda A.A.***, D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,  
Novosibirsk, RF

### ***The members of the editorial Board***

***Voskoboinikov Yu.E.***, D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State University of Architecture  
and Civil Engineering, Novosibirsk, RF

***Grigor'ev Iu.D.***, D. Sc. (Eng.), Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI",  
Saint-Petersburg, RF

***Malysenko A.M.***, D. Sc. (Eng.), National Research Tomsk Polytechnic University,  
Tomsk, RF

***Mukhopad Iu.F.***, D. Sc. (Eng.), Irkutsk State University of Railway Engineering,  
Irkutsk, RF

***Ruban A.I.***, D. Sc. (Eng.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, RF

***Khabarov V.I.***, D. Sc. (Eng.), Siberian Transport University, Novosibirsk, RF

*The journal is registered  
in the RF Ministry for press, broadcasting  
and masscommunications in 2002  
(certificate PI № 77-11739 from February 08, 2002)*

Editorial address: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation.

E-mail: [ucit@ucit.ru](mailto:ucit@ucit.ru)

Web Site: <http://journals.nstu.ru/sbornik/>

© Authors, 2019

© Novosibirsk State

Technical University, 2019

**CONTENTS**

*AUTOMATIC CONTROL AND IDENTIFICATION*

<b>Voevoda A.A., Bobobekov K.M., Shipagin V.I.</b> Synthesis of single-channel regulators using factorization of the object transfer function..	7
<b>Shipagin V.I.</b> Different approaches to solving the inverted pendulum problem .....	18
<b>Shpakov V.K.</b> Hybrid intelligent mobile robot management system (HIMRMS) .....	28

*ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTROMECHANICS  
AND ELECTROTECHNOLOGIES*

<b>Less V.M., Procopov A.V., Neyman V.Yu.</b> Comparison of approaches in analysis of dynamic chains with non-zero initial conditions by structural modeling methods .....	35
--	----

*SHORT PAPERS*

<b>Kazanskaya O.V., Yakimenko A.A., Bulatov A.D.</b> Career guidance information service development project .....	49
<b>Erohina A.A., Selifanov V.V.</b> Analysis of legal documents in preparation for the development of programs and significant objects test procedures critical information infrastructure of the RF (PDIS) .....	57
<b>Ivanova V.A., Selifanov V.V.</b> Analysis of documents on development of the program and methodology of certification tests of a significant object of critical infrastructure of the RF (GIS).....	66

<b>Cheglakov S.K.</b> Research and choice of methods for disinfection of drinking water.....	75
Rules for authors.....	82

Editor *L.N. Kinsht*  
Publishing Editor *I.P. Brovanova*  
Computer imposition *S.I. Tkacheva*

---

License № ID 04303 from 20.03.01. Signed in print 14.01.2020. Format 60 × 84/16  
Offset Paper. Circulation is 300 copies. Educational-ed. liter. 4,88. printed pages 5,25.  
Publishing number 288. Order number 284.

---

It is printed in printing house of Novosibirsk State Technical University  
630073, Novosibirsk, 20 K. Marx prospekt

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

УДК681.513

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-7-17

**СИНТЕЗ ОДНОКАНАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРИЗАЦИИ  
ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА \***

А.А. ВОЕВОДА<sup>1</sup>, К.М. БОБОБЕКОВ<sup>2</sup>, В.И. ШИПАГИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики. E-mail: uscit@uscit.ru

<sup>2</sup> 630087, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, соискатель кафедры автоматики. E-mail: kurbon\_111@mail.ru

<sup>3</sup> 630087, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, соискатель кафедры автоматики. E-mail: shipagin@mail.ru

В рамках настоящей статьи рассматривается модифицированная методика синтеза одноканальных регуляторов с использованием факторизации полиномов передаточной функции объекта на основе использования матрицы Сильвестра, что является основой для формализованного решения задачи синтеза многоканальных регуляторов в системах управления взаимосвязанными процессами и устройствами. Предлагается метод синтеза одноканальных регуляторов с использованием факторизации полиномов числителя и знаменателя передаточной функции объекта, что позволяет «сохранить» левые нули и полюса объекта, удаленные от мнимой оси, в замкнутой системе. Проиллюстрирован пример синтеза одноканальных регуляторов, управляющих не строго правильными объектами второго порядка, с использованием методов факторизации объекта, что подтверждает работоспособность предлагаемого метода.

**Ключевые слова:** передаточная функция объекта, система управления, одноканальная система, метод факторизации, полиномиальный синтез, одноканальные регуляторы

**ВВЕДЕНИЕ**

В теории автоматического управления задача синтеза регуляторов систем автоматического управления занимает очень важное место. Системы автоматического управления обеспечивают заданный переходный процесс измене-

---

\* Статья получена 15 марта 2019 г.

ния контролируемой величины или основные качественные показатели в различных технических системах. Большое количество литературы посвящено синтезу регуляторов различных порядков.

В современном мире растет количество технических объектов, представляющих собой по своей сути динамическую систему. Вследствие развития и усложнения систем управления динамическими системами задача синтеза регуляторов является актуальной, несмотря на большой набор уже существующих методов и алгоритмов решения. Например, в [8] представлен алгоритм синтеза одноканальных регуляторов с использованием факторизации передаточной функции объектов. В настоящей работе предлагается доработка этого алгоритма. Под факторизацией передаточной функции подразумевается представление ее в виде  $w_{ob}(s) = Z^-(s) \cdot Z^+(s) / P^-(s) \cdot P^+(s)$ , где  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$  – полиномы, корни которых расположены в открытой левой полуплоскости комплексной плоскости  $\mathbb{C}$ , а у  $Z^+(s)$  и  $P^+(s)$  – в правой полуплоскости.

## 1. МЕТОД ФАКТОРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА

Осуществим факторизацию ПФ объекта  $w_{ob}(s) = n(s) / d(s)$ , где  $\deg n(s) \leq \deg d(s) = n$ :

$$w_{ob}(s) = Z^-(s) \cdot Z^+(s) / P^-(s) \cdot P^+(s).$$

Здесь  $Z^-(s), P^-(s)$  – полиномы, корни которых лежат в левой открытой полуплоскости комплексной плоскости  $J$ ;  $Z^+(s), P^+(s)$  – полиномы, корни которых лежат в правой замкнутой полуплоскости комплексной плоскости  $\mathbb{C}$ ;  $\deg Z^-(s) \cdot Z^+(s) = l$ ,  $\deg Z^+(s) = l^*$ ,  $\deg Z^-(s) = l - l^*$ ,  $\deg P^-(s) \cdot P^+(s) = n$ ,  $\deg P^+(s) = n^*$ ,  $\deg P^-(s) = n - n^*$ ,  $l \leq n$ ,  $n^* \leq n$ ,  $l^* \leq l$ .

В соответствии с алгоритмом синтеза регулятора полного порядка пусть порядок числителя регулятора  $m$  будет равен порядку знаменателя регулятора и на единицу меньше порядка объекта  $m = n - 1$  (можно выбрать регулятор и повышенного порядка). Рассмотрим случай, когда все левые нули и полюса объекта введены в регулятор:

$$w_r(s) = P^-(s) \cdot x(s) / Z^-(s) \cdot y(s),$$



где  $\deg P^-(s) \cdot x(s) = n-1$ ,  $\deg x(s) = n-1-(n-n^*) = n^*-1$ ,  $\deg Z^-(s) \cdot y(s) = n-1$ ,  $\deg y(s) = n-1-(l-l^*) = n-1-l+l^*$ . Структурная схема системы управления с факторизацией может быть изображена в виде

$$v(s) \rightarrow e(s) = v(s) - y(s) \rightarrow w_r(s) \rightarrow w_{ob}(s) \rightarrow y(s).$$

После сокращения структура принимает вид

$$v(s) \rightarrow e(s) = v(s) - y(s) \rightarrow \tilde{w}_r(s) \rightarrow \tilde{w}_{ob}(s) \rightarrow y(s),$$

где  $\tilde{w}_{ob}(s) = n(s)/d(s)$ ,  $\tilde{w}_r(s) = x(s)/y(s)$ . Если нулей объекта справа не больше, чем полюсов объекта справа,  $n^* \geq l^*$ , тогда можем записать:  $n-1-l+l^* = n^*-1$ , откуда  $n-l+l^* = n^*$ , или  $n - \underbrace{(l-l^*)}_{\deg Z^-(s)} = n^*$ , тогда  $n - (n - (l-l^*)) = n - n^*$ , откуда  $l-l^* = n - n^*$ , где  $l-l^* = \deg Z^-(s)$ ,  $n - n^* = \deg P^-(s)$ . Это говорит о том, что количество нулей и полюсов объекта, включаемых в регулятор, одинаково.

## 2. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА

Рассмотрим задачу синтеза регулятора с использованием факторизации объекта для стабилизации неустойчивого объекта с ПФ  $w_{ob}(s) = n(s)/d(s) = (s+2)(s-3)/(s+3)(s-4)$ , где  $Z^-(s) = (s+2)$ ,  $P^-(s) = (s+3)$ ,  $(\deg Z^-(s) = \deg P^-(s))$ . Полиномы  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$  ПФ объекта учтем в ПФ регулятора  $w_r(s) = x(s)(s+3)/y(s)(s+2)$ . После сокращения новый объект представим в виде  $\tilde{w}_{ob}(s) = \tilde{n}(s)/\tilde{d}(s) = (s-3)/(s-4)$ , а регулятор в виде  $\tilde{w}_r(s) = x(s)/y(s)$ , где  $x(s) = x_1s + x_0$ ,  $y(s) = y_1s$ . Очевидно, что порядок регулятора  $\tilde{w}_r(s) - m$  равен порядку объекта  $\tilde{w}_{ob}(s) - n^* = 1$ ; для обеспечения астатических свойств берем  $y_0 = 0$ . Тогда порядок ХПЗС  $\deg c(s) = m + n^* = 2$ , пусть  $c(s) = (s+1)^2$ . Составим уравнение  $\Im \Re = \aleph$ , где

$\mathfrak{S} = (x_0 \ y_1 \ x_1)$ ,  $\mathfrak{N} = (1 \ 2 \ 1)$ ,  $\mathfrak{R} = \begin{pmatrix} r_1^t & r_2^t & r_3^t \end{pmatrix}^t$ ,  $r_1 = (-3 \ 1 \ 0)$ ,  $r_2 = (0 \ -4 \ 1)$ ,  $r_3 = (0 \ -3 \ 1)$ , откуда  $\mathfrak{S} = \mathfrak{N}\mathfrak{R}^{-1}$ , тогда  $\mathfrak{S} = (-0,333 \ -5,333 \ 6,333)$ . Итак, получили  $\tilde{w}_r(s) = (6,333s - 0,333) / (-5,333s)$ . Исходный регулятор с учетом ранее сокращенных множителей  $s + 2$  и  $s + 3$  имеет вид

$$w_r(s) = (6,333s^2 + 18,67s - 1) / (-5,333s^2 - 10,67s).$$

Передаточная функция замкнутой системы без сокращения

$$w_{cl}(s) = \frac{6,333s^4 + 12,34s^3 - 57,67s^2 - 111s + 6}{s^4 + 7s^3 + 17s^2 + 17,02s + 6},$$

после сокращения  $w_{cl}(s) = (6,333s^2 - 19,33s + 1) / (s^2 + 2s + 1)$ .

В результате получен регулятор, обеспечивающий устойчивость системы управления со свойством астатизма, также «сохранены» в замкнутой системе устойчивые нули и полюса объекта. Таким образом, если у ПФ объекта имеются множители  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$  в числителе и знаменателе, корни которых лежат в открытой левой полуплоскости  $\mathbb{C}$  на достаточном удалении от мнимой оси [5, 2], то можно воспользоваться факторизацией объекта. Далее воспользоваться алгоритмом синтеза одноканальных регуляторов, приведенным в [15], и, наконец, восстановить в ХПЗС корни, которые сократили. Отметим, что в [4] этот вопрос исследован подробно и даны соответствующие рекомендации, однако без использования матрицы Сильвестра.

### 3. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ОДНОКАНАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРИЗАЦИИ<sup>1</sup>

Модифицированный метод состоит из следующих шагов.

*Шаг 1.* Получить описание объекта в виде набора дифференциальных уравнений и перейти к изображениям либо сразу получить операторную форму записи ПФ  $w_{ob}(s) = n(s) / d(s)$ , где  $\deg n(s) \leq \deg d(s) = n$ .

---

<sup>1</sup> Данный алгоритм следует использовать, если у объекта имеются левые корни, которые можно отнести к регулятору. Этот алгоритм несколько отличается от алгоритма, приведенного в работе [8, с. 89]. В частности, добавлены шаги 4-й и 9-й, а шаг 3-й модифицирован.

*Шаг 2.* Осуществить факторизацию передаточной функции, т. е. найти представление:  $w_{ob}(s) = Z^-(s) \cdot Z^+(s) / P^-(s) \cdot P^+(s)$ . Предполагается, что  $\deg Z^-(s) = \deg P^-(s)$ .

*Шаг 3.* Полиномы  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$  включить в регулятор:  $w_r(s) = P^-(s) \cdot x(s) / Z^-(s) \cdot y(s)$ . С целью упрощения процедуры расчета регулятора полиномы  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$  объекта и регулятора сокращаются, но необходимо после вычислений параметров регулятора их восстановить. Тогда передаточная функция объекта  $\tilde{w}_{ob}(s) = Z^+(s) / P^+(s)$ , а регулятора  $\tilde{w}_r(s) = x(s) / y(s)$ , причем  $\deg P^+(s) = n^*$  и  $\deg x(s) = \deg y(s) = m$ .

*Шаг 4.* Далее можно использовать предыдущий алгоритм. Выбрать порядок регулятора  $m \geq n^* - 1$  и выписать полиномы числителя и знаменателя регулятора.

*Шаг 5.* Выписать ПФЗС:

$$w_{cl}(s) = \frac{\tilde{w}_r(s) \cdot \tilde{w}_{ob}(s)}{1 + \tilde{w}_r(s) \cdot \tilde{w}_{ob}(s)} = \frac{Z^+(s) \cdot x(s)}{Z^+(s) \cdot x(s) + P^+(s) \cdot y(s)}$$

и ХПЗС:  $c(s) = Z^+(s) \cdot x(s) + P^+(s) \cdot y(s)$ .

*Шаг 6.* Найти степень желаемого ХПЗС:

$$c(s) = c_f s^f + c_{f-1} s^{f-1} + \dots + c_1 s + c_0,$$

где  $f = m + n^*$ .

*Шаг 7.* Перейти от полиномиального уравнения к числовому матричному уравнению  $\mathfrak{Z}\mathfrak{R} = \mathfrak{N}$ .

*Шаг 8.* Решить  $\mathfrak{Z}\mathfrak{R} = \mathfrak{N}$  и сформировать модель регулятора с учетом полиномов  $Z^-(s)$  и  $P^-(s)$ .

*Шаг 9.* Восстановить в ПФЗС полиномы, которые были сокращены, т. е. записать

$$w_{cl}(s) = \frac{n(s) \cdot x(s) \cdot Z^-(s) \cdot P^-(s)}{Z^-(s) \cdot P^-(s) \cdot c(s)}.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модификация метода синтеза одноканальных регуляторов с использованием факторизации передаточной функции объекта, позволяющая «сохранять» левые нули и полюса объекта, достаточно удаленные от мнимой оси, в замкнутой системе. Предложенный метод детализирует и уточняет методику синтеза одноканальных регуляторов, изложенную в [8, с. 89], и позволяет формализовать процедуру расчета параметров регулятора как полного, так и повышенного порядка. Использование регуляторов повышенного порядка приводит к появлению свободных параметров, которые можно использовать для обеспечения заданного расположения нулей системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kailath T.* Linear systems. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1980. – 350 p.
2. *Chen C.T.* Linear system theory and design. – 3<sup>rd</sup> ed. – New York: Oxford University Press, 1999. – 334 p.
3. *Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А.* Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2011. – 464 с.
4. *Ким Д.П.* Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
5. *Гайдук А.Р.* Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). – М.: Физматлит, 2012. – 360 с.
6. *Гайдук А.Р.* Теория автоматического управления: учебник. – М.: Высшая школа, 2010. – 415 с.
7. *Вороной В.В.* Полиномиальный метод расчета многоканальных регуляторов пониженного порядка: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – Новосибирск, 2013. – 173 с.
8. *Шоба Е.В.* Модальный метод синтеза многоканальных динамических систем с использованием полиномиального разложения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – Новосибирск, 2013. – 192 с.
9. *Воевода А.А., Бобобеков К.М.* Решение переопределенной линейной системы уравнений при полиномиальном синтезе регуляторов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 4 (56). – С. 84–99.

10. Бобобеков К.М., Воевода А.А. Синтез двухканальной системы полиномиальным методом: обеспечение астатизма // Сборник научных трудов НГТУ. – 2016. – № 1 (83). – С. 7–19.

11. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: полиномиальный метод синтеза двухканальной системы // Сборник научных трудов НГТУ. – 2009. – № 4 (58). – С. 121–124.

12. Воевода А.А., Вороной В.В. Полиномиальный метод расчета многоканальных регуляторов заданной структуры // Научный вестник НГТУ. – 2013. – № 2 (51). – С. 214–218.

13. Воевода А.А., Бобобеков К.М. Синтез линейных многоканальных регуляторов с использованием структурных преобразований // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 7–20.

14. Бобобеков К.М., Тауров Э.Ш. Вычисление взаимно простого разложения для одноканальных передаточных функций с использованием матрицы Сильвестра // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 1 (91). – С. 7–30.

15. Бобобеков К.М. Полиномиальный метод синтеза одноканальной двухмассовой системы // Сборник научных трудов НГТУ. – 2016. – № 4 (86). – С. 25–36.

16. Бобобеков К.М. О нормировании полиномов знаменателей объекта и регулятора при полиномиальном методе синтеза // Сборник научных трудов НГТУ. – 2016. – № 4 (86). – С. 7–24.

17. Воевода А.А. Стабилизация двухмассовой системы: модальный метод синтеза с использованием полиномиального разложения // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 1 (38). – С. 195–198.

18. Шоба Е.В., Воевода А.А., Вороной В.В. Модальный синтез многоканального регулятора пониженного порядка с использованием «обратной» производной на примере трехмассовой системы // Научный вестник НГТУ. – 2012. – № 1 (46). – С. 15–22.

19. Воевода А.А., Вороной В.В. Модальный синтез регуляторов пониженного порядка методом дифференцирования характеристического полинома // Сборник научных трудов НГТУ. – 2011. – № 1 (63). – С. 3–12.

**Воевода Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматике Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление многоканальными объектами. Имеет более 300 публикаций. E-mail: ucit@ucit.ru

**Бобобеков Курбонмурод Мулломиракович**, специалист по технологиям машиностроения, 2008–2013 – кафедра «Технология машиностроения, металло-режущие станки и инструменты» механико-технологического факультета Таджикского технического университета (ТТУ) им. акад. М.С. Осими. С 2013 по 2015 г. ассистент Таджикского технического университета. С 2015 г. аспирант кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета. В настоящее время специализируется в области синтеза систем управления техническими системами. Имеет более 30 публикаций. E-mail: kurbon\_111@mail.ru

**Шипагин Виктор Игоревич**, аспирант кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета. В настоящее время специализируется в области синтеза систем управления техническими системами. E-mail: shipagin@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-7-17

## **Synthesis of single-channel regulators using factorization of the object transfer function\***

**A.A. Voevoda<sup>1</sup>, K.M. Bobobekov<sup>2</sup>, V.I. Shipagin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: ucit@ucit.ru*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, the post-graduate student of Department "Automatics". E-mail: kurbon\_111@mail.ru*

<sup>3</sup>*Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, the post-graduate student of Department "Automatics". E-mail: shipagin@mail.ru*

In the framework of this article, we consider a modified method for synthesizing single-channel controllers using factorization of polynomials of the transfer function of an object based on the use of the Sylvester matrix, which is the basis for a formalized solution of the synthesis problem of multi-channel controllers in control systems for interconnected processes and devices. A method for the synthesis of single-channel controllers using factorization of polynomials of the numerator and denominator of the transfer function of the object is proposed, which allows you to "save" the left zeros and poles of the object, remote from the imaginary axis, in a closed system. An example of the synthesis of single-channel controllers that control not strictly correct second-order objects using the factorization methods of the object is illustrated, which confirms the efficiency of the proposed method.

**Keywords:** object transfer function, control system, single-channel system, factorization method, polynomial synthesis, single-channel regulators

---

\* 15 March 2019.

## REFERENCES

1. Kailath T. *Linear systems*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1980. 350 p.
2. Chen C.T. *Linear system theory and design*. 3<sup>rd</sup> ed. New York, Oxford University Press, 1999. 334 p.
3. Gaiduk A.R., Belyaev V.E., P'yavchenko T.A. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya v primerakh i zadachakh s resheniyami v MATLAB* [Theory of automatic control in examples and problems with solutions in MATLAB]. 2nd ed., rev. St. Petersburg, Lan' Publ., 2011. 464 p.
4. Kim D.P. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya*. T. 2. *Mnogomernyye, nelineinye, optimal'nye i adaptivnyye sistemy* [The theory of automatic control. Vol. 2. Multidimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 464 p.
5. Gaiduk A.R. *Teoriya i metody analiticheskogo sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya (polinomial'nyi podkhod)* [Theory and methods of analytical synthesis of automatic control systems (polynomial approach)]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2012. 360 p.
6. Gaiduk A.R. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [The theory of automatic control]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2010. 415 p.
7. Voronoi V.V. *Polinomial'nyi metod rascheta mnogokanal'nykh regulyatorov ponizhennogo poryadka*. Diss. kand. tekhn. nauk [A polynomial method for calculating the multi-channel controllers low order. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2013. 173 p.
8. Shoba E.V. *Modal'nyi metod sinteza mnogokanal'nykh dinamicheskikh sistem s ispol'zovaniem polinomial'nogo razlozheniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [The modal method for the synthesis of multi-channel dynamic systems using a polynomial expansion. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2013. 192 p.
9. Voevoda A.A., Bobobekov K.M. Reshenie pereopredelennoi lineinoi sistemy uravnenii pri polinomial'nom sinteze regulyatorov [Solution of an overdetermined linear system of equations for polynomial synthesis of regulators]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie – Modern Technologies. System analysis. Modeling*, 2017, no. 4 (56), pp. 84–99.
10. Bobobekov K.M., Voevoda A.A. Sintez dvukhkanal'noi sistemy polinomial'nym metodom: obespechenie astatizma [Synthesis of two-channel system polynomial method: ensuring astatic]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 1 (83), pp. 7–19.
11. Voevoda A.A. Stabilizatsiya dvukhmassovoi sistemy: polinomial'nyi metod sinteza dvukhkanal'noi sistemy [Stabilization of two-mass system: polynomial method of synthesis of two-channel system]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirsk*

*skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2009, no. 4 (58), pp. 121–124.

12. Voevoda A.A., Voronoi V.V. Polinomial'nyi metod rascheta mnogokanal'nykh regulyatorov zadannoi struktury [Polynomial method for calculating multi-channel controllers of a given structure]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2013, no. 2 (51), pp. 214–218.

13. Voevoda A.A., Bobobekov K.M. Sintez lineinykh mnogokanal'nykh regulyatorov s ispol'zovaniem strukturnykh preobrazovaniy [Synthesis of linear multi-channel regulators using structural transformations]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2017, no. 3, pp. 7–20.

14. Bobobekov K.M., Taurov E.Sh. Vychislenie vzaimno prostogo razlozheniya dlya odnokanal'nykh peredatochnykh funktsii s ispol'zovaniem matritsy Sil'vestra [Calculation of a mutually simple expansion for single-channel transfer functions using the Sylvester matrix]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 1 (91), pp. 7–30.

15. Bobobekov K.M. Polinomial'nyi metod sinteza odnokanal'noi dvukhmassovoi sistemy [A polynomial method for the synthesis of single-channel two-mass system]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4 (86), pp. 25–36.

16. Bobobekov K.M. O normirovaniy polinomov znamenatelei ob'ekta i regulyatora pri polinomial'nom metode sinteza [About rationing polynomials denominator object and regulator during polynomial method of synthesis]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4 (86), pp. 7–24.

17. Voevoda A.A. Stabilizatsiya dvukhmassovoi sistemy: modal'nyi metod sinteza s ispol'zovaniem polinomial'nogo razlozheniya [Stabilisation of two-mass system by a modal method of synthesis with polynomial factorization]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2010, no. 1 (38), pp. 195–198.

18. Shoba E.B., Voevoda A.A., Voronoi V.V. Modal'nyi sintez mnogokanal'nogo regulyatora ponizhennogo poryadka s ispol'zovaniem "obratnoi" proizvodnoi na primere trekhmassovoi sistemy [Modal synthesis of multi-channel low-order controller using the "reverse" derivative principle for three-mass system]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta –*



*Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 1 (46), pp. 15–22.

19. Voevoda A.A., Voronoy V.V. Modal'nyi sintez regulyatorov ponizhennogo poryadka metodom differentsirovaniya kharakteristicheskogo polinoma [Modal design of reduced order controllers by method of differentiation of the characteristic polynomial]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2011, no. 1 (63), pp. 3–12.

Для цитирования:

Воевода А.А., Бобобеков К.М., Шипагин В.И. Синтез одноканальных регуляторов с использованием факторизации передаточной функции объекта // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 7–17. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-7-17.

For citation:

Voevoda A.A., Bobobekov K.M., Shipagin V.I. Sintez odnokanal'nykh regulyatorov s ispol'zovaniem faktorizatsii peredatochnoi funktsii ob"ekta [Synthesis of single-channel regulators using factorization of the object transfer function]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 7–17. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-7-17.

## РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА\*

В.И. ШИПАГИН

*630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры автоматики. E-mail: shipagin@gmail.com*

В отличие от классического маятника перевернутый находится в нестабильном положении. Чтобы оставаться в вертикальном состоянии, необходима его балансировка. Поэтому решение этой задачи может быть использовано для тестирования алгоритмов управления, таких как нейронные сети, генетические алгоритмы, алгоритмы нечеткого управления, а также PID-controllers.

В настоящей работе сравнивались результаты тестирования нескольких алгоритмов управления (алгоритм случайного поиска, алгоритм поиска с восхождением к вершине, алгоритм градиента политик с использованием нейронной сети) на примере решения задачи перевернутого маятника по следующим критериям: время обучения, скорость работы, используемая память.

Для программной реализации использовался язык Python (v.3.6). Решение задачи осуществлялось с помощью бесплатного инструмента OpenAI Gym. Эта платформа предназначена для разработки и тренировки алгоритмов с помощью игр и иных испытаний [1]. В OpenAI Gym имеются разные среды для тестирования. В статье будет использоваться среда «CartPole\_v0», имитирующая поведение перевернутого маятника. Такая система в каждый момент временного интервала может предоставить координаты положения тележки и угол отклонения стержня маятника [2, 4]. В зависимости от предоставленных данных алгоритм должен принять решение о воздействии на тележку с целью ее перемещения «влево» или «вправо».

**Ключевые слова:** нейронные сети, перевернутый маятник, искусственный интеллект, алгоритм случайного поиска, функция активации, обучение

### ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обратный маятник имеет центр масс выше своей точки опоры, закрепленный на конце жесткого стержня. Массу маятника обозначим  $m$  (рис. 1) Существует большое количество разновидностей перевернутых маятников. В насто-

---

\* Статья получена 02 апреля 2019 г.

ящей работе будем использовать модель с опорой на тележке, которая может перемещаться по горизонтали. Массу тележки обозначим через  $M$ . Сила трения при движении тележки не учитывается. Кроме того, для упрощения решаемой задачи считаем, что стержень не имеет массы. Его длину обозначим через  $l$ . Задача системы управления состоит в удержании перевернутого маятника в вертикальном положении за счет смещения тележки [3, 9].

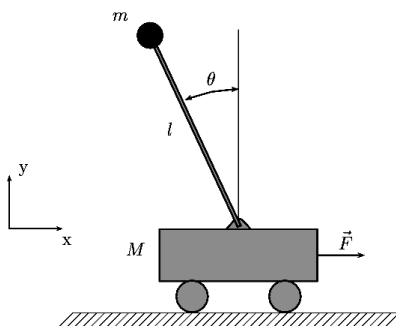


Рис. 1. Схематическое представление обратного маятника на тележке

Таким образом, значениями системы «перевернутый маятник», которые мы будем отслеживать, являются: угол отклонения маятника от вертикали  $\theta$  и позиция тележки  $x$ . Для стабилизации системы будем управлять перемещением тележки, изменяя ее положение  $x$ . Сила воздействия на тележку  $F$  (будем считать, что сила принимает значения: « $-1$ » – толкаем влево, « $+1$ » – толкаем вправо). Задачей системы управления является приведение угла наклона маятника к значению, близкому к нулю (устойчивое положение маятника).

Попытка заканчивается, когда угол отклонения маятника достигает значения более чем 15 градусов или когда тележка уходит от изначального положения на 2,4 единицы (покидает область экрана).

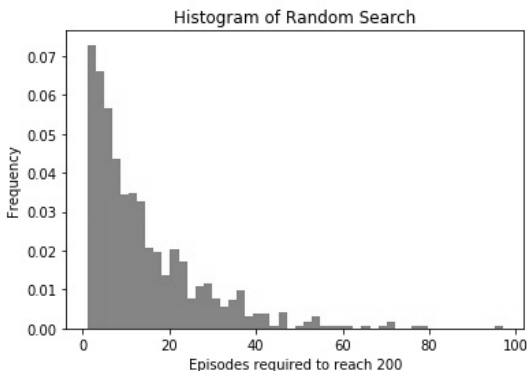
Принятие решения о воздействии на тележку (движение тележки влево или вправо) принимается после суммирования значений, полученных в результате наблюдения, умноженных на соответствующие им веса. Если конечный результат меньше нуля, тележка движется влево, иначе – вправо.

Для того чтобы понимать, насколько хорошо подобран вектор весов, введем оценочный показатель. Будем считать, что для каждого интервала времени, пока угол отклонения маятника не достиг порогового значения (пока маятник находится в состоянии равновесия), добавляем  $+1$  к нашему оценочному показателю [5].

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Перейдем к одному из методов численной оптимизации – случайному поиску. Одной из ключевых особенностей данного метода является отсутствие потребности в вычислении градиента для решения задач оптимизации. Методом случайного перебора пробуются различные веса и выбирается наилучший [6, 10, 11, 14].

Гистограмма эффективности использования данного алгоритма показана на рис. 2.



13.662

Рис. 2. Гистограмма эффективности использования алгоритма случайного поиска

Для сбора статистики запустим алгоритм 1000 раз. Результаты работы алгоритма представлены на гистограмме (рис. 2). По оси абсцисс представлено количество эпизодов, необходимых для обучения (маятник не падает в течение 200 шагов и более); по оси ординат показана частота, с которой это решение встречается.

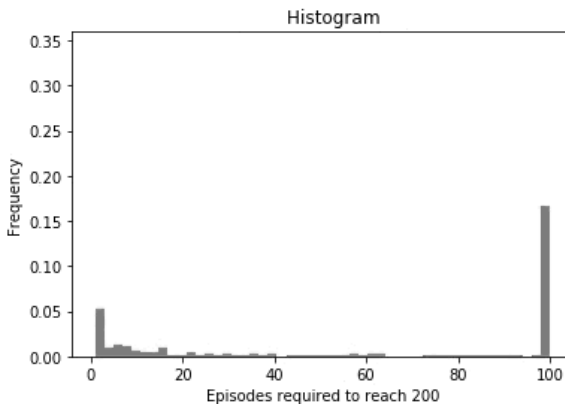
На гистограмме видно, что среднее число эпизодов, необходимое для обучения (поиска оптимальных параметров), составляет 13,662.

В отличие от первого метода, в алгоритме поиска с восхождением к вершине веса изменяются не скачкообразно, а постепенно.

К недостаткам данного метода по сравнению с предыдущим можно отнести возможное зависание параметров на некоем небольшом локальном максимуме или «плато». То есть такой случай, когда небольшое изменение весов (шум) не позволяют оценить, ближе ли данное решение к максимуму или нет.

Для исключения данной ошибки необходимо внимательно подходить к размеру шума. Если размер будет слишком большим, то мы получим алгоритм случайного поиска. Если слишком малым, то высока вероятность войти в стагнацию параметров [7, 12]. Размер шума был подобран эмпирически и равен 0,1.

Гистограмма эффективности использования данного алгоритма представлена на рис. 2.



7.3813

Рис. 3. Гистограмма эффективности алгоритма поиска с восхождением к вершине

Как видно из графика, довольно большое число решений было отрицательным (т. е. за 100 шагов не было найдено таких параметров, которые позволили бы удержать маятник в состоянии равновесия 200 итераций и более). Несмотря на это, среднее число эпизодов, необходимых для решения задачи, составило 7,38.

В методе градиентного спуска меняем правило с детерминированного подхода (воздействие на тележку влево, если сумма умножения весов на параметры меньше нуля, и вправо – в противном случае) на стохастический (вероятностный). Каждое воздействие (движение тележки влево или вправо) описывается своей линейной комбинацией. С помощью функции активации выбираем предпочтительное действие для данного набора параметров системы.

Так как у нас нет базы знаний, содержащей информацию по управляющему воздействию для каждого состояния системы, то метод обучения «с учите-

лем» не подходит. Однако, для каждого воздействия на систему мы можем получить обратную связь – вознаграждение [8, 13, 15].

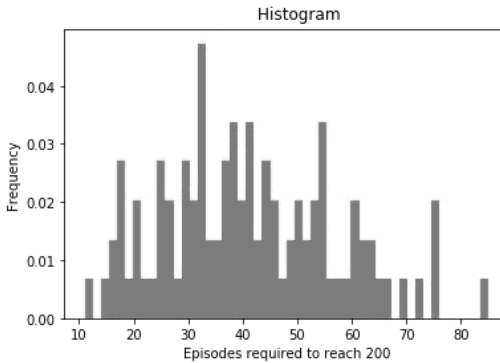
В качестве отправной точки создадим эталонную базу результатов работы алгоритма с равновероятностными воздействиями для каждого события системы. Для этого будем использовать нейронную сеть с одним скрытым слоем.

Для «обучения» данной сети запускаем алгоритм многократно. На каждой итерации работы алгоритма записываем первоначальное положение параметров маятника, значения весов управляющего воздействия и результат, к которому данное воздействие привело.

На следующем этапе будем учитывать улучшения от каждого изменения параметров и на основании этого обновляем нейронную сеть. Учитывать будем среднее значение награды по всем действиям, а не конкретное действие, взятое от каждого состояния.

Оптимизацию нейронной сети можем осуществлять благодаря случайно найденным значениям при различных состояниях системы. Выбираем изменения, при которых средняя награда по всем состояниям оказалась выше текущей. Преимуществом будет являться разница текущего и среднего значений. Будем учитывать преимущество для обновления политики.

На рис. 4 представлена гистограмма эффективности использования данного алгоритма.



41.27

Рис. 4. Гистограмма эффективности использования метода градиентного спуска

Как видно из графика, в среднем алгоритму градиентного спуска требуется 41,27 итерации для поиска решения задачи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм градиента политик по времени обучения уступает алгоритмам случайного поиска и поиска с восхождением к вершине. Это связано с временными затратами на обучение нейронной сети. Агент не может делать правильные предположения о воздействии на систему без обучения функции полезности. Для первых двух случаев улучшения наступают сразу.

Метод градиентных политик подходит для систем с многомерными пространствами состояний. Этот подход гарантирует движение к наиболее эффективным параметрам. И, напротив, для более простых случаев подходят алгоритмы случайного поиска и поиска с восхождением к вершине, но в некоторых случаях они не могут гарантировать поиск наилучшего решения.

Алгоритм	Среднее число эпизодов, необходимых для обучения	Время обучения (с)	Память (байт)
Алгоритм случайного поиска	13,53	10	192
Алгоритм поиска с восхождением к вершине	7,43	6	356
Алгоритм градиента политик	41,27	71	443

Сравнительный анализ показал преимущества и недостатки каждого метода. Так алгоритмы случайного поиска и поиска с восхождением к вершине показали хорошую скорость работы и низкие требования к занимаемой памяти на компьютере. Но работа этих алгоритмов не гарантирует поиск оптимального решения в некоторых случаях.

Алгоритм политики градиентов с использованием нейронной сети хорошо справляется с задачей поиска глобального максимума, но требователен к ресурсам компьютера.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. OpenAI [Электронный ресурс] // Википедия: web-сайт. – 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenAI> (дата обращения: 18.12.2019).
2. Getting Started with Gym [Electronic resource] // OpenAI: website. – 2019. – URL: <https://gym.openai.com/docs/> (accessed: 18.12.2019).
3. Обратный маятник [Электронный ресурс] // Википедия: web-сайт. – 2019. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный\\_маятник](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный_маятник) (дата обращения: 18.12.2019).
4. OpenAI Universe. Открытая платформа для тренировки сильного ИИ [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://geektimes.ru/post/283384/> (дата обращения: 18.12.2019).
5. Frans K. Simple reinforcement learning methods to learn CartPole [Electronic resource] // Kevin Frans blog. – URL: <http://kvfrans.com/simple-algorithms-for-solving-cartpole/> (accessed: 18.12.2019).
6. *Растрюгин Л.А.* Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
7. Поиск восхождением к вершине [Электронный ресурс] // Википедия: web-сайт. – 2019. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поиск\\_восхождением\\_к\\_вершине](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поиск_восхождением_к_вершине) (дата обращения: 18.12.2019).
8. Нейронные сети: обучение без учителя [Электронный ресурс] // Курс лекций по предмету «Основы проектирования систем с искусственным интеллектом» / сост. С.Л. Сотник. – Днепродзержинск, 1997–1999. – Гл. 3.4. – URL: [http://www.codenet.ru/progr/alg/ai/hm/g13\\_4.php](http://www.codenet.ru/progr/alg/ai/hm/g13_4.php) (дата обращения: 18.12.2019).
9. *Федосов Б.Т.* Управление неустойчивыми объектами. Обратный маятник [Электронный ресурс] // Model.Exponenta.Ru: сетевое сообщество. – 2009. – URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_152\\_Inv\\_Pend\\_control\\_1.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm) (дата обращения: 18.12.2019).
10. *Сушков Ю.А.* Метод, алгоритм и программа случайного поиска. – Л.: ВНИИТрансМаш, 1969. – 43 с.
11. *Жиглявский А.А., Жилинскас А.Г.* Методы поиска глобального экстремума. – М.: Наука, 1991. – 248 с.
12. *Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.* Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
13. *Гасников А.В.* Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2019. – 267 с.
14. *Жадан В.Г.* Методы оптимизации: в 3 ч. – М.: МФТИ, 2015–2017. – 3 ч.



15. Николенко С., Кадурич А., Архангельская Е. Глубокое обучение: погружение в мир нейронных сетей. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.

**Шипагин Виктор Игоревич**, аспирант кафедры автоматки Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – нейронные сети. E-mail: shipagin@mail.com

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-18-27

## Different approaches to solving the inverted pendulum problem\*

### V.I. Shipagin

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, postgraduate of the automation department. E-mail: shipagin@mail.com

Unlike the classical pendulum, the inverted one is in an unstable position. To stay upright, you need to balance it. Therefore, the solution of this problem can be used to test control algorithms (such as neural networks, genetic algorithms, fuzzy control algorithms, and PID-controllers).

In this paper, we compared the results of testing several control algorithms (random search algorithm, search algorithm with climbing to the top, algorithm of the gradient of policies using a neural network) on the example of solving the inverted pendulum problem according to the following criteria: training time; speed; memory used.

For the software implementation uses the Python language (v.3.6). The solution of the problem was carried out with the help of the free tool OpenAI Gym. This platform is designed to develop and train algorithms through games and other tests.

OpenAI Gym in a different environment for testing. I will use the environment "CartPole\_v0", simulating the behavior of an inverted pendulum. Such a system at any time of the time interval can provide the coordinates of the position of the beam and the angle of deflection of the pendulum rod. Depending on the data provided, the algorithm must decide on the impact on the trolley in order to change it "to the left" or "to the right".

**Keywords:** neural networks, inverted pendulum, artificial intelligence, random search algorithm, activation function, learning

## REFERENCES

1. OpenAI. *Wikipedia*: website. (In Russian). Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenAI> (accessed 18.12.2019).

---

\* Received 02 April 2019.

2. Getting Started with Gym. *OpenAI*: website. Available at: <https://gym.openai.com/docs/> (accessed 18.12.2019).
3. Obratnyi mayatnik [Inverted pendulum]. *Wikipedia*: website. (In Russian). Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный\\_маятник](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обратный_маятник) (accessed 18.12.2019).
4. *OpenAI Universe. Otkrytaya platforma dlya trenirovki sil'nogo II* [OpenAI Universe. Open space for gym strong AI]. 2016. (In Russian). Available at: <https://geektimes.ru/post/283384/> (accessed 18.12.2019).
5. Frans K. Simple reinforcement learning methods to learn CartPole. *Kevin Frans blog*, 2016. Available at: <http://kvfrans.com/simple-algorithms-for-solving-cartpole/> (accessed 18.12.2019).
6. Rastrigin L.A. *Adaptatsiya slozhnykh sistem* [Adaptation of complex system]. Riga, Zinatne Publ., 1981. 375 p.
7. Poisk voskhozhdeniem k vershine [Search with climbing to the top]. *Wikipedia*: website. 2019. (In Russian). Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Поиск\\_восхождением\\_к\\_вершине](https://ru.wikipedia.org/wiki/Поиск_восхождением_к_вершине) (accessed 18.12.2019).
8. Sotnik S.L., comp. Neironnye seti: obuchenie bez uchitelya [Neural network. Learning without teacher]. *Kurs lektsii po predmetu "Osnovy proektirovaniya sistem s iskusstvennym intellektom"* [Lecture course on the subject "Fundamentals of designing systems with artificial intelligence"]. Dneprodzerzhinsk, 1997–1999. (In Russian). Available at: [http://www.codenet.ru/progr/alg/ai/htm/gl3\\_4.php](http://www.codenet.ru/progr/alg/ai/htm/gl3_4.php) (accessed 18.12.2019).
9. Fedosov B.T. *Upravlenie neustoichivymi ob"ektami. Obratnyi mayatnik* [Control of unstable objects. Reverse pendulum]. *Model.Exponenta.Ru: network community*, 2009. (In Russian). Available at: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_152\\_Inv\\_Pend\\_control\\_1.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm) (accessed 18.12.2019).
10. Sushkov Yu.A. *Metod, algoritm i programma sluchainogo poiska* [Method, algorithm and program of random search]. Leningrad, VNIITransMash Publ., 1969. 43 p.
11. Zhiglyavskii A.A., Zhilinskas A.G. *Metody poiska global'nogo ekstremuma* [Method of search global extremum]. Moscow, Nauka Publ., 1991.
12. Jill P.E., Murray W., Wright M.H. *Practical optimization*. London, Academic Press, 1981 (Russ. ed.: Gill F., Myurrei U., Rait M. *Prakticheskaya optimizatsiya*. Moscow, Mir Publ., 1985. 509 p.).
13. Gasnikov A.V. *Sovremennye chislennyye metody optimizatsii. Metod universal'nogo gradientnogo spuska* [Modern numerical methods of optimization. Universal method of gradient descent]. Moscow, MFTI Publ., 2019. 267 p.
14. Zhadan V.G. *Metody optimizatsii*. V 3 ch. [Methods of optimization. In 3 pt.]. Moscow, MFTI Publ., 2015–2017.

15. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangel'skaya E. *Glubokoe obuchenie: погружение в мир нейронных сетей* [Deep learning. Immersion in the world of neural network]. St. Petersburg, Piter Publ., 2018. 480 p.

Для цитирования:

*Шипагин В.И.* Различные подходы к решению задачи перевернутого маятника // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 18–27. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-18-27.

For citation:

Shipagin V.I. Razlichnye podkhody k resheniyu zadachi perevernutogo mayatnika [Different approaches to solving the inverted pendulum problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 18–27. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-18-27.

## ГИБРИДНАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ (ГИСУМР)\*

В.К. ШПАКОВ

*630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: shpakov.vk@gmail.com*

С развитием робототехники очень важное значение приобретает проблема систем управления. Одной из наиболее важных проблем является создание человеко-машинного интерфейса. В настоящий момент наиболее распространены интерфейсы графического и программного типов, которые предназначены для промышленных роботов, выполняющих узкоспециализированные задачи в различных отраслях: от автомобильной и металлургической до пищевой. Однако, когда речь заходит о мобильных роботах с более широким спектром применения, интерфейсы такого рода становятся неэффективными из-за сложной настройки и малой автономности. В последнее время все чаще применяется подход создания интеллектуального диалогового интерфейса, с помощью которого человек может давать команды роботу на естественном языке (ЕЯ). Он основан на применении логической обработки данных классическими методами инженерии знаний и ассоциативной обработки данных нейронными сетями. Для этого необходимо закодировать все слова, используемые в человеко-машинном взаимодействии, таким образом, чтобы они обладали семантическими связями с другими словами по контексту диалога. При использовании данной системы в робототехнике контекст диалога должен распознаваться по предыдущему диалогу человеко-машинного взаимодействия в сочетании с данными, поступающими с сенсоров робота. Настоящая работа посвящена разработке ГИСУМР, ориентированной на исполнение команд, построенных на естественном языке. Эта система должна упростить человеко-машинное взаимодействие, что позволит использовать ее в области мобильных роботов, ухаживающих за людьми с ограниченными возможностями. Научная новизна этой работы заключается в использовании гибридного подхода к разработке контекстно зависимой системы управления мобильным роботом, ориентированной на использование речевых команд на естественном языке.

**Ключевые слова:** рекуррентные нейронные сети, LSTM, интеллектуальные системы, гуманоидные роботы, ROS, обработка естественного языка (ОЕЯ), Unreal Engine 4(UE4), C++, Python

---

\* Статья получена 16 апреля 2019 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Работа [5] посвящена разработке интеллектуальной диалоговой системы, направленной на обработку естественного языка. В архитектуре той системы жестко разделены модули шаблонной логики и искусственного интеллекта. Шаблонные алгоритмы обрабатывали команды, выделяя из них ключевые слова, а нейронная сеть генерировала текстовые ответы в режиме обычной беседы. Основная цель этой работы – объединить оба модуля для решения всех задач, но уже в области робототехники.

### 1. ЭМБЕДИНГ СЛОВ

Для обработки кодированного текста был выбран метод распределения слов Word2Vec, который основывается на дистрибутивной гипотезе: слова с похожим смыслом будут встречаться в похожих контекстах. Все команды считываются системой через микрофон, переводятся в текст и разбиваются на слова, которые проходят word Embedding, после чего слова представляются в виде One-Hot векторов (рис. 1).

Исходные данные		Формат One-Hot кодирования словаря							
id	Слово	id	Возьми	на	столе	стакан	и	принеси	мне
0	Возьми	0	1	0	0	0	0	0	0
1	на	1	0	1	0	0	0	0	0
2	столе	2	0	0	1	0	0	0	0
3	стакан	3	0	0	0	1	0	0	0
4	и	4	0	0	0	0	1	0	0
5	принеси	5	0	0	0	0	0	1	0
6	мне	6	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 1. One-Hot encoding

Векторы сворачиваются в один One-Hot вектор и отправляются на вход нейронной сети для последующего принятия решения о совершении действия.

### 2. ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Было решено использовать гибридный подход к решению поставленных перед системой задач. Это подразумевает комбинирование методов машинного обучения и шаблонных алгоритмов, а также символического и численного представления понятий и образов. В статье Гаврилова А.В. [3] представлена абстрактная модель архитектуры гибридной системы управления роботами, которая может быть взята за основу для данной работы (рис. 2).



Рис. 2. Архитектура гибридной системы управления мобильным роботом

За основу нашей системы мы взяли работу Шпакова В.К. [11], где была представлена успешная реализация диалоговой системы с использованием двух последовательно соединенных рекуррентных нейронных сетей LSTM с распределением слов Word2Vec и с шаблонными сценариями. Сама по себе система являлась диалоговым агентом, который поддерживал беседу с клиентами и выполнял запросы к базам данных института. Система распознавала принадлежность к группе клиентов (гость, студент, преподаватель, администратор), помнила контекст предыдущего диалога и, опираясь на него, принимала решение о совершении действия. Основными исполняемыми действиями являлись вывод/ввод/изменение информации в базах данных института, а также выдача текстового ответа. На базе этой системы мы разработали архитектуру нейронной сети, изображенной на рис. 3.

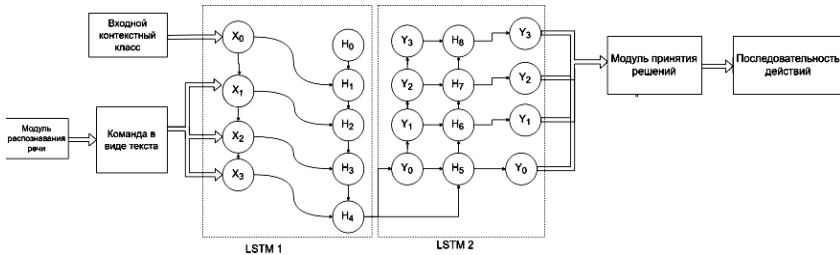


Рис. 3. LSTM + модуль принятия решений

На рис. 3  $X_i$  – One-Hot векторы команды;  $H_i$  – обрабатывающие нейроны скрытого слоя;  $Y$  – множество One-Hot векторов действий.

Для повышения точности распознавания контекста в начало команды добавляется контекстный класс, который представляет собой ключевое слово с таким же One-Hot вектором. На выходе из сети получается набор классов действий, который отправляется в модуль принятия решений, где выстраивается наиболее эффективная последовательность исполняемых сценариев.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведения анализа была выявлена потребность ГИСУМР, выполняющим роль помощника для людей с ограниченными возможностями.

Были выбраны методы обработки текстовых команд для интерпретатора, ограниченного ЕЯ.

Наше дальнейшее исследование направлено на разработку программной системы управления мобильным роботом, понимающей ЕЯ, и получение практических результатов в ходе экспериментов в среде моделирования UE4. Для этого будет использована программная модель робота REEM-C под управлением ROS (Robot operation system). Для программирования всей логики системы будет использован язык программирования C++, а для описания сценариев – Python.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tanaka H., Tokunaga T., Shinyama Y.* Animated agents capable of understanding natural language and performing actions // *Life-like characters: tools, affective functions, and applications.* – Berlin; Heidelberg: Springer, 2004. – P. 429–443. – (Cognitive technologies).
2. *Effective robotics programming with ROS / A. Mahtani, L. Sanchez, E. Fernandez, A. Martinez.* – S. l.: Packt Publishing, 2016. – 468 p.
3. *Абрамов В.П., Абрамова Г.А.* Структурный и функциональный подходы к анализу семантического поля // *Вестник РУДН. Серия: Русский и иностранные языки и методика их преподавания.* – 2017. – Т. 15, № 1. – С. 9–25.
4. *Гаврилов А.В.* Контекстно-ориентированная гибридная архитектура системы управления интеллектуального робота // *Робототехника и искусственный интеллект: материалы VI всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Железногорск, 13 декабря 2014 г.* – Красноярск: монография, 2014. – С. 74–79. – ISBN 978-5-905284-45-8.

5. *Гаврилов А.В.* Гибридные системы управления мобильных роботов // Интеллектуальные системы: материалы международной конференции, 3–10 сентября 2004 г. – Дивноморское, 2004.
6. *Гаврилов А.В.* Диалоговая система подготовки программ для роботов // Automatyka. – Gliwice, Poland, 1988. – Vol. 99. – P. 173–180.
7. *Гудфеллоу Я., Бенджиа И, Курвилль А.* Глубокое обучение. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 646 с.
8. *Николенко С.И., Кадурич А.А., Архангельская Е.О.* Глубокое обучение: погружение в мир нейронных сетей. – СПб.: Питер, 2017. – 480 с.
9. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. – Изд. 2-е, испр. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
10. *Шпаков В.К.* Использование искусственных нейронных сетей для разработки интеллектуальной диалоговой системы // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: материалы XX всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), 26–27 апреля 2018 г. – Рубцовск, 2018. – С. 54–60.

**Шпаков Владислав Константинович**, магистрант первого года обучения кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: shpakov.vk@gmail.com.

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-28-34

## **Hybrid intelligent mobile robot management system (HIMRMS)\***

**V.K. Shpakov**

*Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student of the automation department. E-mail: shpakov.vk@gmail.com*

With the development of robotics, the problem of control systems becomes very urgent. One of the most important problems is creation of a man-machine interface. At the moment, the most common interfaces are the ones of graphic and software types, which are designed for industrial robots that perform highly specialized tasks in various industries: from automotive and metallurgical to food industry. However, when it comes to mobile robots with a wider range of applications, interfaces of this kind become ineffective because of complex configuration and weak autonomy. This work is devoted to the development of a Hybrid Intelligent

---

\* Received 16 April 2019.



Mobile Robot Control System (HIMRCS), focused on the execution of commands built on the natural language (NL). This system should simplify a human-machine interaction, which will allow using it in the field of mobile robots caring for people with disabilities. The scientific novelty of this work lies in the use of a hybrid approach to the development of a context-dependent mobile robot control system, focused on the use of speech commands in the natural language.

**Keywords:** HIMRCS, recurrent neural networks, LSTM, Natural language understanding system(NLUS), humanoid robot, ROS, Natural language processing (NLP), Unreal Engine 4(UE4), C++, Python

## REFERENCES

1. Tanaka H., Tokunaga T., Shinyama Y. Animated agents capable of understanding natural language and performing actions. *Life-like characters: tools, affective functions, and applications*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2004, pp. 429–443.
2. Mahtani A., Sanchez L., Fernandez E., Martinez A. *Effective robotics programming with ROS*. Packt Publishing, 2016. 468 p.
3. Abramov V.P., Abramova G.A. Strukturnyi i funktsional'nyi podkhody k analizu semanticheskogo polya [Structural and functional approaches to semantic field analysis]. *Vestnik RUDN. Seriya: Russkii i inostrannye yazyki i metodika ikh predpodavaniya – RUDN Journal of Russian and Foreign Languages Research and Teaching*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 9–25.
4. Gavrilov A.V. [Context-oriented hybrid architecture of control system of intelligent robot]. *Robototekhnika i iskusstvennyi intellekt* [Robotics and artificial intelligence]: materials of the VI All-Russian scientific and technical conference with international participation. Krasnoyarsk, 2014, pp. 74–79. ISBN 978-5-905284-45-8. (In Russian).
5. Gavrilov A.V. [Hybrid control systems for mobile robots]. *Intellektual'nye sistemy: materialy mezhdunarodnoi konferentsii* [Materials of the International conference "Artificial intelligence systems"], Divnomorskoe, September 3–10, 2004. (In Russian).
6. Gavrilov A.V. Dialogovaya sistema podgotovki programm dlya robotov [Interactive system for training programs for robots]. *Automatyka*, Glivice, Poland, 1988, vol. 99, pp. 173–180.
7. Goodfellow J., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. Cambridge, MA, The MIT Press, 2016 (Russ. ed.: Gudfellou Ya., Ioshua B, Aron K. *Glubokoe obuchenie*. Moscow, DMK-Press Publ., 2017. 646 p.).
8. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangel'skaya E. *Glubokoe obuchenie: pogru-zhenie v mir neironnykh setei* [Deep learning. Immersion in the world of neural network]. St. Petersburg, Piter Publ., 2017. 480 p.

9. Haykin S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1999 (Russ. ed.: Khaikin S. *Neironnye seti: polnyi kurs*. Moscow, Williams Publ., 2006. 1104 p.).

10. Shpakov V.K. [The use of artificial neural networks for the development of an intellectual dialogue system]. *Problemy sotsial'nogo i nauchno-tekhnicheskogo razvitiya v sovremennom mire* [Problems of social, scientific and technical development in the modern world]. Materials of the XX All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists (with international participation), April 26–27, 2018. Rubtsovsk, 2018, pp. 54–60. (In Russian).

Для цитирования:

Шпаков В.К. Гибридная интеллектуальная система управления мобильным роботом (ГИСУМР) // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 28–34. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-28-34.

For citation:

Shpakov V.K. Gibrnaya intellektual'naya sistema upravleniya mobil'nym robotom [Hybrid intelligent mobile robot management system (HIMRMS)]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 28–34. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-28-34.

*ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА  
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ*

УДК 621.01

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-35-48

**СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К АНАЛИЗУ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕНУЛЕВЫМИ  
НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ МЕТОДАМИ  
СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ\***

В.М. ЛЕСС<sup>1</sup>, А.В. ПРОКОПОВ<sup>2</sup>, В.Ю. НЕЙМАН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студент факультета энергетики. E-mail: lissv134@gmail.com

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студент факультета энергетики. E-mail: saspro684@gmail.com

<sup>3</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники. E-mail: nv.nstu@ngs.ru

Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях является важным разделом теории электрических цепей, входящим в учебные планы большинства инженерных направлений подготовки и специальностей технических вузов. Помимо традиционных инженерных методов расчета переходных процессов, входящих в программы подготовки специалистов, определенный интерес представляет использование современных методов расчета, выполненных в компьютерных математических средах. Практическому освоению этих методов способствуют как специально разработанные пакеты компьютерных программ по расчету электрических цепей и электронных схем, так и лидирующие на рынке для технических вычислений программы, реализующие имитационное блочное визуально-ориентированное моделирование систем и устройств общего назначения Simulink – главный пакет расширения Matlab. При этом оптимальным подходом в изучении динамических цепей безусловно остается гармоничное сочетание традиционных и компьютерных средств обеспечения учебного процесса. Применение расширения Simulink позволяет не только самостоятельно оценить достоверность выполненных расчетов, но и лучше понять физику процессов, а также иметь хорошую возможность представления результатов расчетов в разнообразных формах. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования и расширения возможностей динамического расчета электрических цепей. В качестве объек-

---

\* Статья получена 25 августа 2019 г.

та для исследования рассматривается линейная электрическая цепь второго порядка с ненулевыми начальными условиями. Основной целью исследований является задача сравнения подходов к выполнению анализа переходных процессов в линейных цепях с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования в Matlab Simulink. Основное внимание уделяется вопросам построения структурных схем моделей электрической цепи. Основу для описания процессов составляют уравнения Кирхгофа, связывающие мгновенные значения токов и напряжений элементов цепи через их параметры. Приведены примеры численного моделирования с использованием вариантов структурных схем моделей электрической цепи. Рассмотрены преимущества и недостатки рассмотренных подходов, а также получены рекомендации по их использованию.

**Ключевые слова:** линейная электрическая цепь, переходный процесс, ненулевые начальные условия, методы структурного моделирования, варианты структурных схем

## ВВЕДЕНИЕ

Математическое описание и исследование особенностей протекания динамических процессов, происходящих в электрических цепях, электронных схемах и электротехнических устройствах, представляют сложную и трудоемкую задачу. В большинстве случаев данные исследования выполняются с использованием современных пакетов программ, что может быть эффективным при наличии общих подходов и методов математического описания изучаемых объектов.

В теории и практике исследования сложных объектов используются разные подходы к получению исходных уравнений, описывающих их динамическое состояние. Наиболее общий подход к математическому описанию процессов в динамике базируется на составлении систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), одним из способов решения которых в полной мере отвечает интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем Matlab Simulink [1–3].

Возможности расширения Simulink позволяют осуществлять различные задачи математического моделирования сложных динамических систем и объектов в различных областях науки и техники, а также задачи анализа и синтеза многих видов электрических цепей и устройств с автоматическим учетом многосторонних связей и соотношений между элементами схемы [4–10]. При этом достаточно просто формируются каналы вычисления мгновенных значений токов, напряжений и их производных величин, мгновенных мощностей, а также могут использоваться многие другие функции, входящие в состав приложения Simulink [11–13].

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ динамических цепей при изучении переходных процессов достаточно сложен и многообразен [14–16]. Существуют различные методы расчета переходных процессов в линейных электрических цепях. Например, необходимость определения постоянных интегрирования из начальных условий существенно осложняет расчет переходных процессов классическим методом решения линейных дифференциальных уравнений, описывающих исследуемые процессы. Особенно это относится к цепям при ненулевых начальных условиях второго и более высокого порядка. В проводимых исследованиях рассмотрены подходы к расчету переходных процессов в линейных электрических цепях с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования в Matlab Simulink. Основное внимание в работе уделяется вопросам построения развернутых структурных схем модели цепи на примере расчета переходного процесса в линейной цепи второго порядка с ненулевыми начальными условиями.

Анализ переходного процесса в линейной цепи методами структурного моделирования может быть произведен с использованием различных подходов. Остановимся подробнее на некоторых из них и приведем примеры построения развернутых структурных схем в Simulink, а также дадим рекомендации по их использованию.

В качестве примера рассмотрим разветвленную цепь второго порядка при ненулевых начальных условиях, представленную на рис. 1. Цепь получает питание от постоянного источника ЭДС. Напряжение на емкости и ток в индуктивности до коммутации не равны нулю, что определяется ненулевыми начальными условиями цепи (рис. 1).

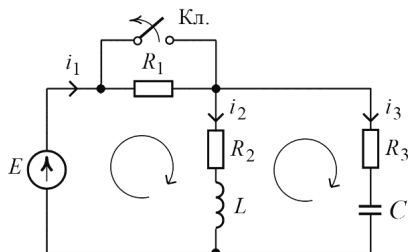


Рис. 1. Электрическая схема линейной цепи второго порядка

Как правило, традиционный процесс решения переходного процесса сводится к определению корней характеристического уравнения и постоянных

интегрирования, которые находятся известными методами. Затем находится окончательное решение переходного процесса как сумма свободной и принужденной составляющих [14, 15].

## 2. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПИ ВТОРОГО ПОРЯДКА С НЕНУЛЕВЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Для анализа данной цепи можно воспользоваться классическим подходом, который основывается на предварительном расчете независимых начальных и дальнейшем их использовании для расчета свободной составляющей переходного процесса, вызванного коммутацией ключа.

При расчете цепи методами структурного моделирования возникает необходимость построения дополнительной модели электрической цепи, соответствующей ее установившемуся режиму до коммутации.

Основой для описания процессов в электрической цепи являются уравнения Кирхгофа, связывающие ток и напряжение каждого элемента цепи через его параметры. Для цепи (рис. 1) до коммутации справедлива следующая система расчетных дифференциальных уравнений, составленная по законам Кирхгофа относительно мгновенных значений токов и напряжений на элементах цепи:

$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0, \\ i_2 R_2 + L \frac{di_2}{dt} = E, \\ i_3 R_3 + \frac{1}{C} \int i_3 dt - L \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Полная развернутая структурная схема модели, построенная на основе системы интегриродифференциальных уравнений (1), представлена на рис. 2. При запуске структурной схемы модели производится расчет независимых начальных условий для тока через индуктивность  $i_L(0+)$  и напряжения на емкости  $u_C(0+)$ , соответствующие их конечным величинам в принужденном режиме работы электрической цепи, регистрация которых производится с помощью установленных каналов измерения относительно интересующих нас выходов этой модели. Определяющим при выборе начальных условий является сохранение законов коммутации цепи относительно токов через индуктивность и напряжений на емкости:  $i_L(0+) = i_L(0-)$ ;  $u_C(0+) = u_C(0-)$ .

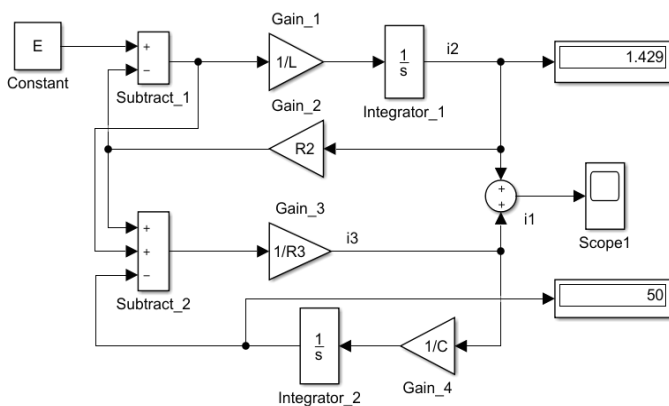


Рис. 2. Структурная модель цепи для расчета начальных условий

Для анализа переходного процесса в цепи (рис. 1) воспользуемся системой дифференциальных уравнений, составленной по законам Кирхгофа относительно мгновенных величин токов и напряжений на момент коммутации ключа:

$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0, \\ i_1 R_1 + i_2 R_2 + L \frac{di_2}{dt} = E, \\ i_3 R_3 + \frac{1}{C} \int i_3 dt - L \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Структурная схема модели цепи, реализованная в соответствии с системой уравнений (2), приведена на рис. 3. Схема использует установку начальных условий для интеграторов «Integrator\_1» и «Integrator\_2», соответствующих току через индуктивность  $i_L(0+)$  и напряжению на емкости  $u_C(0+)$ , с помощью блоков «Constant\_1» и «Constant\_2».

В качестве примера на рис. 4 приведены зависимости токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  и напряжения на емкости  $u_C$  от времени для следующих параметров цепи (см. рис. 1):  $E = 50$  В,  $R_1 = 1000$  Ом,  $R_2 = 35$  Ом,  $R_3 = 40$  Ом,  $L = 0,25$  Гн,  $C = 10$  мкФ.

Расчет начальных условий для интеграторов (рис. 3) произведен по структурной схеме (рис. 2) в соответствии с законами коммутации для тока через индуктивность  $i_L(0+) = 1.429$  А и для напряжения на емкости  $u_C(0+) = 50$  В.

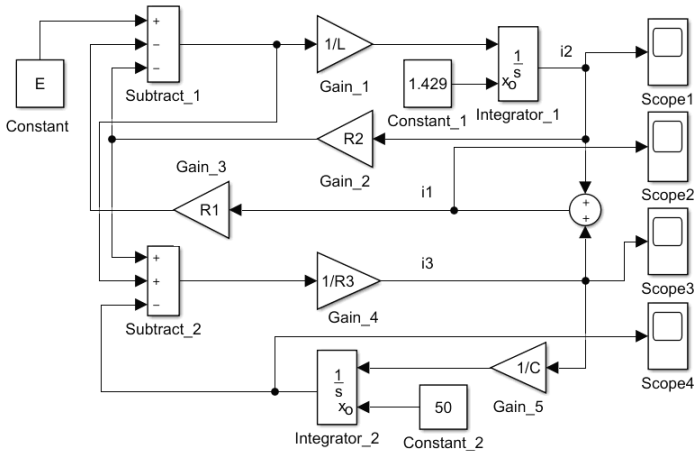


Рис. 3. Структурная схема модели цепи для расчета переходного процесса

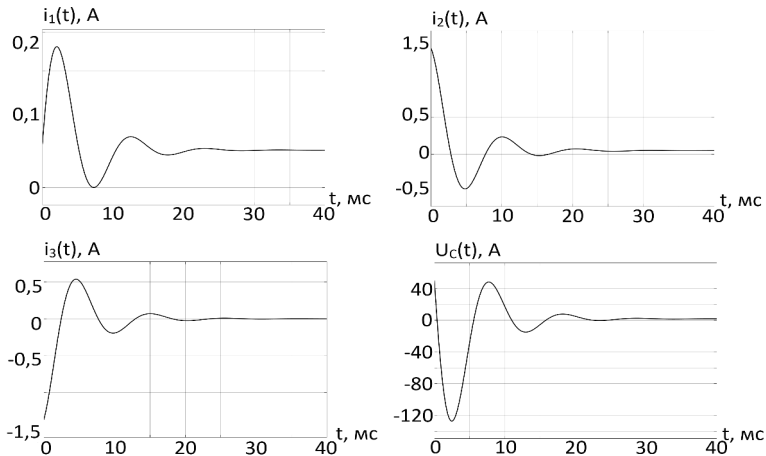


Рис. 4. Графики токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  и напряжения  $u_C$  в переходном процессе



Следует отметить, что значения начальных условий можно отследить по графикам зависимостей на рис. 4 в момент времени  $t = 0$ .

Реализовать переходный процесс в цепи на рис. 1 можно более простым способом, используя для этого источник воздействия в виде одиночного ступенчатого сигнала «Step» либо управляемого переключателя сигналов «Switch» из набора визуальных объектов библиотеки Simulink. Рассмотрим применение каждого такого блока в отдельности.

Главная особенность построения структурных схем модели цепи с помощью блоков «Step» или «Switch» заключается в возможности использования одной структурной схемы модели цепи. Расчет начальных условий цепи и дальнейшее их использование для расчета переходного процесса происходит последовательно во времени. На первом промежутке времени рассчитываются начальные условия, а на втором – переходный процесс.

Для математического описания переходного процесса может использоваться система интегродифференциальных уравнений (2) для цепи на момент коммутации.

С помощью сигнала нулевого уровня, поддерживаемого источником «Step» на первом промежутке времени (рис. 5), происходит расчет начальных условий. В начале второго промежутка времени сигнал источника принимает единичный уровень, что эквивалентно коммутации ключа, т. е. началу времени переходного процесса в цепи. Применение данного подхода позволяет произвести расчет переходного процесса, в отличие от предыдущего примера, ограничившись построением одной структурной схемы цепи. Результатом работы структурной схемы с использованием источника воздействия в виде одиночного ступенчатого сигнала «Step» (рис. 5) являются графики зависимостей токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  и напряжения на емкости  $u_C$ , приведенные на рис. 6.

В структурной схеме модели на рис. 7 расчет переходного процесса реализован с помощью блока переключателя «Switch», выполняющего переключение входных сигналов по сигналу управления, подаваемому на его средний вход. В качестве управления используется источник временного сигнала «Clock». Блок «Clock» формирует сигнал, величина которого на каждом шаге расчета равна текущему времени моделирования. Если сигнал управления, подаваемый на средний вход, меньше величины порогового значения, то на выходе блока переключателя «Switch» проходит сигнал со второго (нижнего) входа «Constant\_1». Если сигнал управления станет больше, чем пороговое значение, то на выходе блока переключателя будет поступать сигнал с первого (верхнего) входа. Пороговое значение сигнала определяет время, в течение которого выполняется расчет начальных условий.

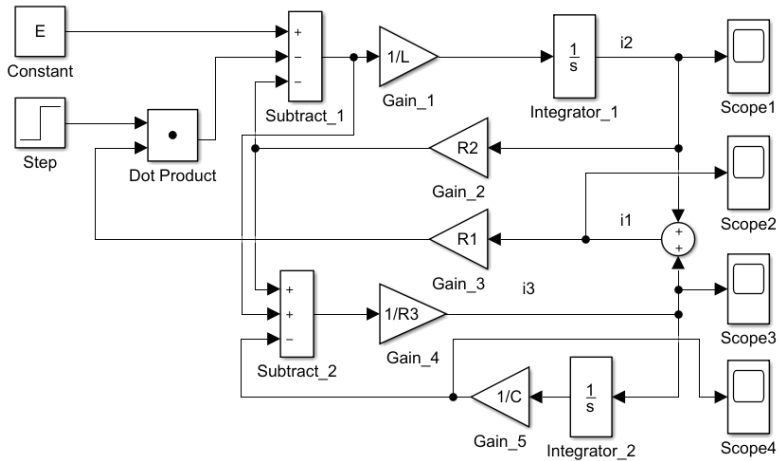


Рис. 5. Структурная схема модели цепи с блоком «Step»

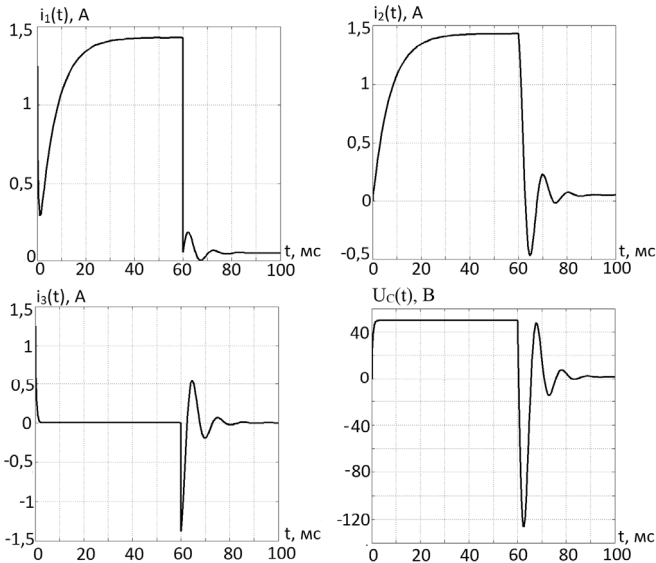


Рис. 6. Графики токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  и напряжения  $u_C$  в переходном процессе с блоком «Step»

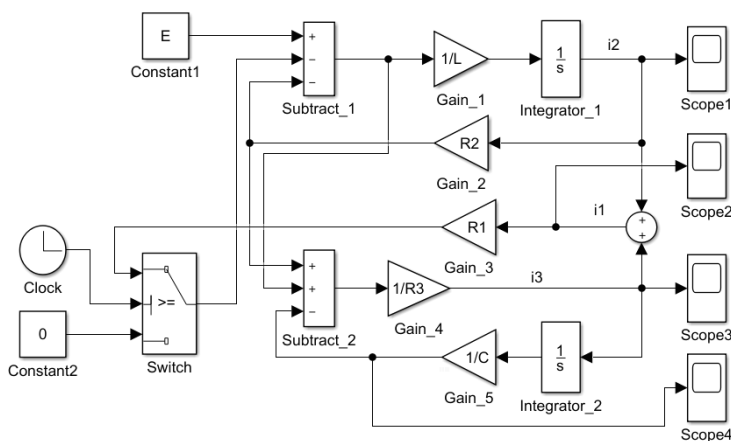


Рис. 7. Структурная схема модели с блоком «Switch»

В конкретном случае оно составляет время  $t = 0,06$  с, по завершении которого выполняется переключение сигнала и выполняется расчет переходного процесса.

Результатами работы структурной схемы модели с использованием блока переключателя «Switch» (рис. 7) являются аналогичные графики зависимостей токов  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  и напряжения на емкости  $u_C$ , приведенные на рис. 6.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ переходных процессов на примере моделирования цепи второго порядка с ненулевыми начальными условиями выявил различные возможности в применении подходов при построении структурных схем моделей методами и средствами визуально-ориентированного программирования.

Более существенным с точки зрения классического представления расчета переходного процесса является подход с использованием интеграторов с внешней установкой начальных условий. Однако по мере усложнения электрической цепи или ее порядка повышается трудоемкость процесса моделирования, вызванная дополнительным построением структурной схемы модели до коммутационной цепи для расчета независимых начальных условий.

Очевидным преимуществом обладают подходы с использованием блоков ступенчатого сигнала «Step» и переключателя «Switch», позволяющие при проведении анализа ограничиться одной структурной схемой модели цепи и тем самым снизить трудоемкость процесса моделирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
3. Дьяконов В.П. Simulink: самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 782 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Анализ и синтез мехатронной системы с магнитокоммутационной машиной в пакетах MATLAB-SIMULINK // Силовая электроника. – 2006. – № 7. – С. 82–86.
5. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Исследование двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка // Современные проблемы теории машин. – 2014. – № 2. – С. 109–110.
6. Neyman L.A., Neyman V.Yu., Shabanov A.S. Simulation of processes in an electromagnetic converter with energy loss in the massive magnetic core // The 17 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2016: proceedings, Altai, Erlagol, 30 June – 4 July 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016. – P. 522–525.
7. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Расчет динамики электромагнитного привода колебательного движения с однополупериодным выпрямителем // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 64–71.
8. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Математическая модель динамики электромагнитного ударного узла с упругими связями // Доклады АН ВШ РФ. – 2016. – № 2 (31). – С. 94–107.
9. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Математическая модель динамики двухкатушечной синхронной электромагнитной машины ударного действия со свободным выбегом бойка // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2016. – № 5. – С. 32–40.
10. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Математическая модель динамики однокатушечной синхронной электромагнитной машины ударного действия с двухсторонним выбегом бойка // Доклады АН ВШ РФ. – 2016. – № 3 (32). – С. 98–114.
11. Прокопов А.В., Лесс В.М. Исследование переходных процессов в сложных цепях высокого порядка при нулевых начальных условиях // Вестник современных исследований. – 2019. – № 3-13. – С. 151–160.
12. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 4. – С. 154–162.
13. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопрово-

де // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 73–78.

14. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.

15. *Малинин Л.И., Нейман В.Ю.* Теория электрических цепей: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2017. – 345 с.

16. *Малинин Л.И., Нейман В.Ю.* Теория цепей современной электротехники: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 347 с.

*Лесс Виталий Максимович*, бакалавр факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Имеет 2 публикации. E-mail: lissv134@gmail.com

*Прокопов Александр Владимирович*, бакалавр факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Имеет 2 публикации. E-mail: saspro684@gmail.com

*Неyman Владимир Юрьевич*, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники, доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – силовые электромагнитные импульсные системы. Имеет более 200 публикаций. E-mail: nv.nstu@ngs.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-35-48

## **Comparison of approaches in analysis of dynamic chains with non-zero initial conditions by structural modeling methods\***

**V.M. Less<sup>1</sup>, A.V. Procopov<sup>2</sup>, V.Yu. Neyman<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Energy faculty student. E-mail: lissv134@gmail.com*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Energy Faculty Student. E-mail: saspro684@gmail.com*

<sup>3</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Head of the Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering. E-mail: nv.nstu@ngs.ru*

Calculation of transients in linear electrical circuits is an important section of the theory of electrical circuits, included in the curricula of most engineering areas of training and specialties of technical universities. In addition to the traditional engineering methods for calculating

---

\* Received 25 August 2019.

transients, which are part of the training programs for specialists, it is of interest to use modern methods of calculation performed in computer mathematical environments. The practical development of these methods is facilitated by both specially developed computer program packages for calculating electrical circuits and electronic circuits, as well as programs leading on the market for technical computing that implement simulation block visual-oriented modeling of systems and devices of the most general purpose Simulink - the main Matlab extension package. In this case, the optimal approach to the study of dynamic circuits, of course, remains a harmonious combination of traditional and computer tools to ensure the educational process. The use of the Simulink extension allows not only to independently evaluate the reliability of the calculations performed, but also to better understand the physics of the processes, as well as to have a good opportunity to present the calculation results in various forms. The relevance of the study is due to the need to improve and expand the capabilities of the dynamic calculation of electrical circuits. A linear electric circuit of the second order with nonzero initial conditions is considered as an object for research. The main goal of the research is to compare the approaches to the analysis of transients in linear circuits with nonzero initial conditions by the methods of structural modeling in Matlab Simulink. The focus is on building block diagrams of electric circuit models. The basis for the description of the processes is the Kirchhoff equations, connecting the instantaneous values of the currents and voltages of the circuit elements through their parameters. Examples of numerical simulation using structural block diagrams of electric circuit models are given. The advantages and disadvantages of the considered approaches are considered, as well as recommendations for their use are received.

**Keywords:** linear electric circuit, transient, nonzero initial conditions, structural modeling methods, structural schemes options

## REFERENCES

1. Chernykh I.V. *Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink* [Simulation of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink]. Moscow, DMK Press Publ., St. Petersburg, Piter Publ., 2008. 288 p.
2. German-Galkin S.G. *Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyykh sistem v Matlab 6.0* [Computer simulation of semiconductor systems in Matlab 6.0]. St. Petersburg, Korona print Publ., 2001. 320 p.
3. D'yakonov V.P. *Simulink: camouchitel'* [Simulink. Tutorial]. Moscow, DMK Press Publ., 2015. 782 p.
4. German-Galkin S.G. Analiz i sintez mekhatronnoi sistemy s magnitokommutatsionnoi mashinoy v paketakh MATLAB-SIMULINK [Analysis and synthesis of a mechatronic system with a magneto-switching machine in packets MATLAB-SIMULINK]. *Silovaya elektronika – Power electronics*, 2006, no. 7, pp. 82–86.
5. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Issledovanie dvukhkatushechnoi sinkhronnoi elektro-magnitnoi mashiny s inertsionnym reversom boika [Research two-coil synchronous electromagnetic machine with inertial reversal the firing pin]. *Sovremennye problemy teorii mashin – Modern Problems of Theory of Machines*, 2014, no. 2, pp. 109–110.

6. Neyman L.A., Neyman V.Yu., Shabanov A.S. Simulation of processes in an electromagnetic converter with energy loss in the massive magnetic core. *The 17 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2016: proceedings*, Altai, Erlagol, 30 June – 4 July 2016, pp. 522–525.

7. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Raschet dinamiki elektromagnitnogo privoda koleba-tel'nogo dvizheniya s odnopoluperiodnym vypryamitelem [Calculation of the dynamics of an electromagnetic drive oscillatory motion with a half-wave rectifier]. *Vestnik MEI – MPEI Vestnik*, 2016, no. 6, pp. 64–71.

8. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Matematicheskaya model' dinamiki elektromagnitnogo udarnogo uzla s uprugimi svyazyami [A dynamic mathematical model of the electromagnetic impact unit with spring linkages]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2016, no. 2 (31), pp. 94–107.

9. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Matematicheskaya model' dinamiki dvukhkatushechnoi sinkhronnoi elektromagnitnoi mashiny udarnogo deistviya so svobodnym vybegom boika [Mathematical model of dynamics of two-inductor synchronous impact electromagnetic machines with free head running with free head running-out]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta – Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University*, 2016, no. 5, pp. 32–40.

10. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Matematicheskaya model' dinamiki odnokatushechnoi sinkhronnoi elektromagnitnoi mashiny udarnogo deistviya s dvukhstoronnim vybegom boika [Mathematical model of the dynamics of a single-coil synchronous electro-magnetic percussion machine with double-sided striking of the striker]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossijskoj Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2016, no. 3 (32), pp. 98–114.

11. Prokopov A.V., Less V.M. Issledovanie perekhodnykh protsessov v slozhnykh tsepyakh vysokogo poryadka pri nulevykh nachal'nykh usloviyakh [Investigation of transients in complex high-order circuits under zero initial conditions]. *Vestnik sovremennykh is-sledovaniy – Bulletin of Modern Research*, 2019, no. 3-13, pp. 151–160.

12. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Modelirovanie dinamicheskikh protsessov v elektromagnitnykh preobrazovatelyakh energii dlya sistem generirovaniya silovykh vozdeistvii i nizkochastotnykh vibratsii [Simulation of dynamic processes in electromagnetic energy converters for force effects and low-frequency vibrations generation systems]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 154–162.

13. Neyman L.A., Neyman V.Yu. Modelirovanie protsessov v elektromagnitnom vibratsionnom preobrazovatele s poteryami energii v magnitoprovode [Simulation of processes in an electromagnetic vibration converter with power loss in the

steel magnetic core]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki – Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 73–78.

14. Bessonov L.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Elektricheskie tsepi* [Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits]. Moscow, Gardariki Publ., 2000. 638 p.

15. Malinin L.I., Neiman V.Yu. *Teoriya elektricheskikh tsepei* [Theory of electrical circuits]. Moscow, Yurait Publ., 2017. 345 p.

16. Malinin L.I., Neyman V.Yu. *Teoriya tsepei sovremennoi elektrotehniki* [Circuit theory of modern electrical engineering]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2013. 347 p.

Для цитирования:

Лесс В.М., Прокопов А.В., Нейман В.Ю. Сравнение подходов к анализу динамических цепей с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 35–48. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-35-48.

For citation:

Less V.M., Procopov A.V., Neyman V.Yu. Sravnenie podkhodov k analizu dinamicheskikh tsepei s nenulevymi nachal'nymi usloviyami metodami strukturnogo modelirovaniya [Comparison of approaches in analysis of dynamic chains with non-zero initial conditions by structural modeling methods]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 35–48. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-35-48.



## СООБЩЕНИЯ

УДК 004.42

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-49-56

### ПРОЕКТ ПО РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА ПРОФОРИЕНТИРОВАНИЯ\*

О.В. КАЗАНСКАЯ<sup>1</sup>, А.А. ЯКИМЕНКО<sup>2</sup>, А.Д. БУЛАТОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. E-mail: ovk@edu.nstu.ru

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, заведующий кафедрой вычислительной техники. E-mail: yakimenko@corp.nstu.ru

<sup>3</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: bulatov.2014@stud.nstu.ru

В статье показывается актуальность разработки информационного сервиса профориентирования, специализированного на задачах, возникающих в рамках специальностей и направлений вуза. Предлагается разработать информационный сервис профориентирования, использующий архитектуру компьютерных тренажеров и, в частности, подход, основанный на изучении кейсов (case-based). Рассмотрены два варианта реализации: настольное и веб-приложение.

**Ключевые слова:** компьютерные обучающие программные системы в вузах, профессиональная ориентация, структурная схема, кейсы

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из острых проблем современного высшего образования в мире является недостаточная информированность будущих и состоявшихся студентов о специфике профессии, которую они хотят получить; о направлениях, в которых они смогут работать; о задачах, которые им придется решать в будущем. Типичный вопрос, который задается студентами на первом-втором курсах: «А что мы будем делать (конкретно), когда закончим вуз?». Отсутствие адекватной информации зачастую обуславливает снижение заинтересованности потенциальных абитуриентов, уменьшение наборов на «нераскрученные» специальности и даже потерю студентов на первых курсах.

---

\* Статья получена 23 июня 2019 г.

В целом ряде стран существуют государственные и коммерческие системы информирования (с той или иной степенью подробности описания) о перспективах работы после получения профессионального образования. Как правило, сайты таких систем (профориентационные сайты) снабжены навигаторами, которые, в частности, позволяют выбрать будущую профессию в зависимости от прохождения тестов, в первую очередь психологических (например, «Оценка творческого потенциала», «Какой вы руководитель?» и др.) [1, 2]. Помимо этого, предоставляется информация с описанием профессий, данные о приблизительном уровне зарплаты, перечни соответствующих учебных заведений и др. Иногда дается прогноз о динамике потребности в соответствующих специалистах на ближайшие годы. Так, например, рост потребности специалистов в области администрирования баз данных в США к 2026 г. оценивается в 11 % [3, 4].

Информация, предоставляемая вышеперечисленными системами, в большей степени ориентирована не на абитуриентов, а на специалистов по профориентации. Более того, можно предположить, что некорректное прохождение некоторых online-тестов способно дезориентировать подростков и спровоцировать неверный выбор. Таким образом, представляется актуальной разработка информационного сервиса, не только позволяющего получать очевидные справочные сведения о будущей профессии, но и дающего возможность ознакомиться с будущей деятельностью на конкретных примерах, демонстрирующих возможные профессиональные ситуации (кейсы) и приблизительный круг задач, которые приходится решать соответствующему специалисту в той или иной ситуации.

Ведущие вузы мира создают программные платформы, где абитуриенты могут ознакомиться с разнообразными примерами направлений исследовательской, проектной и конструкторской работы с представлением возникающих задач в рамках специальностей вуза. В России были представлены несколько глобальных проектов на эту тему, например, «Проекторика», «Атлас новых профессий» [5, 6]. Но, как правило, предоставляемая информация для выпускников школы не очень конкретна, что не позволяет им достаточно адекватно представить комплекс задач, решаемых в рамках предполагаемых профессий.

## **1. ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС ПРОФОРИЕНТИРОВАНИЯ НГТУ**

На кафедре вычислительной техники НГТУ разрабатывается проект образовательной программной платформы НГТУ, позволяющей реализовать более детальное знакомство в интерактивном режиме потенциальных абитуриентов

с задачами, возникающими в рамках нескольких, наиболее сложных для понимания абитуриентами специальностей (направлений обучения), имеющихся в НГТУ. При создании демонстраций (кейсов) предполагается использовать средства мультимедиа.

Основные этапы выполнения проекта.

1. Разработка детального плана проекта на основе анализа аналогов и возможных средств его реализации.
2. Разработка технического задания на разработку информационного сервиса.
3. Проектирование сценариев демонстраций (кейсов) и формата их представления.
4. Проектирование информационной модели и интерфейса информационного сервиса.
5. Написание инструментария для создания интерактивных демонстраций.
6. Разработка демонстраций (кейсов).
7. Разработка и тестирование прототипа информационного сервиса.
8. Тестирование демонстраций вне сервиса и в составе его. Доработка прототипа и демонстраций.
9. Подготовка инструктивных материалов по разработке демонстраций-кейсов.
10. Представление, апробация и обсуждение результатов апробации прототипа сервиса.
11. Разработка инструктивных материалов по работе с сервисом и рекомендаций по его дальнейшему совершенствованию.

В качестве структурно-функциональной схемы рассматриваемого сервиса может быть предложена структурная схема обучающего компьютерного тренажера [8, 9]. Особенности такого тренажера обуславливаются его целями. Как известно, одной из широко известных технологий обучения, реализуемых в компьютерных тренажерах, является обучение на примерах (case-based teaching). При обучении на основе примеров (кейсов) студенты анализируют исследования реальных или гипотетических ситуаций, которые предполагают необходимость решения проблем и/или принятия решений. Желательно, чтобы рассматриваемая задача была подлинной, представляла ситуацию, которая может возникнуть в профессиональной практике. Пример (кейс) может включать в себя описание того, что произошло и что привело к этому; проблемы и задачи, ресурсы и ограничения, при которых решение задачи могло быть иным; те решения, которые были сделаны; действия, которые были предприняты, и их результаты. Такая технология в большей степени может быть использована при изучении слабо формализованных методик решения задач,

при этом средства ее автоматизированной реализации очень востребованы в самых разных сферах человеческой деятельности.

Очевидно, с точки зрения решаемых задач (кейсов) в рассматриваемом информационном сервисе профорientирования перспективно использовать именно данную технологию обучения и те же средства ее реализации, которые применяются в компьютерных обучающих тренажерах. При этом в процессе разработки сервиса решаются две основные, достаточно емкие задачи. Первая – создание кейсов по демонстрации примеров из соответствующих специальностей в соответствии с ранее разработанным форматом построения таких кейсов, вторая – разработка механизма работы с кейсами (создание, управление, хранение) и соответствующего интерфейса.

## 2. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СЕРВИСА

С точки зрения технических аспектов реализация примеров (кейсов) может быть выполнена в двух видах: как настольное приложение с установкой на компьютер и как веб-приложение, расположенное на сайте. Оба варианта различаются используемыми технологиями и способом сбора информации о прохождении примера (кейса).

Реализация тренажеров как настольных приложений является довольно гибкой, так как данное приложение можно легко дополнить модулями к приложению. При этом инструмент разработки графических компонент не будет ограничен каким-либо конкретным языком, а сбор данных за счет установки и логирования действий пользователя прямо в системе не создает ограничений. Однако подобный подход имеет недостаток в виде необходимости прямой установки на компьютер образовательного учреждения или компьютер обучающегося (абитуриента). Это означает, что при обновлении примера (кейса) или сборе глобальной статистики могут появиться проблемы и неисправности в случае отсутствия соединения с сетью Интернет.

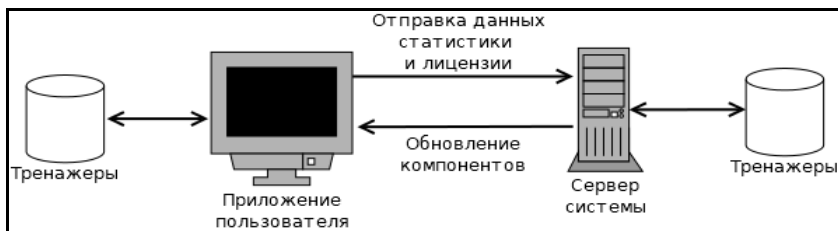


Рис. 1. Структура системы в виде настольного приложения

При веб-реализации примеров (кейсов) его компоненты и программное обеспечение будут эффективно поддерживаться за счет быстрого и прямого обновления компонентов приложения, мониторинга и поддержки. Также за счет постоянного подключения к сети Интернет возможен сбор обезличенных данных для будущих исследований в области профориентации и улучшения существующих примеров (кейсов). Главным недостатком такого подхода при формировании примеров (кейсов) являются возникающие технологические ограничения (в частности, возможность разработки тренажеров только на одном языке программирования, а именно Javascript), а также ограничения библиотек. Дополнительным ограничением являются особенности сбора данных приложением, так как необходимо отсылать промежуточные и конечные результаты асинхронными запросами на серверную часть системы.



Рис. 2. Структура системы в виде веб-приложения

Два вышеописанных подхода к реализации тренажеров имеют свои преимущества и недостатки. Таким образом, выбирать реализацию кейс-системы необходимо в зависимости от поставленных задач в нем, целей сбора данных и сложности действий в примерах, которые могут потребовать дополнительных вычислений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования предметной области профессиональной ориентации и профессионального информирования была выведена методика профориентирования при помощи обучающих тренажеров, основанных на примерах специальностей. В настоящее время ведется разработка собственно самого программного сервиса, а также формата и примеров кейсов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Психологические тесты [Электронный ресурс] // Мое образование: веб-сайт. – URL: [https://moeobrazovanie.ru/prof\\_tests/](https://moeobrazovanie.ru/prof_tests/) (дата обращения: 20.12.2019).
2. Профессиональная ориентация (профориентация) [Электронный ресурс] // Российское образование: федеральный портал. – URL: <http://www.edu.ru/abitur/act.15/index.php> (дата обращения: 20.12.2019).
3. *Bradford L.* The 7 fastest-growing tech jobs [Electronic resource] // The balance careers: website. – December 08, 2019. – URL: [www.thebalancecareers.com/the-7-fastest-growing-tech-jobs-of-the-future-2071965](http://www.thebalancecareers.com/the-7-fastest-growing-tech-jobs-of-the-future-2071965) (accessed: 20.12.2019).
4. Occupational Outlook Handbook. Computer and information technology [Electronic resource] / United States Department of Labor. – URL: <https://www.bls.gov/ooh/computer-and-information-technology/home.htm> (accessed: 20.12.2019). – Руководство по занятости. Направление «Компьютерные и информационные технологии».
5. Thinking of a career in applied mathematics? [Electronic resource] // Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM): website. – URL: <https://www.siam.org/Students-Education/Programs-Initiatives/Thinking-of-a-Career-in-Applied-Mathematics#What's-Out-There-for-Someone-with-Your-Tal...> (accessed: 20.12.2019).
6. Проектория [Электронный ресурс]: веб-сайт. – 2019. – URL: <https://proectoria.online/> (accessed: 20.12.2019).
7. Атлас новых профессий [Электронный ресурс]: веб-сайт. – URL: <http://atlas100.ru/> (accessed: 20.12.2019).
8. *Казанская О.В., Альсова О.К.* Индуктивные тренажеры в техническом университете // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2 (3). – С. 902–906.
9. *Kachurin A.E.* Training simulator «Decision-making under statistical uncertainty» / research adviser O.V. Kazanskaya; language adviser E.V. Guzheva // Progress through Innovations: тезисы городской научно-практической конференции аспирантов и магистрантов, Новосибирск, 31 марта 2016 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – С. 18–19.

**Казанская Ольга Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – электронное обучение. Имеет более 100 публикаций. E-mail: [ovk@edu.nstu.ru](mailto:ovk@edu.nstu.ru)

**Якименко Александр Александрович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой вычислительной техники Новосибирского государственного

го технического университета, научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Область научных интересов: информационные технологии, компьютерные системы, компьютерное моделирование, параллельные вычисления. Автор более 30 научных работ. E-mail: yakimenko@corp.nstu.ru

**Булатов Александр Викторович**, студент-магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: bulatov.2014@stud.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-49-56

### Career guidance information service development project\*

O.V. Kazanskaya<sup>1</sup>, A.A. Yakimenko<sup>2</sup>, A.D. Bulatov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, associate professor of the computer engineering department. E-mail: ovk@edu.nstu.ru

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, head of computer engineering department. E-mail: yakimenko@corp.nstu.ru

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, master student of computer engineering department. E-mail: bulatov.2014@stud.nstu.ru

The article shows the relevance of developing a career guidance information service specialized in tasks arising within the framework of the university's specialties and directions. It is proposed to develop a career guidance information service using the architecture of computer simulators and, in particular, an approach based on the study of cases (case-based). Two implementation options are considered: desktop and web application.

**Keywords:** computer training software systems in higher education institutions, professional orientation, block diagram, cases

## REFERENCES

1. Psikhologicheskie testy [Psychological tests]. *Moe obrazovanie* [My education]: website. Available at: [https://moeobrazovanie.ru/prof\\_tests/](https://moeobrazovanie.ru/prof_tests/) (accessed 20.12.2019).

2. Professional'naya orientatsiya (proforientatsiya) [Professional orientation (vocational guidance)]. *Rossiiskoe obrazovanie* [Russian education]: federal portal. Available at: <http://www.edu.ru/abitur/act.15/index.php> (accessed 20.12.2019).

---

\* Received 23 June 2019.

3. Bradford L. The 7 fastest-growing tech jobs. *The balance careers*: website, December 08, 2019. Available at: [www.thebalancecareers.com/the-7-fastest-growing-tech-jobs-of-the-future-2071965](http://www.thebalancecareers.com/the-7-fastest-growing-tech-jobs-of-the-future-2071965) (accessed 20.12.2019).
4. United States Department of Labor. Occupational Outlook Handbook. Computer and information technology. Available at: <https://www.bls.gov/ooh/computer-and-information-technology/home.htm> (accessed 20.12.2019).
5. Thinking of a career in applied mathematics? *Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)*: website. Available at: <https://www.siam.org/Students-Education/Programs-Initiatives/Thinking-of-a-Career-in-Applied-Mathematics#What's-Out-There-for-Someone-with-Your-Tal...> (accessed 20.12.2019).
6. *Proektoriya*: website, 2019. (In Russian). Available at: <http://proektoria.online> (accessed 20.12.2019).
7. *Atlas novykh professii* [Atlas of emerging job]. Available at: <http://atlas100.ru/> (accessed 20.12.2019).
8. Kazanskaya O.V., Alsova O.K. Induktivnye trenazhery v tekhnicheskoy universitete [Inductive simulators in the technical university]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 18, no. 2 (3), pp. 902–906.
9. Kachurin A.E. Training simulator "Decision-making under statistical uncertainty". Research adviser O.V. Kazanskaya, language adviser E.V. Guzheva. *Progress through Innovations*, Novosibirsk, March 31, 2016, pp. 18–19.

Для цитирования:

Казанская О.В., Якименко А.А., Булатов А.Д. Проект по разработке информационного сервиса профориентирования // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 49–56. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-49-56.

For citation:

Kazanskaya O.V., Yakimenko A.A., Bulatov A.D. Proekt po razrabotke informatsionnogo servisa proforientirovaniya [Career guidance information service development project]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 49–56. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-49-56.



## **АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ЗНАЧИМОГО ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РФ (ИСПДн)\***

А.А. ЕРОХИНА<sup>1</sup>, В.В. СЕЛИФАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студентка кафедры защиты информации. E-mail: [erوخina1997@bk.ru](mailto:erوخina1997@bk.ru)

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры защиты информации. E-mail: [sfo1@mail.ru](mailto:sfo1@mail.ru)

Рассматривается проблема разработки программы и методик испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, использование информационной системы персональных данных.

В данном случае информационная система является одновременно значимым объектом. Средства защиты информации, используемые в данной системе, должны пройти оценку соответствия в форме испытаний. По приказу ФСТЭК № 21 средства защиты информационной системы персональных данных не обязаны проходить оценку соответствия в форме обязательной сертификации, но по приказу ФСТЭК № 239 средства защиты значимого объекта должны пройти оценку соответствия в форме обязательной сертификации, испытаний или приемки.

Таким образом, наличие программы и методики испытаний, а также проведенные испытания оборудования, обязательное требование для получения разрешения на его применение. Именно поэтому данная проблема является актуальной. На многих значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации используется информационная система персональных данных, которая требует ввода в эксплуатацию соответствующих средств защиты информации.

В связи с этим возникает потребность в разработке программы и методик испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры Российской Федерации информационной системы персональных данных, в которых будут описаны приемочные испытания, содержащие оценку соответствия требованиям по безопасности в форме испытаний для средств защиты информации, и требования к оборудованию, используемому на данном объекте.

---

\* Статья получена 10 июня 2019 г.

**Ключевые слова:** безопасность КИИ, категорирование, объекты КИИ, значимость объектов, ИСПД, приемочные испытания, нормативно-правовые документы, система защиты ИСПДн, программа и методика испытаний, оценка требований СЗИ

## **ВВЕДЕНИЕ**

Ввод в действие значимого объекта и его подсистемы безопасности осуществляется при положительном заключении (выводе) в акте приемки о соответствии значимого объекта установленным требованиям по обеспечению безопасности. Данный акт составляется после прохождения приемочных испытаний. По закону данные испытания не могут проводиться без написанных методик испытаний и программы. Поэтому встает необходимость в разработке программы и методик испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры Российской Федерации. Поэтому целью работы является анализ нормативно-правовых документов в области критической информационной системы (КИИ), информационная система персональных данных (ИСПДн) и разработка программы и методики испытаний.

Для разработки программы и методик необходимо проанализировать исходные данные (модель угроз безопасности информации, результаты (акт) категорирования т. д.) и нормативно-правовые документы. Исходя из анализа разработать программу и методику испытаний.

Задачи:

- оценка нормативно-правовых данных и исходных данных для проведения испытаний;
- оценка нормативно-правовых данных в области КИИ;
- оценка нормативно-правовых данных в области ИСПДн.

## **1. ОЦЕНКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДАННЫХ В ОБЛАСТИ КИИ И ИСПДн**

В данном случае рассматривается информационная система персональных данных, которая одновременно является значимым объектом критической информационной инфраструктуры Российской Федерации.

Для определения требований по обеспечению безопасности обратимся к Приказу ФСТЭК от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Для средств защиты информации, используемых на значимом объекте критической информационной инфраструктуры информационной системы персональных данных, должна быть

проведена оценка соответствия требованиям по безопасности в формах обязательной сертификации, испытаний или приемки. Это требование описано в пункте 28 вышеупомянутого приказа: «Для обеспечения безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры должны применяться средства защиты информации, прошедшие оценку на соответствие требованиям по безопасности в формах обязательной сертификации, испытаний или приемки. Средства защиты информации, прошедшие оценку соответствия в форме обязательной сертификации, применяются в случаях, установленных законодательством Российской Федерации, а также в случае принятия решения субъектом критической информационной инфраструктуры. В иных случаях применяются средства защиты информации, прошедшие оценку соответствия в форме испытаний или приемки, которые проводятся субъектами критической информационной инфраструктуры самостоятельно или с привлечением организаций, имеющих в соответствии с законодательством Российской Федерации лицензии на деятельность в области защиты информации».

В пункте 5 Приказа ФСТЭК от 25 декабря 2017 г. № 239 сказано, что для обеспечения безопасности значимых объектов, являющихся информационными системами персональных данных, настоящие требования применяются с учетом требований, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2012 г. № 1119. Из Постановления Правительства № 1119 в пункте 4 узнаем, что выбор средств защиты информации для системы защиты персональных данных осуществляется в соответствии с нормативными правовыми актами Федеральной службой по техническому и экспортному контролю. Таким образом, переходим к Приказу ФСТЭК от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

В вышеупомянутом приказе в пункте 1 указано, что «меры по обеспечению безопасности персональных данных реализуются в том числе посредством применения в информационной системе средств защиты информации, прошедших в установленном порядке процедуру оценки соответствия, в случаях, когда применение таких средств необходимо для нейтрализации актуальных угроз безопасности персональных данных», то есть могут использоваться средства защиты информации (персональных данных), не прошедшие оценку соответствия требованиям по безопасности в форме обязательной сертификации, испытаний или приемки.

В данном случае информационная система является одновременно значимым объектом. Средства защиты информации, используемые в данной систе-

ме, должны пройти оценку соответствия в форме испытаний. По Приказу ФСТЭК № 21 средства защиты информационной системы персональных данных не обязаны проходить оценку соответствия в форме обязательной сертификации, но по приказу ФСТЭК № 239 средства защиты значимого объекта должны пройти оценку соответствия в форме обязательной сертификации, испытаний или приемки.

По Приказу ФСТЭК № 239 ввод в действие значимого объекта и его подсистемы безопасности осуществляется при положительном заключении (выводе) в акте приемки о соответствии значимого объекта установленным требованиям по обеспечению безопасности. Данный акт составляется после прохождения приемочных испытаний. По закону данные испытания не могут проводиться без написанных программы и методик испытаний.

## **2. ОЦЕНКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДАННЫХ И ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ**

Программа и методика испытаний – это документ, входящий в комплект конструкторской документации, составляемой на автоматизированную систему. Программа и методики испытаний призваны установить технические данные, которые подлежат проверке во время испытаний всей системы в целом или ее отдельных компонентов.

Чтобы узнать, какие разделы должны быть включены в программу и методики испытаний, обратимся к ГОСТ 34.603-92 «Информационная технология (ИТ). Виды испытаний автоматизированных систем». В данном ГОСТе описаны программы и методики для всех испытаний (предварительных, опытной эксплуатации, приемочных). Программа и методика для приемочных испытаний должны содержать следующие разделы:

– перечень объектов, выделенных в системе для испытаний, и перечень требований, которым должны соответствовать объекты (со ссылкой на пункты ТЗ);

- критерии приемки системы и ее частей;
- условия и сроки проведения испытаний;
- средства для проведения испытаний;
- фамилии лиц, ответственных за проведение испытаний;
- методика испытаний и обработки их результатов;
- перечень оформляемой документации.

Так как среди средств защиты информации используются программные продукты, обращаемся к государственному стандарту ГОСТ 19.301-79, согласно которому «программа и методика испытаний» оформляются в соответ-

ствии с ГОСТ 19.105-78 (общие требования к оформлению программных документов) и должна содержать следующие разделы:

- объект испытаний (указывают наименование, область применения и обозначение испытываемой программы);
- цель испытаний (должна быть указана цель проведения испытаний);
- требования к программе (должны быть указаны требования, подлежащие проверке во время испытаний и заданные в техническом задании на программу);
- требования к программной документации (должны быть указаны состав программной документации, предъявляемой на испытания, а также специальные требования, если они заданы в техническом задании на программу);
- средства и порядок испытаний (должны быть указаны технические и программные средства, используемые во время испытаний, а также порядок проведения испытаний);
- методы испытаний (должны быть приведены описания используемых методов испытаний).

В методах испытаний должны быть приведены описания проверок с указанием результатов проведения испытаний (перечней тестовых примеров, контрольных распечаток тестовых примеров и т. п.).

С помощью программы и методики испытаний составляем содержание для разрабатываемой программы испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры Российской Федерации информационной системы персональных данных. Данная программа испытаний будет включать в себя разделы:

- 1) объект испытаний (указывают наименование, область применения, перечень объектов, выделенных в системе для испытаний, и фамилии лиц, ответственных за проведение испытаний);
- 2) цель испытаний (должна быть указана цель проведения испытаний);
- 3) требования к программе (перечень требований, которым должны соответствовать объекты (со ссылкой на пункты ТЗ));
- 4) требования к программной документации (должен быть указан состав программной документации, предъявляемой на испытания);
- 5) средства и условия испытаний (должны быть указаны технические и программные средства, используемые во время испытаний, а также условия и сроки проведения испытаний);
- 6) методы испытаний (должны быть приведены описания используемых методов испытаний);
- 7) перечень оформляемой документации.

Для проведения приемочных испытаний должна быть предъявлена следующая документация:

- техническое задание на создание АС;
- акт приемки в опытную эксплуатацию;
- рабочие журналы опытной эксплуатации;
- акт завершения опытной эксплуатации и допуска АС к приемочным испытаниям.

В зависимости от категории значимости объекта критической информационной инфраструктуры, которая определяется по Постановлению Правительства РФ от 8 февраля 2018 г. № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений», в программе и методике испытаний прописываются требования к средствам защиты информации. Эти требования должны соответствовать мерам по обеспечению безопасности для значимого объекта прописанных в приложении к Требованиям по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, утвержденным Приказом ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 «Состав мер по обеспечению безопасности для значимого объекта соответствующей категории значимости».

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В статье описано, как должна выглядеть структура данного документа и какие документы должны быть предъявлены до проведения испытаний на основе ГОСТ 34.603-92 «Информационная технология (ИТ). Виды испытаний автоматизированных систем». На основе Приказа ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 и Приказа ФСТЭК от 18 февраля 2013 г. № 21 описано, какие требования указывать для оценки соответствия (в форме обязательных испытаний) средств защиты информации значимого объекта критической информационной инфраструктуры Российской Федерации информационной системы персональных данных.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2012 г. № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2018 г. № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений».

3. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

4. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

5. ГОСТ 19.301–79. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению. – Введ. 01.01.80. – М.: Стандартинформ, 2010.

6. ГОСТ 34.603–92. Информационная технология (ИТ). Виды испытаний автоматизированных систем. – Взамен ГОСТ 24.104-85 в части разд. 3: введ. 01.01.93. – М.: Изд-во стандартов, 1992.

**Ерохина Анастасия Алексеевна**, студентка кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: Valeria.Ivanova97@yandex.ru

**Селифанов Валентин Валерьевич**, старший преподаватель кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: sfo1@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-57-65

## **Analysis of legal documents in preparation for the development of programs and significant objects test procedures critical information infrastructure of the RF (PDIS)\***

**A.A. Erohina<sup>1</sup>, V.V. Selifanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student of information security department. E-mail: eroxina1997@bk.ru*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Security. E-mail: sfo1@mail.ru*

The commissioning of a significant object on which the personal data information system is used, and its security subsystem is carried out with a positive conclusion in the act of acceptance of the compliance of the significant object with the established safety requirements. This act is drawn up after passing the acceptance tests. Accordingly, to obtain permission for the use of significant objects requires a program and test methods. An up-to-date solution is the development of a program and test methods for a significant object of the critical information infrastructure of the Russian Federation, an information system for personal data, which will describe acceptance tests containing an assessment of compliance with safety requirements in the forms of mandatory certification, testing or acceptance for information security tools, equipment requirements, used on this site.

In this case, the information system is at the same time a significant object, the information security tools used in this system must be evaluated in the form of tests. By order of FSTEC № 21, the means of protecting the information system of personal data are not required to pass a conformity assessment in the form of mandatory certification, but by order of FSTEC № 239 the means of protection of a significant object must pass a conformity assessment in the form of mandatory certification, testing or acceptance. Analyzing these conditions, it was determined to develop a conformity assessment in the form of tests.

The program and testing methodology is a document included in the set of design documentation drawn up for an automated system. On the basis of regulatory documents, we prepare the content for the test program being developed.

Depending on the category of significance of the critical information infrastructure object, the requirements for information security tools must comply with the security measures for the relevant object and the prescribed order of FSTEC №239.

**Keywords:** security of critical information infrastructure, categorization, objects of critical information infrastructure, significance of objects, personal data information system, acceptance tests

---

\* *Received 10 June 2019.*



## REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation of November 1, 2012 N 1119 “On approval of requirements for the protection of personal data when they are processed in personal data information systems”. (In Russian).
2. Decree of the Government of the Russian Federation of February 8, 2018 N 127 “On Approval of the rules for categorizing the objects of critical information infrastructure of the Russian Federation, as well as a list of indicators of the criteria of significance of the objects of critical information infrastructure of the Russian Federation and their values”. (In Russian).
3. Order of the FSTEC Russia of February 18, 2013 N 21 “On approval of the composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data when they are processed in personal data information systems”. (In Russian).
4. Order of the FSTEC Russia of December 25, 2017 N 239 “On approval of requirements for ensuring security of significant objects of critical information infrastructure of the Russian Federation”. (In Russian).
5. GOST 19.301–79. Program and methods of testing. Requirements for contents and form of presentation. Moscow, Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
6. GOST 34.603–92. Information technology. Types tests automated systems. Moscow, Standads Publ., 1992.

Для цитирования:

*Ерохина А.А., Селифанов В.В.* Анализ нормативно-правовых документов на этапе подготовки к разработке программы и методики испытаний значимого объекта критической информационной инфраструктуры РФ (ИСПДн) // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 57–65. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-57-65.

For citation:

*Erohina A.A., Selifanov V.V.* Analiz normativno-pravovykh dokumentov na etape podgotovki k razrabotke programmy i metodiki ispytaniy znachimogo ob"ekta kriticheskoy informacionnoy infrastruktury RF (ISPDn) [Analysis of legal documents in preparation for the development of programs and significant objects test procedures critical information infrastructure of the RF (PDIS)]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 57–65. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-57-65.

## **АНАЛИЗ ДОКУМЕНТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИК АТТЕСТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗНАЧИМОГО ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РФ (ГИС)\***

В.А. ИВАНОВА<sup>1</sup>, В.В. СЕЛИФАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студентка кафедры защиты информации. E-mail: Valeria.Ivanova97@yandex.ru

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры защиты информации. E-mail: sfo1@mail.ru

После вступления в силу 1 января 2018 года Федерального закона 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» перед организациями и специалистами, работающими в области информационной безопасности объектов критических инфраструктур, стали задачи выполнения этого закона и всего множества связанных с ним подзаконных актов.

Программа и методика испытаний – это документ, входящий в комплект конструкторской документации, составляемой на автоматизированную систему или программу на стадии разработки. Программа методики испытаний призвана установить технические данные, которые подлежат проверке во время испытаний всей системы в целом или ее отдельных компонентов.

Применяемые мероприятия по безопасности объектов КИИ определяются в соответствии с его категорией значимости. Для незначимого объекта КИИ должна быть обеспечена интеграция с ГосСОПКА. Категория значимости определяется исходя из «Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» утвержденных соответствующим Постановлением Правительства от 8 февраля 2018 г. № 127.

Аттестация прописана для государственных информационных систем, являющихся значимыми объектами КИИ. Основопологающим документом является Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах». При аттестационных испытаниях проводится анализ уязвимостей средств защиты информации, технических средств и программного обеспечения. Если уязвимости обнаружены, то необходимо их устранение или снижение их применения за счет настройки имеющихся средств защиты.

---

\* Статья получена 07 июня 2019 г.

**Ключевые слова:** безопасность КИИ, категорирование, объекты КИИ, значимость объектов, ГИС, аттестационные испытания, аттестация системы, программа и методика испытаний

## **ВВЕДЕНИЕ**

1 января 2018 года вступил в силу Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Он необходим для регулирования отношений в области гарантирования безопасности объектов информационной инфраструктуры Российской Федерации. ФСТЭК России является органом исполнительной власти в области обеспечения безопасности критической информационной системы (КИИ). Объекты критической информационной инфраструктуры – информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления субъектов критической информационной инфраструктуры. Согласно статье 2 указанного закона, критическая информационная инфраструктура – объекты критической информационной инфраструктуры, а также сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов. К объектам критической информационной инфраструктуры относятся информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления субъектов критической информационной инфраструктуры, функционирующие в сфере здравоохранения, науки, транспорта, связи, энергетики, в банковской сфере и иных сферах финансового рынка, топливно-энергетического комплекса, в области атомной энергии, оборонной, ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности, а также российские юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели, которые обеспечивают взаимодействие указанных систем или сетей.

## **1. КАТЕГОРИЯ ЗНАЧИМОСТИ**

Критерии отнесения ИС к критически важным:

- критерий социальной значимости;
- критерий важности объекта КИИ РФ в части реализации управленческой функции;
- критерий важности объекта КИИ РФ в части предоставления значительного объема информационных услуг.

Под эти критерии легко подвести весь реестр федеральных ГИС.

Применяемые мероприятия по безопасности объектов КИИ определяются в соответствии с его категорией значимости. Для незначимого объекта КИИ

должна быть обеспечена интеграция с ГосСОПКА (государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак). Безопасность значимого объекта КИИ – это комплекс организационных и технических мер, в который входит создание системы безопасности, реагирование на инциденты ИБ, обеспечение действий в нештатных ситуациях, защита технических средств и систем.

Категория значимости определяется исходя из «Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», утвержденных соответствующим Постановлением Правительства от 8 февраля 2018 г. № 127. Существует три категории значимости, где первая – самая высокая, третья – самая низкая. Категорирование проводится для существующих, создаваемых или модернизируемых объектов КИИ.

Категорирование включает:

- определение основных производственных процессов;
- выявление критических объектов;
- определение объектов критической информационной инфраструктуры, которые обрабатывают информацию, необходимую для обеспечения критических процессов, и (или) осуществляют управление, контроль или мониторинг критических процессов;
- формирование перечня объектов КИИ, подлежащих категорированию;
- оценку масштаба возможных последствий в случае возникновения компьютерных инцидентов;
- установку каждому объекту одной из категорий значимости либо решение об отсутствии необходимости присвоения ему категории значимости.

Пересмотр установленной категории значимости происходит не реже, чем один раз в пять лет.

## **2. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ**

Цель работы заключается в разработке программы и методики аттестационных испытаний.

Программа и методика испытаний системы (подсистемы) на этапе опытного функционирования предназначена для установления данных, обеспечивающих получение и проверку проектных решений, выявление причин сбоев, определение качества работ и показателей качества функционирования системы (подсистемы), проверку соответствия системы требованиям техники безопасности, продолжительность и режим испытаний.

Программы испытаний должны содержать перечни конкретных проверок (решаемых задач), которые следует осуществлять при испытаниях для подтверждения выполнения требований ТЗ со ссылками на соответствующие методики (разделы методик) испытаний.

Согласно РД 50-34.698-90 «Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов», программа испытаний содержит следующие разделы:

- объект испытаний (полное наименование системы, комплектность испытательной системы);

- цель испытаний (конкретные цели и задачи, которые должны быть достигнуты и решены);

- общие положения (перечень руководящих документов; место и продолжительность испытаний; организации, участвующие в испытаниях; перечень ранее проведенных испытаний; перечень предъявляемых на испытания документов);

- объем испытаний (перечень этапов испытаний и проверок; количественные и качественные характеристики, подлежащие оценке; последовательность проведения и режима испытаний; требования по испытаниям программных средств; перечень работ, проводимых после завершения испытаний);

- условия и порядок проведения испытаний (условия проведения испытаний; условия начала и завершения отдельных этапов испытаний; имеющиеся ограничения в условиях проведения испытаний; требования к техническому обслуживанию системы; меры, обеспечивающие безопасность и безаварийность проведения испытаний; порядок взаимодействия организаций; порядок привлечения экспертов для исследования возможных повреждений в процессе проведения испытаний, требования к персоналу);

- материально-техническое обеспечение испытаний (конкретные виды материально-технического обеспечения с распределением задач и обязанностей организации, участвующих в испытаниях);

- метрологическое обеспечение испытаний (перечень мероприятий по метрологическому обеспечению испытаний с распределением задач и ответственности организаций, участвующих в испытаниях, за выполнение соответствующих мероприятий);

- отчетность (указывают перечень отчетных документов, которые должны оформляться в процессе испытаний и по их завершении, с указанием организаций и предприятий, разрабатывающих, согласующих и утверждающих их, и сроки оформления этих документов. К отчетным документам относят акт и отчет о результатах испытаний, акт технического состояния системы после испытаний).

В документ включают приложения.

В зависимости от особенностей систем допускается объединять или исключать отдельные разделы при условии изложения их содержания в других разделах программы испытаний, а также включать в нее дополнительные разделы.

### 3. АТТЕСТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Обязательная аттестация прописана для государственных информационных систем, являющихся значимыми объектами КИИ.

Аттестация ГИС является обязательным условием для ввода ее в эксплуатацию. Аттестация государственной информационной системы инициализируется заказчиком системы.

При аттестационных испытаниях проводится анализ уязвимостей средств защиты информации, технических средств и программного обеспечения. Если уязвимости обнаружены, то необходимо их устранение или снижение их применения за счет настройки имеющихся средств защиты.

Отчет по анализу уязвимостей оформляется приложением к заключению по результатам аттестационных испытаний.

После проведения аттестационных испытаний разрабатываются протокол и заключение по результатам аттестационных испытаний.

При успешном прохождении аттестационных испытаний выдается аттестат соответствия.

Основопологающим документом является Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах». Так как объект КИИ одновременно является и государственной информационной системой, то его оценка защищенности проводится по тому же приказу.

Согласно Приказу ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» (п. 17.1), в качестве исходных данных, необходимых для аттестации информационной системы, используются модель угроз безопасности информации, акт классификации информационной системы, техническое задание на создание информационной системы и (или) техническое задание (частное техническое задание) на создание системы защиты информации информационной системы, проектная и эксплуатационная документация на систему защиты информации информационной системы, организационно-распорядительные документы по защите информации, результаты анализа уязвимостей информационной системы, материалы предварительных и приемочных испытаний системы защиты информации информационной системы, а также иные документы, разрабатываемые в соответствии с настоящими требованиями.

Аттестация системы проводится до обработки информации, подлежащей защите в информационной системе, в соответствии с программой и методикой

аттестационных испытаний с применением национальных стандартов, методических документов, разработанных ФСТЭК России.

Согласно приказу, при проведении аттестационных испытаний должны применяться следующие методы проверок (испытаний):

– экспертно-документальный метод, предусматривающий проверку соответствия системы защиты информации информационной системы установленным требованиям по защите информации, на основе оценки эксплуатационной документации, организационно-распорядительных документов по защите информации, а также условий функционирования информационной системы;

– анализ уязвимостей информационной системы, в том числе вызванных неправильной настройкой (конфигурированием) программного обеспечения и средств защиты информации;

– испытания системы защиты информации путем осуществления попыток несанкционированного доступа (воздействия) к информационной системе в обход ее системы защиты информации.

По окончании срока действия аттестата соответствия, который не может превышать 5 лет, или повышения класса защищенности информационной системы проводится повторная аттестация информационной системы. При увеличении состава угроз безопасности информации проводятся дополнительные аттестационные испытания в рамках действующего аттестата соответствия.

Ввод в действие информационной системы осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации об информации, информационных технологиях и о защите информации, с учетом ГОСТ 34.601 и при наличии аттестата соответствия.

Согласно Приказу ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» (п. 19), обеспечение защиты информации при выводе из эксплуатации аттестованной информационной системы или после принятия решения об окончании обработки информации осуществляется оператором в соответствии с эксплуатационной документацией на систему защиты информации информационной системы и организационно-распорядительными документами по защите информации и включает:

– архивирование информации, содержащейся в информационной системе;

– уничтожение (стирание) данных и остаточной информации с машинных носителей информации и (или) уничтожение машинных носителей информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье произведен анализ документов, связанных с программой и методикой для государственной информационной системы. Описана структура согласно РД 50-34.698-90 «Автоматизированные системы требования к содержанию документов» и аттестационные испытания согласно Приказу ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

2. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 21 декабря 2017 г. № 235 «Об утверждении Требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования».

3. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

4. Постановление Правительства РФ от 8 февраля 2018 г. № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений».

*Иванова Валерия Александровна*, студентка кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: Valeria.Ivanova97@yandex.ru

*Селифанов Валентин Валерьевич*, старший преподаватель кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: sfo1@mail.ru



DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-66-74

## **Analysis of documents on development of the program and methodology of certification tests of a significant object of critical infrastructure of the RF (GIS)\***

**V.A. Ivanova<sup>1</sup>, V.V. Selifanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student of information security department. E-mail: Valeria.Ivanova97@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Security. E-mail: sfo1@mail.ru*

After the entry into force on January 1, 2018 of the Federal Law 187-FZ "On the Security of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation", organizations and specialists working in the field of information security of critical infrastructures faced the implementation of this law and all the many him bylaws.

The program and testing methodology is a document included in the design documentation set up for an automated system or program at the development stage. The test procedure program is designed to establish technical data that is subject to verification during testing of the entire system or its individual components.

The applied measures for the safety of CII facilities are determined in accordance with its category of importance. For not significant object KII should be ensured integration with the GOSPKA. The category of significance is determined on the basis of the "Rules for categorizing objects of the critical information infrastructure of the Russian Federation" approved by the relevant government decree of February 8, 2018 No. 127.

Certification is registered for state information systems, which are significant objects of CII, the basic document is the Order of the FSTEC of Russia dated February 11, 2013 N 17 "On approval of requirements for the protection of information that is not part of the state secret contained in state information systems". At certification tests, an analysis of vulnerabilities of information protection means, hardware and software is carried out. If vulnerabilities are found, then they must be eliminated or their use reduced by adjusting the available protection.

**Keywords:** safety of CII, categorization, objects of CII, significance of objects, GIS, certification tests, system certification, program and testing methodology

## **REFERENCES**

1. Federal law of July 26, 2017 N 187-FZ "On the security of the critical information infrastructure of the Russian Federation".
2. Order of the FSTEC Russia of December 21, 2017 N 235 "On approval of requirements for the creation of security systems for significant objects of the critical information infrastructure of the Russian Federation and for their functioning".

---

\* Received 08 June 2019.

3. Order of the FSTEC Russia of December 25, 2017 N 239 "On approval of the Security Requirements for the Important Objects of Critical Information Infrastructure of the Russian Federation".

4. Decree of the Government of the Russian Federation dated February 8, 2018 N 127 "On the approval of the Rules for categorizing objects of the critical information infrastructure of the Russian Federation, as well as a list of indicators of criteria for the significance of objects of critical information infrastructure of the Russian Federation and their values".

Для цитирования:

*Иванова В.А., Селифанов В.В.* Анализ документов по разработке программы и методик аттестационных испытаний значимого объекта критической инфраструктуры РФ (ГИС) // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 66–74. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-66-74.

For citation:

*Ivanova V.A., Selifanov V.V.* Analiz dokumentov po razrabotke programmy i metodik ispytaniy znachimogo ob"ekta kriticheskoi infrastruktury RF GIS [Analysis of documents on development of the program and methodology of certification tests of a significant object of critical infrastructure of the RF GIS]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 66–74. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-66-74.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДОВ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ\*

С.К. ЧЕГЛАКОВ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант. E-mail: StepoS96@mail.ru

В данной статье указаны основные методы дезинфекции питьевой воды и выбор наиболее оптимального метода для обеззараживания в промышленных масштабах. Основные критерии качества питьевой воды, сформулированные в середине XX века, состоят в следующем: питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами. В настоящее время эти критерии приняты во всем мире. Дезинфекция воды с использованием хлора имеет наибольшее распространение среди других химических методов дезинфицирования. Использование хлорирования требует соблюдения специальных мер безопасности, так как хлор является сильнодействующим токсическим веществом. Озон является одним из сильнейших окислителей, способным окислять все металлы, кроме золота и платиноидов, а также большинство неметаллов. Он оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору и способен разрушать многие присутствующие в воде источника водоснабжения химические вещества техногенного происхождения. При олигодинамии используются тяжелые металлы для обеззараживания воды. Они способны оказывать бактерицидное действие в малых концентрациях. Среди физических методов обеззараживания питьевой воды самым широко известным методом является кипячение. При кипячении уничтожается большинство бактерий, вирусов, бактериофагов, антибиотиков. Обеззараживание ультрафиолетом не приводит к изменениям органолептических свойств и состава воды, образованию токсичных побочных продуктов реакции. При дезинфекции воды с использованием импульсного электрического разряда вода приобретает бактерицидные свойства, которые сохраняются до четырех месяцев. При воздействии ультразвука на жидкость возникают специфические физические, химические и биологические эффекты, такие как кавитация, капиллярный эффект, диспергирование, эмульгирование, дегазация, обеззараживание и локальный нагрев.

**Ключевые слова:** дезинфекция, обеззараживание, питьевая вода, метод, ультразвук, ультрафиолет, хлорирование, озонирование, олигодинамия, импульсный электрический разряд, кипячение

---

\* Статья получена 16 августа 2019 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Питьевая вода служит средой обитания для возбудителей инфекционных заболеваний. Водным путем передаются брюшной тиф, холера, паратифы, дизентерия, амебиаз, энтеровирусные заболевания, инфекционный гепатит, лептоспироз, туляремия, лямблиоз, балантидиоз, некоторые гельминтозы и аденовирусные заболевания.

В процессе первичной очистки воды задерживаются до 98 % бактерий. Но среди оставшихся бактерий, а также среди вирусов могут находиться патогенные микроорганизмы, для уничтожения которых нужна специальная обработка воды.

Для обеззараживания питьевой воды используются химические (реагентные) и физические (безреагентные) методы. Выбирая метод обеззараживания, следует учитывать опасность для здоровья человека самих реагентов, а также веществ, образующихся в процессе обработки воды.

Целью данной работы является исследование и выбор методов для дезинфекции воды.

## **1. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

К химическим методам обеззараживания питьевой воды относятся:

- хлорирование,
- озонирование,
- олигодинамия.

Наибольшее распространение среди хлорсодержащих реагентов получил жидкий хлор. Он поступает на водопроводные станции в цистернах или баллонах под высоким давлением. При снижении давления жидкий хлор переходит в газообразный, хорошо растворяется в воде. Однако хлор является сильнодействующим токсическим веществом. Его хранение, использование и транспортировка требуют соблюдения специальных мер безопасности.

Озон ( $O_3$ ) – газ бледно-фиолетового цвета, обладающий характерным запахом. Это один из сильнейших окислителей, способен окислять все металлы, кроме золота и платиноидов, а также большинство неметаллов. Он оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору и способен разрушать многие присутствующие в воде источника водоснабжения химические вещества техногенного происхождения. Преимущества озона перед хлором при обеззараживании воды следующие: наилучшие органолептические показатели, отсутствие высокотоксичных и канцерогенных продуктов в очищенной воде. Однако существенным недостатком озонирования является токсичность

озона. Ограничениями для распространения технологии озонирования являются высокая стоимость и необходимость качественного оборудования, большой расход электроэнергии.

Применение тяжелых металлов (меди, серебра и др.) для обеззараживания питьевой воды основано на их олигодинамическом свойстве, т. е. способности оказывать бактерицидное действие в малых концентрациях. Серебро – тяжелый металл, имеющий высокую степень опасности для здоровья. Он стоит в одном ряду со свинцом, кобальтом, мышьяком и другими веществами. Как и другие тяжелые металлы, серебро способно накапливаться в организме и вызывать заболевания, например аргироз (отравление серебром). Механизм бактерицидного действия серебра заключается в нарушении работы ферментной системы клетки. Для бактерицидного действия серебра требуются достаточно большие концентрации – около 0,015 мг/л. При малых концентрациях ( $10^{-4} \dots 10^{-6}$  мг/л) оно оказывает только бактериостатическое действие, останавливает рост бактерий, не убивая их. Спорообразующие разновидности микроорганизмов к серебру практически нечувствительны.

Все эти свойства серебра, а также стоимость ограничивают его применение. Такой способ обеззараживания может быть уместен только в целях сохранения исходно чистой воды для длительного хранения, например, на космических кораблях или при розливе бутилированной питьевой воды.

## **2. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

К физическим методам обеззараживания питьевой воды относятся:

- кипячение,
- обеззараживание ультрафиолетом,
- обеззараживание импульсным электрическим разрядом,
- обеззараживание ультразвуком.

Наиболее распространенным и надежным физическим методом обеззараживания воды (в частности, в домашних условиях) является кипячение. При кипячении уничтожается большинство бактерий, вирусов, бактериофагов, антибиотиков и других биологических объектов, которые часто содержатся в открытых водоисточниках, а как следствие, и в системах центрального водоснабжения. Однако применение кипячения в промышленных масштабах не представляется возможным ввиду высокой длительности и стоимости метода.

Процесс обеззараживания УФ-излучением не приводит к изменениям органолептических свойств и состава воды, образованию токсичных побочных про-

дуктов реакции. При УФ-обеззараживании не существует проблемы передозировки, но отсутствует эффект «последствия», так как вода не приобретает бактерицидных свойств, предохраняющих ее от повторного заражения. Преимущества использования УФ-лучей: широкий спектр антимикробного действия, отсутствие опасности передозировки, сохранение органолептических свойств воды, минимальное время контакта (секунды). Недостатками метода являются зависимость бактерицидного эффекта от мутности и цветности обрабатываемой воды и отсутствие оперативного контроля эффективности.

Еще одним перспективным способом обеззараживания питьевой воды является ее обработка импульсными электрическими разрядами (ИЭР). Вода, обработанная ИЭР, приобретает бактерицидные свойства, которые сохраняются до четырех месяцев.

Основным преимуществом данного метода является экологическая чистота. Однако этот способ имеет ряд недостатков, в частности, относительно высокую энергоемкость ( $0,2...1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ ) и, как следствие, дороговизну. Эффективность обеззараживания ИЭР не зависит от вида и концентрации микроорганизмов, мало зависит от состава обрабатываемой воды и определяется техническими параметрами процесса (величиной рабочего напряжения, суммарной плотностью энергии обработки и т. д.).

Ультразвук (УЗ) – это упругие колебания и волны, частота которых выше  $15...20 \text{ кГц}$ . При воздействии ультразвука на жидкость возникают специфические физические, химические и биологические эффекты, такие как кавитация, капиллярный эффект, диспергирование, эмульгирование, дегазация, обеззараживание, локальный нагрев и многие другие. Эффект воздействия УЗ на микроорганизмы зависит от интенсивности УЗ воздействия и может быть диаметрально противоположным. При низких интенсивностях и малых временах воздействия ультразвук может стимулировать активность и рост микроорганизмов. При больших интенсивностях ультразвук подавляет и разрушает микроорганизмы. Длительная обработка воды ультразвуком большой мощности приводит к обеззараживанию. Бактерицидное действие УЗ в основном связано с кавитацией. Кавитация – это возникновение в жидкости массы пульсирующих газовых пузырьков. При воздействии УЗ-колебаниями в течение всего отрицательного полупериода давления и части положительного наблюдается рост кавитационного пузырька до некоторого максимального размера. Затем пузырек захлопывается, создавая ударные волны с импульсным давлением до нескольких тысяч атмосфер и температурой до  $5000 \text{ К}$ . Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, то она разрушает его поверхность. Кроме того, в кавитационном пузырьке возникают активные радикалы (например, радикал  $\text{OH}$ , являющийся сильнейшим окислителем). Кавитация возникает при интенсивностях звукового поля выше порогового

значения  $0,3 \dots 1 \text{ Вт/см}^2$ . Увеличение частоты приводит к повышению порогового значения интенсивности, соответствующего началу кавитации. С ростом частоты УЗ размеры пузырьков уменьшаются, а их количество растет. При частоте 30 кГц характерный размер кавитационных пузырьков составляет 100 мкм. Чем ниже частота, тем легче получить кавитацию и тем более агрессивное воздействие оказывает последняя на обрабатываемый объект, поэтому во многих устройствах используют УЗ с частотой 20...22 кГц. Для обеззараживания необходима интенсивность УЗ более  $2 \text{ Вт/см}^2$  при частоте 20...50 кГц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, самым оптимальным методом для дезинфекции питьевой воды в промышленных масштабах является обеззараживание воды ультразвуком. Данный метод не зависит от мутности и цветности воды, не требует длительного воздействия и в отличие от химических методов является наиболее безопасным методом обеззараживания питьевой воды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Журавлевич Н.Е.* Обеззараживание питьевой воды: методические рекомендации / Белорусский государственный медицинский университет. – Минск: БГМУ, 2017. – 26 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / гл. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. *Мазаев В.Т., Ильницкий А.П., Шлепнина Т.Г.* Руководство по гигиене питьевой воды и питьевого водоснабжения. – М.: Медицинское информационное агентство, 2008. – 320 с.
4. СанПин 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
5. *Алексеев С.Е.* Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод // Водочистка. – 2007. – № 2. – С. 23–27.
6. *Потапченко Н.Г., Савчук О.С.* Использование ультрафиолетового излучения в практике обеззараживания воды // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13, № 12. – С. 1117–1129.
7. *Шевченко М.А., Таран П.Н.* Возможности использования хлора для очистки природных и сточных вод // Химия и технология воды. – 1984. – Т. 6, № 6. – С. 537–546.

**Чеглаков Степан Константинович**, магистрант факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: StepoS96@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-75-81

## Research and choice of methods for disinfection of drinking water\*

**S.K. Cheglakov**

630073, Russian Federation, Novosibirsk, Karl Marx Ave. 20, Novosibirsk State Technical University, student. E-mail: StepoS96@mail.ru

This article describes the main methods of disinfection of drinking water and the choice of the most optimal method for disinfection on an industrial scale. The main criteria for the quality of drinking water, formulated in the middle of the twentieth century, are as follows: drinking water should be safe in the epidemic respect, harmless in chemical composition and have favorable organoleptic properties. These criteria are currently accepted worldwide. Disinfection of water using chlorine is most common among other chemical disinfection methods. The use of chlorination requires special safety measures, since chlorine is a potent toxic substance. Ozone is one of the strongest oxidizing agents, capable of oxidizing all metals except gold and platinum, as well as most non-metals. It has a bactericidal effect on pathogenic microflora and is capable of destroying many chemicals of technogenic origin present in the water of the water supply source. In oligodynamics, heavy metals are used to disinfect water. They are able to have a bactericidal effect in low concentrations. Among the physical methods of disinfecting drinking water, the most widely known method is boiling. When boiling, most bacteria, viruses, bacteriophages, antibiotics are destroyed. Ultraviolet disinfection does not lead to changes in the organoleptic properties and composition of water, the formation of toxic reaction by-products. When disinfecting water using a pulsed electric discharge, the water acquires bactericidal properties that last up to 4 months. When ultrasound acts on a liquid, specific physical, chemical, and biological effects arise, such as cavitation, capillary effect, dispersion, emulsification, degassing, disinfection, and local heating.

**Keywords:** disinfection, disinfection, drinking water, method, ultrasound, ultraviolet, chlorination, ozonation, oligodynamia, pulsed electric discharge, boiling

## REFERENCES

1. Zhuravlevich N.E. *Obezrazhivanie pit'evoi vody: metodicheskie rekomendatsii* [Disinfection of drinking water]. Minsk, Belarusian State Medical University Publ., 2017. 26 p.

---

\* Received 16 August 2019.



2. Golyamina I.P., ed. *Ul'trazvuk. Malen'kaya entsiklopediya* [Ultrasound. Little encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1979. 400 p.
3. Mazaev V.T., Il'nitskii A.P., Shlepnina T.G. *Rukovodstvo po gigiene pit'evoy vody i pit'evogo vodosnabzheniya* [Guidelines for the hygiene of drinking water and drinking water supply]. Moscow, Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo Publ., 2008. 320 p.
4. SanPin 10-124 RB 99. *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva* [Sanitary Rules and Norms 10-124 RB 99. Drinking water. Hygiene requirements for water quality of centralised water supply systems. Quality control].
5. Alekseev S.E. Primenenie ozonirovaniya dlya intensivatsii protsessov ochestki prirodnykh i stochnykh vod [The use of ozonation to intensify the processes of purification of natural and waste waters]. *Vodoochistka – Water Purification*, 2007, no. 2, pp. 23–27.
6. Potapchenko N.G., Savchuk O.S. Ispol'zovanie ul'trafiol'tovogo izlucheniya v praktike obezrazhivaniya vody [Application of ultra-violet radiation in practice of water disinfection]. *Khimiya i tekhnologiya vody – Journal of Water Chemistry and Technology*, 1991, vol. 13, no. 12, pp. 1117–1129. (In Russian).
7. Shevchenko M.A., Taran P.N. Vozmozhnosti ispol'zovaniya khloro dlya ochestki prirodnykh i stochnykh vod [The possibilities of using chlorine for the purification of natural and waste waters]. *Khimiya i tekhnologiya vody – Soviet Journal of Water Chemistry and Technology*, 1984, vol. 6, no. 6, pp. 537–546. (In Russian).

Для цитирования:

Чеглаков С.К. Исследование и выбор методов для дезинфекции питьевой воды // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 2 (95). – С. 75–81. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-75-81.

For citation:

Cheglakov S.K. Issledovanie i vybor metodov dlya dezinfektsii pit'evoy vody [Research and choice of methods for disinfection of drinking water]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 2 (95), pp. 75–81. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-2-75-81.

## **ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

### **УСЛОВИЯ ПРИЕМА СТАТЕЙ**

В редакцию **Сборника научных трудов НГТУ** представляются следующие материалы.

1. Статья объемом 8–12 страниц от аспирантов и 16–22 страницы от докторантов, печатная версия – два экземпляра, подписанных авторами (требования к оформлению см. на сайте: <http://sbornik.infoterra.ru>).

2. Контактная информация (телефоны, адреса электронной почты, место работы, должность, ученая степень, ученое звание автора) – печатная версия, два экземпляра.

3. Описание статьи для базы данных «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)» – печатная версия, один экземпляр (<http://sbornik.infoterra.ru>).

4. Электронная версия статьи, контактной информации, описание статьи для базы данных РИНЦ, реферат на англ. языке – в отдельных файлах на CD.

5. Рецензия объемом одна-две страницы в двух экземплярах.

6. Экспертное заключение о возможности опубликования.

Информацию о сборнике, дополнительную информацию, документацию по оформлению см. на сайте: <http://sbornik.infoterra.ru>  
[journals.nstu.ru/sbornik](http://journals.nstu.ru/sbornik)

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗДЕЛЫ СБОРНИКА**

Автоматическое управление (и идентификация)

Моделирование процессов и устройств

Обработка информации

Современные информационные технологии

Электроэнергетика, электромеханика и электротехнологии

Механика (гидрогазодинамика)

Физика и математика

Материаловедение

Сообщения и дискуссии

Педагогика

**Авторы, не являющиеся сотрудниками НГТУ, представляют сопроводительное письмо на имя проректора по научной работе НГТУ.**

Все рукописи рецензируются, по результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материалов.

Плата за публикацию рукописей не взимается.