

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

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

№ 1 (94)

2019

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Гринкевич В.А. Синтез регулятора температуры для элемента Пельтье 7

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ильин А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для изучения алгоритмов распознавания лиц 32

Омельяненко Е.А. Разработка системы рекомендации и автоматизации развертывания программного обеспечения на удаленных терминалах..... 42

Паршин С.Е. Исследование параметров алгоритмов распознавания лиц . 55

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Бобоев Ш.А. Использование метода LS-SVM для изучения процесса комплексообразования переходных металлов с производными тиомочевины в водных и водно-органических растворах 71

Бобоев Ш.А. Применение метода LS-SVM для анализа выборок LIDAR и Motorcycle..... 85

Карауш А.С. Обзор и анализ методов повышения разборчивости речи в акустоэлектрических каналах утечки информации 100

ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

Селезнев В.А., Бектемиров И.Т. О статистике Гаусса–Кузьмина для цепных дробей 114

СООБЩЕНИЯ

Заворина Л.Д., Селифанов В.В. Разработка системы защиты информации значимого объекта критической инфраструктуры Российской Федерации 123

Зырянова Е.В., Белов В.М., Косов Д.Л. Применение алгоритма оценки качества нормативных правовых актов на примере оценки качества государственных стандартов в области информационной безопасности телекоммуникационных систем 132

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

Лицензия № ИД 04303 от 20.03.01. Подписано в печать 02.07.2019
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз. Уч.-изд. л. 8,37
Печ. л. 9,0. Изд. № 129. Заказ № 1061. 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

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

© Authors, 2019

© Novosibirsk State

Technical University, 2019

CONTENTS

AUTOMATIC CONTROL AND IDENTIFICATION

Grinkevich V.A. Temperature controller design for Peltier element.....	7
-------------------------------------------------------------------------------	---

MODERN INFORMATIONAL TECHNOLOGIES

Ilyin A.A. Development of software-hardware complex for the study of face recognition algorithms	32
Omelyanenko E.A. Developing a system for recommending and automating software deployment to remote terminals.....	42
Parshin S.E. Research of parameters of face recognition algorithms	55

INFORMATION PROCESSING

Boboev Sh.A. Using the LS–SVM method to study the process of complexation of transition metals with thiourea derivatives in aqueous and aqueous-organic solutions.....	71
Boboev Sh.A. The application of the LS–SVM method for the analysis of LIDAR and Motorcycle samples	85
Karaush A.S. Review and analysis of methods for enhancing speech intelligibility through acoustoelectric channels of information leakage	100

PHYSICS AND MATHEMATICS

Bektemirov I.T., Seleznev V.A. About statistics of Gauss–Kuzmin for chain cracks	114
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

SHORT PAPERS

Zavorina L.D., Selifanov V.V. Development of the system of protection of information of a significant object of critical infrastructure of the Russian Federation	123
Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L. Application of the algorithm for quality assessment of normative legal acts on the example of quality assessment of state standards in the field of information security of telecommunication systems	132

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

License № ID 04303 from 20.03.01. Signed in print 02.07.2019. Format 60 × 84/16
Offset Paper. Circulation is 300 copies. Educational-ed. liter. 8,37. printed pages 9,0.
Publishing number 129. Order number 1061.

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

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

УДК 536.5: 62-97: 519.7

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-7-31

**СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ***

В.А. ГРИНКЕВИЧ

630501, РФ, Новосибирская область, Новосибирский район, п. Краснообск, а/я 468, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, младший научный сотрудник. E-mail: grinkevich-vova@mail.ru

Управляемые термостаты и формирователи температурных профилей применяются в научных исследованиях, управлении скоростью химических реакций, термостабилизации ПЗС-матриц, стабилизации длины волны лазера, хранении продуктов питания, лекарств. Существуют термостаты и формирователи температурных профилей разных размеров, мощностей, конструкций. Преимуществом элемента Пельтье является его малая масса, небольшие геометрические размеры, простота конструкции. Однако элемент Пельтье имеет низкий КПД, меньшую мощность по сравнению с компрессорным холодильным контуром, а также меньший допустимый температурный диапазон по сравнению с резистивным нагревательным элементом. Элемент Пельтье может обеспечить температуру в термостате выше температуры окружающей среды или ниже. Обычно элементы Пельтье применяются в устройствах небольшой мощности, где есть ограничения в размерах и массе (например, в автомобильных холодильниках, в термостатах для транспортировки биоматериалов в небольших количествах, при исследовании биофизических объектов). Устройства на основе элемента Пельтье применяются для теплового массажа кожи человека, теплового воздействия на растения. С целью поддержания стабильной температуры и обеспечения высокой точности требуется использовать регулятор температуры для термостата на основе элемента Пельтье. Управляющим воздействием для элемента Пельтье является ток, величина которого влияет на температуру внутри термостата. В статье обсуждается методика синтеза регулятора температуры. В качестве входного воздействия рассматривается скачкообразный и трапецидальный температурный профиль. Расчет регулятора температуры основан на применении метода разделения движений. Приведены результаты численного моделирования системы управления температурой. Предполагаемая система управления температурой для элемента Пельтье может быть использована в формирователях температурных воздействий на биофизические объекты.

Ключевые слова: термостат, формирователь температурного профиля, элемент Пельтье, регулятор температуры, метод разделения движений, нелинейная система, математическая модель, численное моделирование

* Статья получена 24 декабря 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Элементы Пельтье [1] применяют для конструирования термостатов малой мощности [2], формирователей температурных воздействий на растения [3], термостатирования лазеров, ПЗС-матриц и биоматериалов [4]. Также элементы Пельтье применяются в формирователях температурного профиля, массажерах кожи человека, водяных кулерах и термоэлектрических холодильниках [5]. Управляемым фактором термостата или формирователя температурного профиля является температура его внутренней части. Поскольку элемент Пельтье может быть применен для поддержания стабильной температуры и формирования скачкообразного или непрерывного температурного профиля, возникает необходимость синтеза следящего, стабилизирующего или следящего с дополнительной инерционностью на входе регулятора.

Для измерения температуры внутри термостата применяют датчики температуры. С целью обеспечения требуемой точности и заданного качества переходных процессов необходимо выполнить синтез регулятора температуры.

Особенностью элемента Пельтье является его нелинейная динамическая характеристика, нестационарность параметров и отсутствие полной информации. В силу этого в работе применен метод разделения движений [6, 7]. В настоящей статье обсуждаются основные этапы синтеза и приведены результаты численного моделирования процессов в системе управления. Предполагаемая система управления температурой для элемента Пельтье может быть использована в формирователях температурных воздействий на биофизические объекты [8].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе в качестве объекта управления рассматривается исполнительная часть формирования температурных воздействий (ИЧФТВ), которая включает в себя элемент Пельтье, теплопровод, объект тепловой обработки, радиатор.

Целью работы является расчет регулятора температуры для управляемого термостата на основе элемента Пельтье и численное моделирование системы управления. Общими требованиями для всех рассматриваемых вариантов является обеспечение нулевого перерегулирования, нулевой статической ошибки и заданного времени переходного процесса. Схема ИЧФТВ показана на рис. 1.

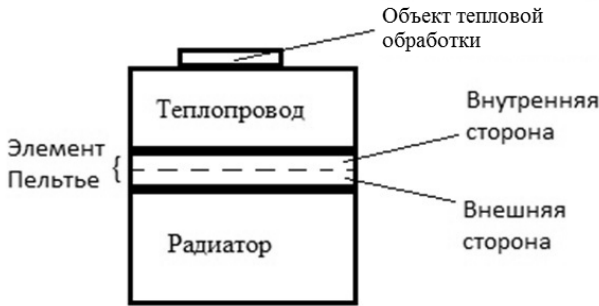


Рис. 1. Схема ИЧФТВ

В настоящей статье сторона элемента Пельтье, воздействующая на объект тепловой обработки, названа внутренней, противоположная ей сторона – внешней. Внутренняя сторона элемента Пельтье, теплопровод, объект тепловой обработки составляют внутреннюю часть ИЧФТВ; внешняя сторона элемента Пельтье и радиатор – внешнюю часть ИЧФТВ. Управляемой величиной является температура внутренней части ИЧФТВ. Схема системы управления приведена на рис 2.

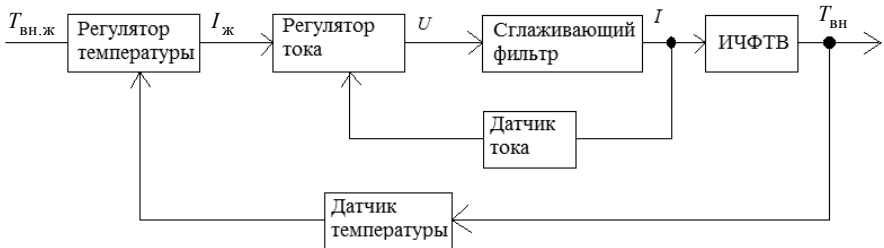


Рис. 2. Функциональная схема системы регулирования температуры

Для эффективного регулирования температуры рассматривается двухконтурная система управления, где процессы в контуре тока протекают значительно быстрее. Поэтому инерционностью контура управления током пренебрегаем при синтезе алгоритма управления для контура регулирования температуры.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ТЕРМОСТАТА

В работе [1] выведена математическая модель термостата на основе элемента Пельтье. Такая модель подходит и для формирователей температурных профилей на основе элемента Пельтье:

$$\frac{dT_{\text{вн}}}{dt} = \frac{\alpha IT_{\text{вн}}}{C_{\text{вн}}} + \frac{0,5I^2 R_{\text{эП}}}{C_{\text{вн}}} - \frac{\gamma T_{\text{вн}}}{C_{\text{вн}}} + \frac{\gamma T_{\text{внеш}}}{C_{\text{вн}}} + \frac{k_{\text{т.о вн}}(T_{\text{о.с}} - T_{\text{вн}})}{C_{\text{вн}}} + \frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{вн}}}; \quad (1)$$

$$\frac{dT_{\text{внеш}}}{dt} = -\frac{\alpha IT_{\text{внеш}}}{C_{\text{внеш}}} + \frac{0,5I^2 R_{\text{эП}}}{C_{\text{внеш}}} + \frac{\gamma T_{\text{вн}}}{C_{\text{внеш}}} - \frac{\gamma T_{\text{внеш}}}{C_{\text{внеш}}} + \frac{k_{\text{т.о внеш}}(T_{\text{о.с}} - T_{\text{внеш}})}{C_{\text{внеш}}},$$

где $T_{\text{вн}}$ – температура внутренней части устройства; t – время; α – коэффициент Зеебека; I – протекаемый через элемент Пельтье ток; $C_{\text{вн}}$ – теплоемкость внутренней части устройства; $R_{\text{эП}}$ – электрическое сопротивление элемента Пельтье; γ – термическая проводимость элемента Пельтье; $T_{\text{внеш}}$ – температура внешней части элемента Пельтье; $k_{\text{т.о вн}}$ – термическая проводимость перехода «внутренняя часть – окружающая среда»; $k_{\text{т.о внеш}}$ – термическая проводимость перехода «внешняя сторона элемента Пельтье – окружающая среда»; $T_{\text{о.с}}$ – температура окружающей среды; $C_{\text{внеш}}$ – теплоемкость внешней части. При этом полагается, что термическая проводимость внутренней части достаточно большая, температура в ней распространяется быстро, внутреннюю часть считаем равномерно нагретой.

Параметры математической модели (1), используемые при расчете коэффициентов регулятора и численном моделировании, приведены в таблице.

Параметры при численном моделировании

α , В/К	γ , Вт/К	$R_{\text{эП}}$, Ом	$C_{\text{вн}}$, Дж/К	$C_{\text{внеш}}$, Дж/К	$P_{\text{н}}$, Вт	$T_{\text{о.с}}$, К
0.081	2.1	1.25	45	276	0	293.15

Продолжение таблицы

$T_{\text{вн.нач}}$, К	$T_{\text{внеш.нач}}$, К	k_{00} , Вт/К	k_{01} , Вт/К ²	k_{10} , Вт/К	k_{11} , Вт/К
293.15	293.15	0.01	0.0001	3	0.003

При этом имеют место следующие выражения:

$$k_{T.O \text{ ВН}} = k_{01} |T_{O.C} - T_{ВН}| + k_{00},$$

$$k_{T.O \text{ ВНЕШ}} = k_{11} |T_{O.C} - T_{ВНЕШ}| + k_{10}.$$

Из уравнений (1) видно, что данная модель является нелинейной, управляющим фактором является ток I , управляемой величиной – температура $T_{ВН}$. Результаты работы [1] показывают, что тепловые процессы без регулятора внутри термостата носят аperiodический характер.

Преобразуем первое уравнение системы (1) к виду

$$\frac{dT_{ВН}}{dt} = \left(\frac{\alpha T_{ВН}}{C_{ВН}} + \frac{0,5IR_{\Sigma\Pi}}{C_{ВН}} \right) I + \frac{\gamma(T_{ВНЕШ} - T_{ВН})}{C_{ВН}} + \frac{P_{Н}}{C_{ВН}} + \frac{k_{T.O \text{ ВН}}(T_{O.C} - T_{ВН})}{C_{ВН}}. \quad (2)$$

Представим (2) в виде

$$\frac{dT_{ВН}}{dt} = g(T_{ВН}, I)I + q(T_{ВН}, T_{ВНЕШ}, P_{Н}, T_{O.C}), \quad (3)$$

где

$$g = \frac{\alpha T_{ВН}}{C_{ВН}} + \frac{0,5IR_{\Sigma\Pi}}{C_{ВН}}. \quad (4)$$

$$q = \frac{\gamma(T_{ВНЕШ} - T_{ВН})}{C_{ВН}} + \frac{P_{Н}}{C_{ВН}} + \frac{k_{T.O \text{ ВН}}(T_{O.C} - T_{ВН})}{C_{ВН}}.$$

В рабочей области функции $g(\cdot)$, $q(\cdot)$ и их производные по времени являются ограниченными.

3. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ

При синтезе регулятора необходимо учитывать динамические свойства объекта управления, чтобы обеспечить точность и устойчивость системы управления. Существуют различные методы синтеза и настройки регуляторов: частотный метод, модальный метод, метод разделения движений, метод

локализации, процедура Циглера–Никольса, метод численной оптимизации. Особенностью элемента Пельтье является нестационарность параметров и отсутствие полной информации о параметрах, нелинейность динамической характеристики для процессов по температуре. Кроме того, имеются возмущающие факторы: теплообмен с окружающей средой и внешней стороной элемента Пельтье. Частотный и модальный метод применяются только для линейных объектов. Метод локализации не дает астатизма и требует вычисления производной такого же порядка, как и порядок объекта, что усиливает высокочастотные шумы. Поэтому наиболее подходящим является метод разделения движений. Для синтеза нелинейных систем возможно применение линеаризации обратными связями [9]. При синтезе регулятора методом разделения движений для объекта первого порядка получим структуру алгоритма управления в виде ПИ-регулятора [6]. При формировании непрерывного температурного профиля в работе используется следящий ПИ-регулятор. При формировании скачкообразного профиля или поддержания стабильной температуры предлагается использовать стабилизирующий ПИ-регулятор [6] или следящий с дополнительной инерционностью на входе.

3.1. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ПИ-РЕГУЛЯТОРА

Замкнутая система управления температурой описывается следующей системой уравнений, в которой второе уравнение является уравнением ПИ-регулятора:

$$\begin{cases} \dot{T}_{\text{вн}} = g(\cdot)I + q(\cdot), \\ \mu \dot{I} = k_0 \left(T^{-1} \cdot (T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) - \dot{T}_{\text{вн}} \right), \end{cases} \quad (5)$$

где k_0 – общий множитель коэффициентов регулятора; T – желаемая постоянная времени переходного процесса по температуре; $T_{\text{вн.ж}}$ – желаемая температура внутренней части устройства.

Подставляя правую часть первого уравнения системы (5) вместо $\dot{T}_{\text{вн}}$ во втором уравнении системы (5), получаем выражение

$$\mu \dot{I} = k_0 \left(T^{-1} (T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) - g(\cdot)I - q(\cdot) \right). \quad (6)$$

Уменьшение параметра μ приводит к формированию быстрых процессов по сигналу I и медленных процессов по сигналу $T_{\text{вн}}$, при этом $\mu > 0$.

Введем быстрое время $t_f = t / \mu$. В таком случае уравнение (6) можно записать для быстрого времени в виде

$$\frac{dI}{dt_f} = k_0 \left(T^{-1}(T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) - g(\cdot)I - q(\cdot) \right). \quad (7)$$

Функция $q(\cdot)$ не зависит от тока, но зависит от переменных $T_{\text{вн}}$, $T_{\text{внеш}}$, $T_{\text{о.с}}$, $P_{\text{н}}$, которые в быстром времени рассматриваются как постоянные. Таким образом, в быстром времени $q(\cdot)$ тоже является постоянной величиной.

Преобразуем (7) к виду

$$\frac{dI}{dt_f} = -k_0 g(\cdot)I + \rho,$$

где

$$\rho = k_0 \left(T^{-1}(T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) - q(\cdot) \right).$$

Поскольку ρ содержит только постоянные в быстром времени величины, то и рассматривается также постоянной величиной в быстром времени.

Для элемента Пельтье «ТВ-199-1,4-0.6» допустим диапазон токов от $-15,1$ до $15,1$ А. С помощью численного моделирования процессов по температуре ИЧФТВ построим график зависимости $g(\cdot)$ от тока I (рис. 3).

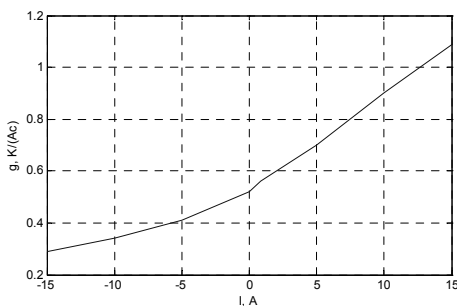


Рис. 3. График зависимости $g(\cdot)$ от тока I

Поскольку $g(\cdot) > 0$ (рис. 3) в допустимом диапазоне тока I , то можно выбрать номинальный ток, для которого рассчитать $g_{\text{ном}}$. После расчета $g_{\text{ном}}$

выбрать k_0 такой, чтобы контур быстрых движений был устойчивым, например $k_0 = 1 / g_{\text{ном}}$. С этой целью выберем номинальную температуру внутренней части, равную 303,15 К (30 °С), для которой при параметрах, приведенных в табл. 1, номинальный ток равен 0,86 А. Для $T_{\text{вн}} = 30$ °С и $I = 0,86$ А по формуле (4) $g_{\text{ном}} = 0,56$.

Преобразуем второе уравнение системы (5) в операторную форму:

$$\mu p I = k_0 \left(T^{-1} (T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) - p T_{\text{вн}} \right).$$

Выражая I , получим

$$I = k_0 \left(\frac{(T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}})}{\mu T p} - \frac{T_{\text{вн}}}{\mu} \right). \quad (8)$$

Полученное выражение соответствует структуре ПИ-регулятора, для которого коэффициенты рассчитываются по следующим формулам:

$$k_p = \frac{k_0}{\mu}, \quad k_I = \frac{k_0}{\mu T}. \quad (9)$$

Структурная схема регулятора, описываемая формулой (8), изображена на рис. 4. Для расчета параметра μ выберем степень разделения движений $\eta = 10$ и рассчитаем μ по формуле

$$\mu = \frac{T}{\eta}.$$

Выберем желаемую постоянную времени $T = 4$ с, для которой $\mu = 0,4$ с, $k_p = 1,4$, $k_I = 0,35$.

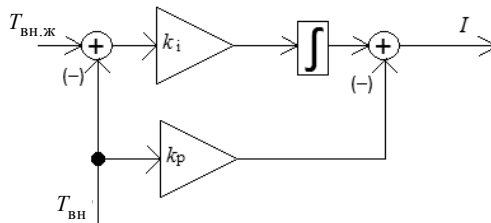


Рис. 4. Структурная схема стабилизирующего ПИ-регулятора

3.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ СЛЕДЯЩЕГО ПИ-РЕГУЛЯТОРА

Замкнутая система управления температурой описывается следующей системой уравнений, в которой второе уравнение является уравнением следящего ПИ-регулятора:

$$\begin{cases} \dot{T}_{\text{ВН}} = g(\cdot)I + q(\cdot), \\ \mu \dot{I} = k_0(T^{-1}e + \dot{e}), \end{cases} \quad (10)$$

где e – ошибка регулирования; T – желаемая постоянная времени по ошибке регулирования.

Учитывая, что $e = T_{\text{ВН.Ж}} - T_{\text{ВН}}$ и $\dot{e} = \dot{T}_{\text{ВН.Ж}} - \dot{T}_{\text{ВН}}$, из системы уравнений (10) получим

$$\begin{cases} \dot{T}_{\text{ВН}} = g(\cdot)I + q(\cdot), \\ \mu \dot{I} = k_0(T^{-1}e + \dot{T}_{\text{ВН.Ж}} - \dot{T}_{\text{ВН}}). \end{cases} \quad (11)$$

Подстановка правой части первого уравнения системы (11) на место второго $\dot{T}_{\text{ВН}}$ во втором уравнении этой системы даст следующее уравнение:

$$\mu \dot{I} = k_0(T^{-1}e + \dot{T}_{\text{ВН.Ж}} - g(\cdot)I + q(\cdot)). \quad (12)$$

При этом предполагается, что $\dot{T}_{\text{ВН.Ж}}$ ограничена некоторой величиной.

Введем быстрое время $t_f = t / \mu$. В таком случае уравнение (12) для быстрого времени можно записать в виде

$$\frac{dI}{dt_f} = k_0(T^{-1}e + \dot{T}_{\text{ВН.Ж}} - g(\cdot)I - q(\cdot)). \quad (13)$$

Функция $q(\cdot)$ зависит от переменных $T_{\text{ВН}}$, $T_{\text{Внеш}}$, $T_{0,с}$, $P_{\text{н}}$, которые в быстром времени рассматриваются как постоянные величины. Таким образом, в быстром времени $q(\cdot)$ тоже является постоянной величиной. При этом $\dot{T}_{\text{ВН.Ж}}$ и e на интервале переходных процессов подсистемы быстрых движений рассматриваются как постоянные величины.

Запишем (13) в виде

$$\frac{dI}{dt_f} = -k_0 g(\cdot) I + \rho,$$

где

$$\rho = k_0 \left(T^{-1} (T_{\text{вн.ж}} - T_{\text{вн}}) + \dot{T}_{\text{вн.ж}} - q(\cdot) \right).$$

Поскольку ρ содержит только постоянные члены в быстром времени, то также рассматривается постоянной величиной в быстром времени.

Так как $g(\cdot)$ в допустимом диапазоне токов I является знакопостоянной (рис. 3), то при номинальной температуре $T_{\text{вн}}$ можно выбрать $g_{\text{ном}}$ и рассчитать коэффициент k_0 , как описано в разделе 3.1.

Запишем второе уравнение системы (10) в операторной форме:

$$\mu p I = k_0 (T^{-1} e + p e),$$

из которого выразим ток I :

$$I = k_0 \left(\frac{1}{\mu T p} + \frac{1}{\mu} \right) e. \quad (14)$$

Уравнение (14) описывает ПИ-регулятор, коэффициенты которого имеют вид (9).

Структурная схема ПИ-регулятора, описываемая уравнением (14), изображена на рис. 5.

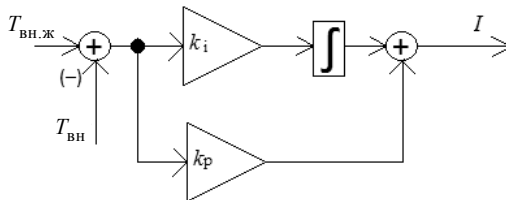


Рис. 5. Структурная схема следящего ПИ-регулятора

В силу инерционности элемента Пельтье при подаче желаемого скачкообразного температурного профиля на вход следящего регулятора возникает

нехватка ресурса управления, из-за чего переходные процессы не будут соответствовать требованиям. Для решения этой задачи необходимо скачкообразный температурный профиль подавать на вход регулятора через аperiodическое звено (рис. 6), постоянная времени которого равна желаемой постоянной времени T .

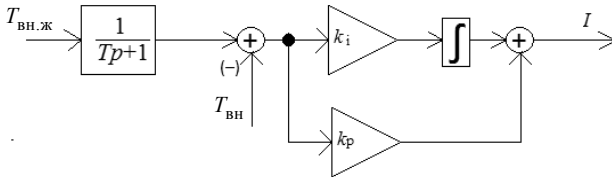


Рис. 6. Структурная схема следящего ПИ-регулятора с аperiodическим звеном на входе

3.3. РАСЧЕТ КОМПЕНСАТОРА ИНЕРЦИОННОСТИ

Полагая, что температурный датчик является аperiodическим звеном, передаточная функция датчика имеет вид

$$W_{\text{сен}}(p) = \frac{1}{T_{\text{сен}}p + 1}.$$

Для компенсации инерционности аperiodического звена нужно применить форсирующее звено, но поскольку идеальное форсирующее звено нереализуемо и в реальных системах имеются шумы, знаменатель передаточной функции компенсатора инерционности содержит фильтрующий полином A_f на порядок выше полинома числителя компенсирующего звена. Для расчета постоянной времени T_f фильтрующего полинома нужно применить метод разделения движений. Причем постоянная времени T_f должна быть больше максимальной постоянной времени шумов в 10 и более раз. Таким образом, передаточная функция компенсатора инерционности рассчитывается по формулам:

$$W_{CI}(p) = \frac{W_{\text{сен}}^{-1}(p)}{A_f(p)}, \quad W_{CI}(p) = \frac{T_{\text{сен}}p + 1}{T_f^2 p^2 + 2T_f p + 1}.$$

Постоянная времени T_f рассчитывается по формуле

$$T_f = \min(T_d, T_{\text{sen}}) / 10 .$$

При численном моделировании выберем постоянную времени $T_{\text{sen}} = 2$ с и $T_f = 0,2$ с. Выполним численное моделирование с инерционным датчиком при желаемой постоянной времени $T_d = 4$ с и $T_d = 10$ с. Коэффициенты регулятора при постоянной времени $T_d = 4$ с равны $k_p = 1,4$, $k_I = 0,35$, а при $T_d = 10$ с равны $k_p = 0,56$, $k_I = 0,056$. Структурная схема системы с компенсатором инерционности показана на рис. 7.



Рис. 7. Функциональная схема системы регулирования температуры с компенсатором инерционности

4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

График изменения температуры окружающей среды.

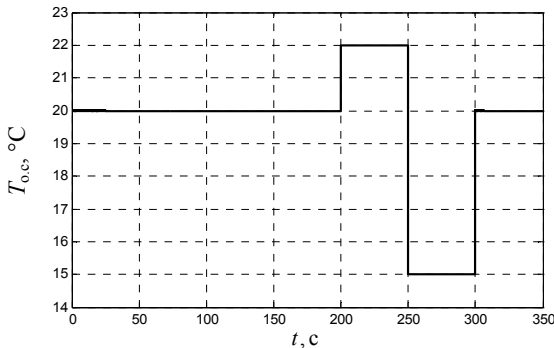


Рис. 8. График изменения температуры окружающей среды

4.1. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ БЕЗ УЧЕТА ИНЕРЦИОННОСТИ ДАТЧИКА

Переходные процессы соответствуют требованиям (рис. 9, 12). Сигнал по току (рис. 11, 14) не имеет пульсаций в установившемся режиме и не достигает ограничения, т. е. модуль тока не превышает 15,1 А. При непрерывном желаемом температурном профиле имеется заметная скоростная ошибка (рис. 12).

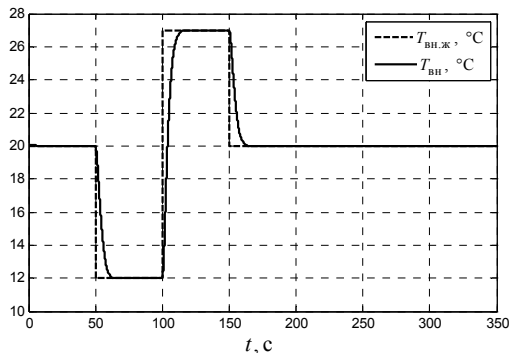


Рис. 9. Переходные процессы по температуре при желаемом скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

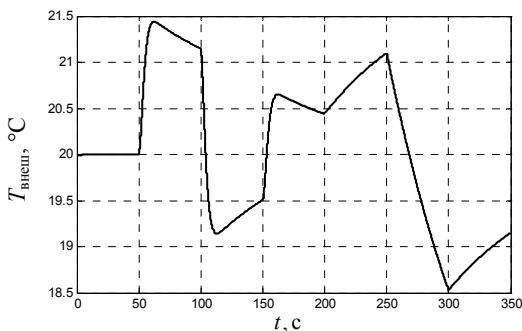


Рис. 10. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при желаемом скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

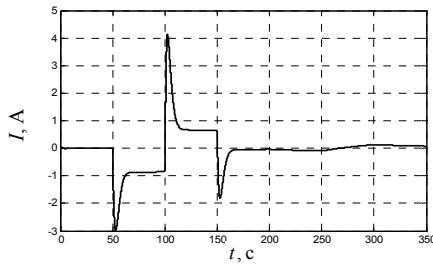


Рис. 11. Переходные процессы по току при желаемом скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

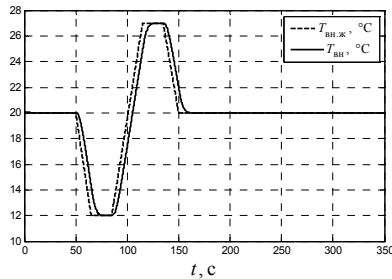


Рис. 12. Переходные процессы по температуре при желаемом непрерывном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

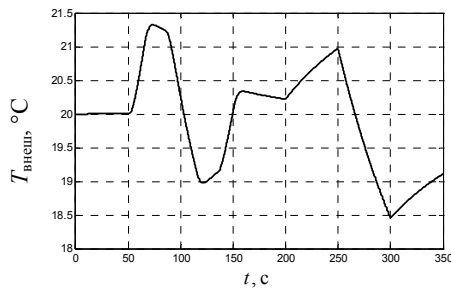


Рис. 13. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при желаемом непрерывном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

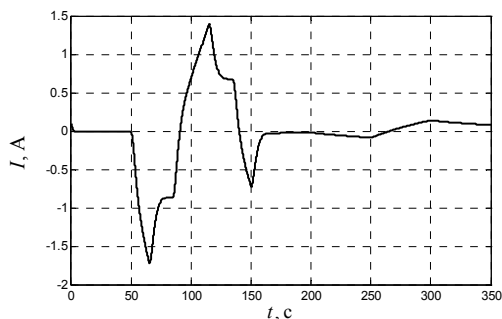


Рис. 14. Переходные процессы по току при желаемом непрерывном температурном профиле со стабилизирующим регулятором без учета инерционности датчика

4.2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СО СЛЕДЯЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ БЕЗ УЧЕТА ИНЕРЦИОННОСТИ ДАТЧИКА

Переходные процессы по температуре (рис. 15) для скачкообразного профиля не соответствуют требованиям, и сигнал по току (рис. 17) достигает ограничения. Для непрерывного температурного профиля переходные процессы по температуре (рис. 18) соответствуют требованиям, и скоростная ошибка значительно меньше, чем для стабилизирующего регулятора. Сигнал по току при непрерывном температурном профиле не достигает ограничения (рис. 20).

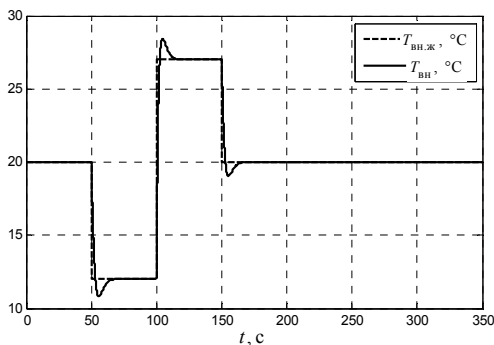


Рис. 15. Переходные процессы по температуре при желаемом скачкообразном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

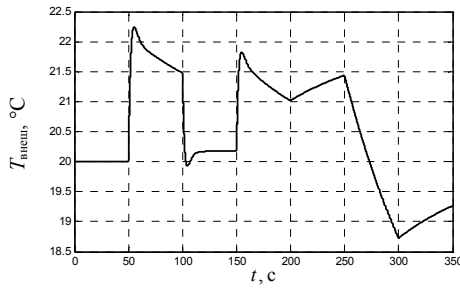


Рис. 16. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при желаемом скачкообразном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

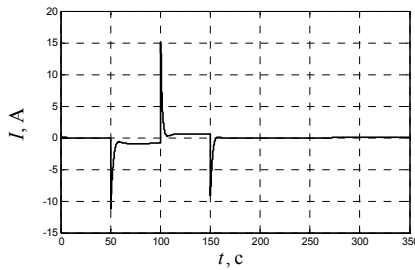


Рис. 17. Переходные процессы по току при желаемом скачкообразном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

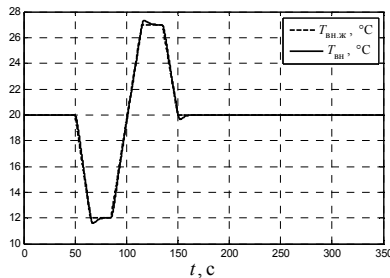


Рис. 18. Переходные процессы по температуре при желаемом непрерывном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

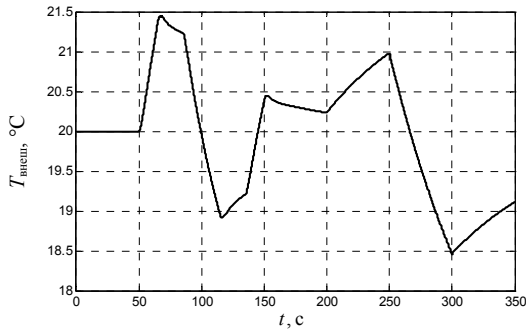


Рис. 19. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при желаемом непрерывном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

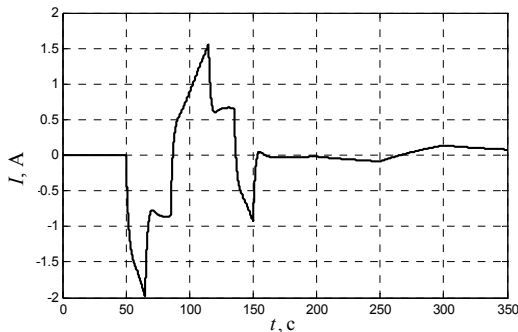


Рис. 20. Переходные процессы по току при желаемом непрерывном температурном профиле со следящим регулятором без учета инерционности датчика

4.3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ И ИНЕРЦИОННЫМ ДАТЧИКОМ БЕЗ КОМПЕНСАТОРА ИНЕРЦИОННОСТИ ДАТЧИКА С $T_d = 10$ с

Переходные процессы моделирования по температуре (рис. 21) соответствуют требованиям. В переходных процессах по току (рис. 23) имеется несколько колебаний, но если желаемая постоянная времени в 10 раз превысит постоянную времени датчика температуры, этих колебаний не будет.

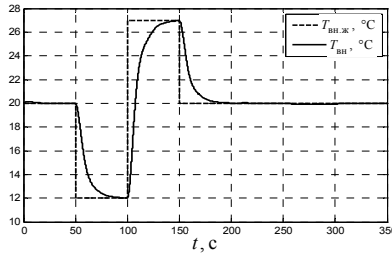


Рис. 21. Переходные процессы по температуре при скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 10$ с

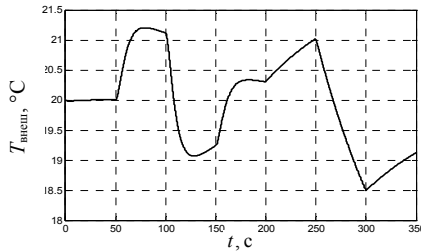


Рис. 22. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при желаемом скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 10$ с

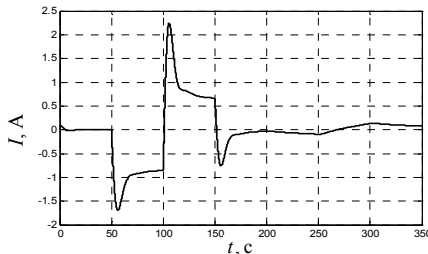


Рис. 23. Переходные процессы по току при скачкообразном температурном профиле со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 10$ с

4.4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ И ИНЕРЦИОННЫМ ДАТЧИКОМ БЕЗ КОМПЕНСАТОРА ИНЕРЦИОННОСТИ ДАТЧИКА С $T_d = 4$ с

Переходные процессы моделирования по температуре (рис. 24) представляют собой затухающие колебания. Переходные процессы по току (рис. 26) имеют колебательный характер.

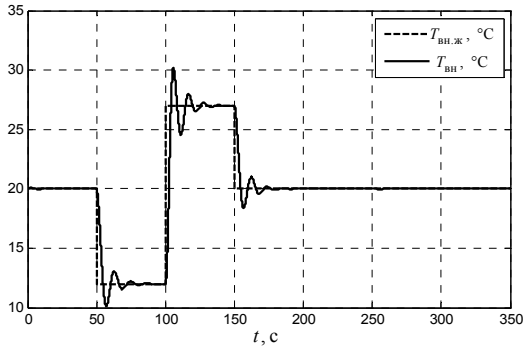


Рис. 24. Переходные процессы по температуре при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 4$ с

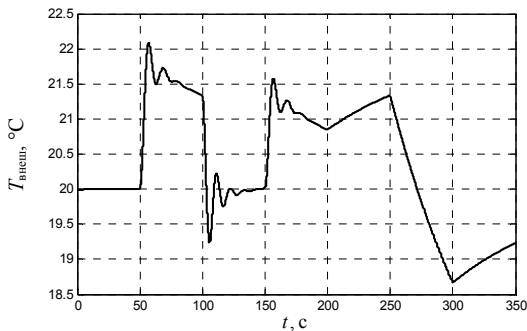


Рис. 25. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 4$ с

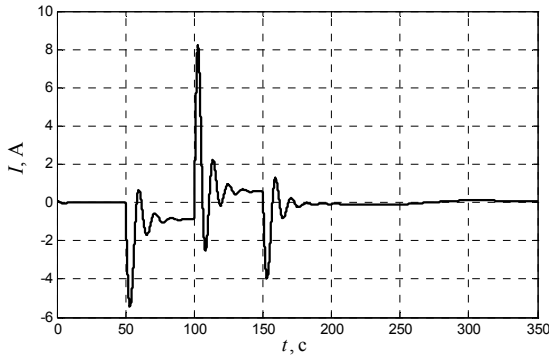


Рис. 26. Переходные процессы по току при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком без компенсатора инерционности датчика с $T_d = 4$ с

4.5. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СО СТАБИЛИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ И ИНЕРЦИОННЫМ ДАТЧИКОМ С КОМПЕНСАТОРОМ ИНЕРЦИОННОСТИ ДАТЧИКА С И $T_d = 4$ с

Переходные процессы моделирования по температуре (рис. 26) соответствуют требованиям. Сигнал по току (рис. 28) не достигает ограничений.

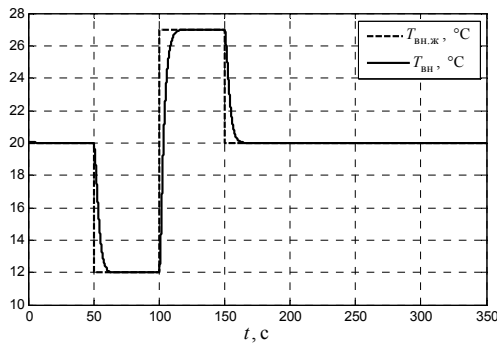


Рис. 27. Переходные процессы по температуре при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком с компенсатором инерционности датчика с $T_d = 4$ с

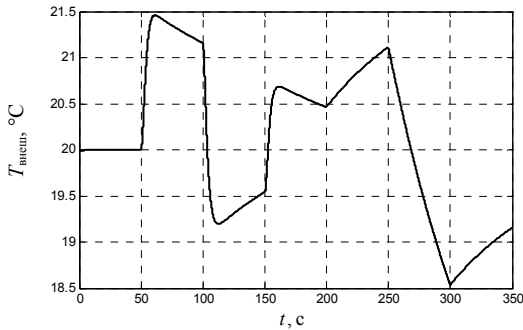


Рис. 28. График температуры внешней стороны элемента Пельтье при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком с компенсатором инерционности датчика с $T_d = 4$ с

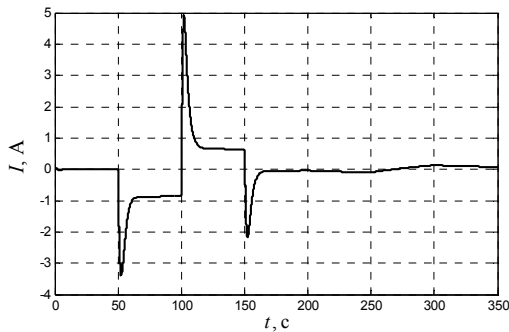


Рис. 29. Переходные процессы по току при формировании скачкообразного температурного профиля со стабилизирующим регулятором и инерционным датчиком с компенсатором инерционности датчика с $T_d = 4$ с

5. ВЫВОД ПО ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

По результатам численного моделирования видно, что метод разделения движений может быть использован для расчета регулятора температуры для термостата или формирователя температурного профиля на основе элемента Пельтье. При формировании непрерывного температурного профиля лучше

использовать следящий регулятор с целью снижения скоростной ошибки, как видно на рис. 12 и 16. При формировании скачкообразного профиля нужно использовать стабилизирующий регулятор или следящий регулятор с аperiодическим звеном на входе регулятора, как видно из рис. 9 и 15. Если желаемая постоянная времени переходного процесса по температуре в 5 и более раз превышает постоянную времени датчика, то можно пренебрегать инерционностью датчика, что следует из рис. 21 и 23. Если постоянная времени датчика соизмерима с желаемой постоянной времени переходного процесса, то нужно вводить компенсатор инерционности (см. рис. 24–29).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезированы стабилизирующий и следящий регулятор температуры для управляемого термостата на основе элемента Пельтье методом разделения движений. Следящий регулятор обеспечивает очень малую скоростную ошибку, что следует из результатов численного моделирования. В случае малого отличия постоянной времени переходного процесса от постоянной времени датчика нужно использовать компенсирующее звено. Предложенная методика расчета компенсатора инерционности датчика может быть использована для синтеза регулятора температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гринкевич В.А.* Исследование математической модели термостата на основе элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. – 2017. – № 3 (89). – С. 62–77. – DOI: 10.717212/2307-6879-2017-62-77.
2. Полупроводниковый термостат для лабораторных исследований «ТС-20» / И.П. Егорова, Ю.И. Иванов, С.Н. Колесников, Г.И. Сидоров // Известия ТРТУ. – 2002. – № 6 (29). – С. 121–123.
3. *Сероклинов Г.В., Гунько А.В.* Информационные технологии при исследовании изменения биопотенциала растений от действия температуры // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2014): труды XII международной конференции, 2–4 октября 2014 г.: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – Т. 7. – С. 72–75.
4. *Магомедов Д.А., Хазамова Л.А., Миснахов И.Ш.* Малогабаритный термостат для перевозки биоматериалов // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. – СПб., 2015. – С. 458–460.
5. *Тарукин Е.М.* Авторефрижераторы // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 6 (13). – С. 68–82.

6. Юркевич В.Д. Многоканальные системы управления. Синтез линейных систем управления с разнотемповыми процессами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 183 с.

7. Yurkevich V.D. PWM controller design based on singular perturbation technique: a case study of buck-boost DC-DC converter // Proceedings of the 18th IFAC World Congress, Milan, Italy, August 28 – September 2, 2011. – Milan, 2011. – P. 9739–9744.

8. Сероклинов Г.В. Задачи автоматизации экспериментальных исследований сложных биофизических объектов // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: сборник научных трудов СибФТИ / Сибирское отделение РАСХН, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. – Новосибирск, 2001. – С. 46–53.

9. Филлюшов В.Ю. Нелинейный объект: линеаризация обратными связями // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 2 (92). – С. 36–80. – DOI: 10.17212/2307-6879-2018-2-36-80.

Гринкевич Владимир Анатольевич, младший научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, магистрант кафедры автоматизации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: grinkevich-vova@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-7-31

Temperature controller design for Peltier element*

V.A. Grinkevich

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies, PO Box 468, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation, Researcher. E-mail: grinkevich-vova@mail.ru

Controlled thermostats and thermal profiler are applied in different applications such as scientific researches, control of chemical reaction speed, thermal stabilization of CCD-matrix, laser wave-length stabilization, food and drugs storage. There are thermostats of different size, power, structure, and thermal profilers. Peltier element advantages are small weight, size and simple construction. However, Peltier element is characterized by low energy conversion efficiency, low power in comparison with compressor refrigerant circuit and small temperature band in comparison with resistive heater. Peltier element can provide working area tempera-

* Received 24 December 2018.

ture of thermostat above ambient temperature or below ambient temperature. Usually, Peltier element is applied in low power devices, where size and weight are limited. There are examples of Peltier element applications at design of automobile refrigerators, thermostats for bio-materials transportation in small amount and for research of biophysical objects. Devices, which based on Peltier element, can be applied for thermal massage of human skin or thermal impact on various plants. For temperature stabilization and provision high accuracy is required to use temperature controller for thermostat based on Peltier element. Controlling factor for Peltier element is current. Current value have an influence on inside thermostat temperature. In this article the temperature controller design procedure is discussed. The reference input signal of thermal profile may have step form or trapezium form. Temperature controller is designed by time-scale separation method. Computer simulation results for temperature control system are shown. This temperature control system for Peltier element may be used in thermal impact driver on biophysical objects.

Keywords: Thermostat, thermal profiling, thermal profiler, Peltier element, temperature controller, time-scale separation method, non-linear system, mathematical model, numeric simulation

REFERENCES

1. Grinkevich V.A. Issledovanie matematicheskoi modeli termostata na osnove elementa Pel't'e [Research on mathematical model of thermostat based on Peltier element]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 3 (89), pp. 62–77. DOI: 10.717212/2307-6879-2017-62-77.
2. Egorova I.P., Ivanov Yu.I., Kolesnikov S.N., Sidorov G.I. Poluprovodnikovyi termostat dlya laboratornykh issledovaniy "TC-20" [Semiconductor thermostat for laboratory researches "TC-20"]. *Izvestiya TRTU – Izvestiya TSURE*, 2002, no. 6 (29), pp. 121–123.
3. Seroklinov G.V., Gun'ko A.V. [Information technology for research biological potential changing by temperature affect] *Trudy XII mezhdunarodnoi konferentsii "Aktual'nye problemy elektronnoho priborostroeniya", APEP-2014: v 7 t.* [[12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE-2014: Proceedings: in 7 vol.], Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2014, vol. 7, pp. 72–75. (In Russian).
4. Magomedov D.A., Khazamov L.A., Mispakhov I.Sh. Malogabaritnyi termostat dlya perevozki biomaterialov [Small-size thermostat for transportation of biological materials]. *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke* [Low-temperature and food technologies in XXI century]. St. Petersburg, 2015, pp. 458–460.
5. Tarukin E.M. Avtofrizheratory [Autorefrigerators]. *Vestnik NGIEI – Bulletin NGIEI*, 2012, no. 6 (13), pp. 68–82.

6. Yurkevich V.D. *Mnogokanal'nye sistemy upravleniya. Sintez lineinykh sistem upravleniya s raznotempovymi protsessami* [Multi-input-multi-output control systems. Design of linear control systems with multi-time scale motions]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2016. 183 p.

7. Yurkevich V.D. PWM controller design based on singular perturbation technique: a case study of buck-boost DC-DC converter. *Proceedings of the 18th IFAC World Congress*, Milan, Italy, August 28 – September 2, 2011, pp. 9739–9744.

8. Seroklinov G.V. *Zadachi avtomatizatsii eksperimental'nykh issledovaniy slozhnykh biofizicheskikh ob"ektov* [Tasks of automation experimental researching of complex biophysical objects]. *Metody i tekhnicheskie sredstva issledovaniy fizicheskikh protsessov v sel'skom khozyaistve* [Methods and technical facilities of researching of physical processes in agriculture] Novosibirsk, 2001, pp. 46–53.

9. Filiushov V.Yu. Nelineinyi ob"ekt: linearizatsiya obratnymi svyazyami [Examples of structural transformation of nonlinear object]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 2 (92), pp. 36–80. DOI: 10.17212/2307-68792018-2-36-80.

Для цитирования:

Гринкевич В.А. Синтез регулятора температуры для элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 7–31. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-7-31.

For citation:

Grinkevich V.A. Sintez regulatora temperatury dlya elementa Pel'te [Temperature controller design for Peltier element]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 7–31. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-7-31.

СОВРЕМЕННЫЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.764

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-32-41

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛГОРИТМОВ
РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ***

А.А. ИЛЬИН

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

На сегодняшний день существует множество алгоритмов распознавания и обнаружения лиц на изображении. Кроме того, каждый из них имеет входные параметры, от которых сильно зависит результат. Результат также зависит от освещения, контрастности, ракурса и поворота лица. Таким образом, существует огромное количество вариантов обнаружения и распознавания лиц на изображении. Определение наилучших параметров алгоритмов и изображений при таком огромном количестве вариаций почти невозможно вручную.

Для решения данной проблемы разрабатывается программно-аппаратный комплекс, который позволит упростить изучения алгоритмов распознавания лиц.

В данной работе выбраны средства реализации программно-аппаратного комплекса и разработана его архитектура. Для обнаружения лиц выбран алгоритм Виолы–Джонса, так как он является наиболее подходящим по соотношению точность/скорость обнаружения лиц из видеопотока. В работе выбраны алгоритмы EigenFaces, FisherFaces, LBP, AAM, ASM в качестве алгоритмов для изучения в рамках программно-аппаратного комплекса. Также выбраны инструменты разработки: Django, QT, Celery, Redis, PostgreSQL, OpenCV, Python. Представлена клиент-серверная архитектура комплекса. Серверная часть комплекса включает модули распознавания лица, отрисовки графиков и гистограмм, определения лица на входящем изображении, распознавания лица и его классификации. Представлен алгоритм взаимодействия пользователя с комплексом: пользователь, используя клиентское приложение, отправляет изображение лица, серверная часть комплекса обрабатывает изображение и классифицирует его исходя из имеющихся в базе лиц. После обработки изображения лица пользователь может получить результаты классифицирования и варьировать параметры исходного изображения, получая новые результаты.

Также в работе представлены параметры изображения, влияющие на точность распознавания лиц и разработанный интерфейс программы.

Ключевые слова: распознавание лиц, OpenCV, алгоритм Виолы–Джонса, EigenFaces, FisherFaces, LBP, AAM, ASM

* Статья получена 18 ноября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует ряд программных решений, позволяющих использовать алгоритмы распознавания лиц. Данные решения имеют ряд недостатков:

- 1) их функционал ограничен одним-тремя алгоритмами распознавания лиц;
- 2) необходимо вручную в коде программы вносить параметры алгоритмов и выбирать сам алгоритм;
- 3) они не имеют графического интерфейса;
- 4) нет возможности изменять параметры исходного изображения, такие как цветовой тон, яркость, контрастность;
- 5) не позволяют проводить ряд экспериментов для последующего сравнения точности распознавания конкретного лица при изменении различных параметров алгоритма распознавания и исходного изображения;
- 6) запуск «из коробки» невозможен. Необходимо установить требуемые пакеты и библиотеки, после чего запустить код, на это уходит много времени и не всегда удается рядовому пользователю [3].

Программно-аппаратный комплекс разрабатывается для удобного и наглядного изучения алгоритмов распознавания лиц. Данный комплекс имеет ряд преимуществ:

- 1) комплекс включает в себя все популярные на сегодняшний день алгоритмы распознавания лиц, поэтому пользователю необходимо только выбрать интересующий его алгоритм и выставить параметры;
- 2) комплекс позволяет проводить серию экспериментов и выводить результаты на экран в удобном графическом представлении в виде графиков и гистограмм, что позволяет пользователю наглядно видеть влияние параметров изображения и алгоритма распознавания на точность определения лиц.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В рамках настоящей работы поставлена задача разработать программно-аппаратный комплекс для изучения алгоритмов распознавания лиц, которую можно разбить на несколько подзадач, а именно:

- 1) выполнить обзор методов и алгоритмов обнаружения и распознавания лиц. Задача распознавания лиц подразделяется на задачу обнаружения лиц на изображении и задачу распознавания лиц на изображении. Для каждой из этих подзадач используются свои методы и алгоритмы;
- 2) выполнить обзор подходящих инструментов разработки и существующих решений и выбрать наиболее подходящие инструменты для разработки аппаратного комплекса для изучения алгоритмов распознавания лиц;

3) спроектировать архитектуру и разработать алгоритмы взаимодействия пользователя с программно-аппаратным комплексом.

2. ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ

Для реализации программно-аппаратного комплекса было принято решение выбрать следующие инструменты:

- *Python* – язык программирования;
- *Django* – веб-фреймворк, используется для реализации серверной части;
- *QT* – фреймворк для разработки ПО, используется для создания интерфейса клиентского приложения;
- *OpenCV* – библиотека алгоритмов компьютерного зрения;
- *Celery* – асинхронная очередь задач, используется для создания асинхронных задач распознавания лиц на изображениях;
- *Redis* – сетевое журналируемое хранилище данных, используется в качестве хранилища задач Celery;
- *PostgreSQL* – объектно-реляционная система управления базами данных.

3. АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА

На рис. 1 представлена архитектура программно-аппаратного комплекса.

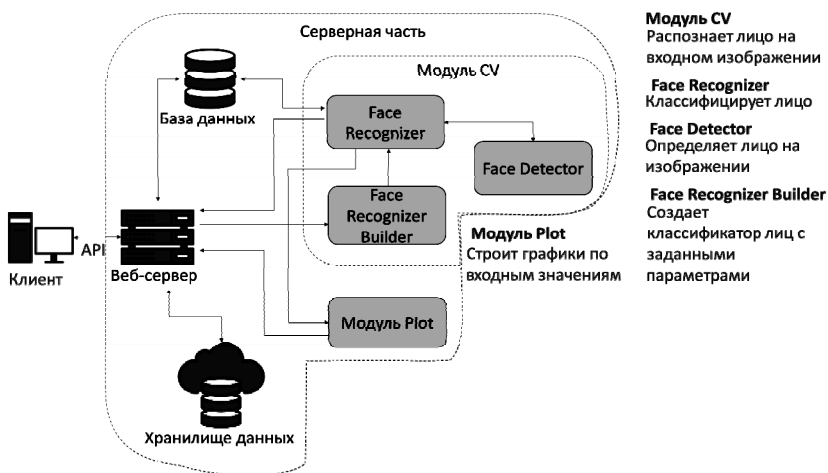


Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса

Система имеет клиент-серверную архитектуру. Взаимодействие клиента с сервером происходит через *API*-интерфейс.

Пользователь через клиентское приложение загружает изображение лица в базу данных на сервере, также он может выставлять различные настройки изображения, такие как яркость, контрастность и другие, выбирать алгоритм распознавания лица, выставлять параметры алгоритма и отправлять на сервер изображение, где оно будет обрабатываться модулем компьютерного зрения. Найденное лицо будет классифицироваться исходя из лиц в базе данных.

По результатам классификации пользователю вернется предполагаемый класс лица и графики зависимости точности распознавания лица от выставленных параметров изображения и алгоритма.

4. ОПИСАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Интерфейс представляют четыре основных элемента (рис. 2):

- кнопка *Recognize* – запускает распознавание лица из видеопотока камеры;
- поле выбора алгоритма распознавания – позволяет выбрать алгоритм распознавания лиц;

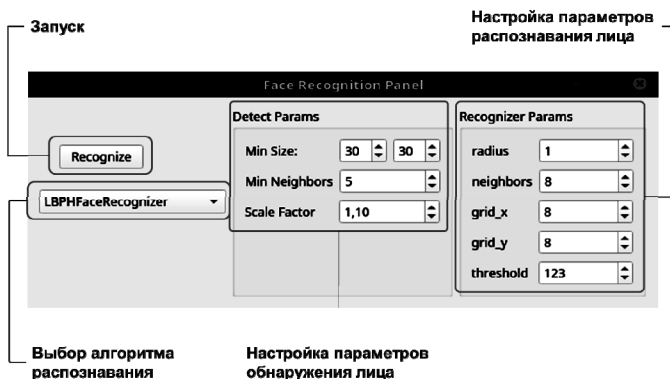


Рис. 2. Интерфейс настройки параметров программно-аппаратного комплекса

- блок настройки параметров обнаружения лица (*Detect Params*) – позволяет установить настройки обнаружения лица: *Min Size* – минимальная искомая область. Области меньшего размера будут игнорироваться. С увеличением параметра увеличивается скорость работы метода, соответственно с

уменьшением параметра скорость снижается. Параметр *Min Neighbors* влияет на качество обнаруженного лица: чем выше параметр, тем лучше качество. *Scale Factor* – шаг, который показывает, во сколько раз область искомого лица будет увеличиваться. Чем больше шаг, тем быстрее будет совершаться поиск, но также увеличивается риск пропустить область с лицом [1];

- блок настройки параметров выбранного алгоритма распознавания лиц (*Recognizer Params*). При изменении алгоритма распознавания лиц поле автоматически перестраивается под параметры выбранного алгоритма.

Окно распознавания лиц позволяет менять настройки исходного изображения (рис. 3).

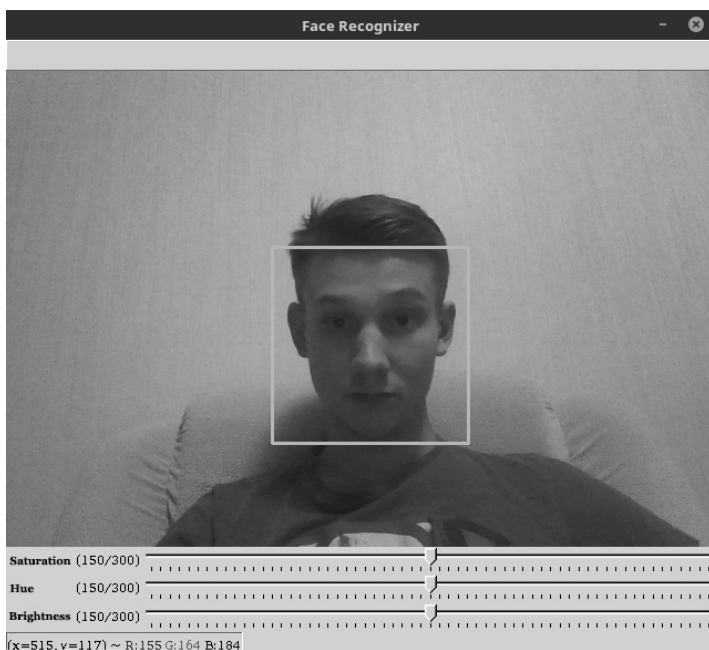


Рис. 3. Интерфейс настройки параметров изображения

Данное окно отображает покадрово изображения, захватываемые с видеопотока камеры, и позволяет изменять настройки исходного изображения. К таким настройкам относятся [2]:

- *Hue* – цветовой тон, т. е. оттенок цвета;
- *Saturation* – насыщенность. Чем выше этот параметр, тем «чище» будет цвет, а чем ниже, тем ближе он будет к серому;

- *Value (Brightness)* – значение (яркость) цвета. Чем выше значение, тем ярче будет цвет (но не белее), а чем ниже, тем темнее (0 % – черный).
Данные параметры наглядно представлены на рис. 4.

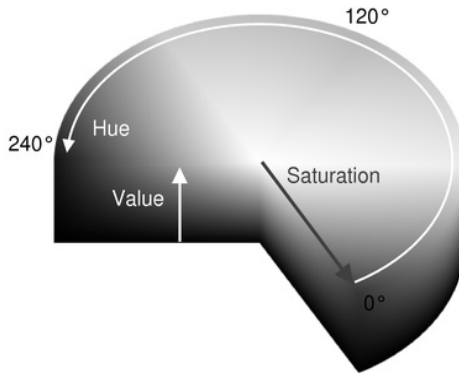


Рис. 4. Основные параметры изображения

5. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Комплекс предоставляет возможность изучить влияние параметров изображения и алгоритмов распознавания лиц на качество распознавания. На данный момент комплекс поддерживает для изучения алгоритмы *EigenFaces*, *FisherFaces*, *LBP*, *AAM*, *ASM*.

Обнаружение лиц происходит на изображении, принимаемом с веб-камеры компьютера. В качестве метода обнаружения используется метод Виоли–Джонса, являющийся оптимальным по соотношению точность/скорость обнаружения лица из видеопотока [4].

Комплекс позволяет проводить серию экспериментов и наглядно увидеть влияние параметров изображения и алгоритма распознавания на качество распознавание лиц. Комплекс позволяет изменять оттенок цвета, насыщенность, яркость входящего изображения и параметры, специфичные для определенного алгоритма распознавания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе определены средства реализации программно-аппаратного комплекса для изучения алгоритмов распознавания лиц. Также выбран наиболее подходящий алгоритм обнаружения лиц по соотношению точность/скорость

обнаружения лица из видеопотока. Этим алгоритмом является метод Виолы-Джонса. Выбраны алгоритмы распознавания лиц, которые будут предоставлены пользователю для изучения в комплексе.

Разработана архитектура программно-аппаратного комплекса для распознавания лиц, разработан интерфейс и определены основные параметры, влияющие на качество распознавания лиц из видеопотока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Татаренков Д.А.* Анализ методов обнаружения лиц на изображении // Молодой ученый. – 2015. – № 4 (84). – С. 270–276.
2. *Тихонова Т.С., Белов Ю.С.* Основные подходы к отслеживанию и распознаванию лица // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 2 (6). – С. 111–115.
3. *Разинкин В.Б., Катермина Т.С.* Распознавание лица по фотографии // Международный журнал перспективных исследований. – 2018. – Т. 8, № 1-2. – С. 171–180.
4. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/> (дата обращения: 27.05.2019).
5. Face recognition with OpenCV [Electronic resource]. – URL: https://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html (accessed: 27.05.2019).
6. Django documentation [Electronic resource]. – URL: <https://docs.djangoproject.com/en/1.11/> (accessed: 27.05.2019).
7. *Самаль Д.И., Фролов И.И.* Алгоритм подготовки обучающей выборки с использованием 3D-моделирования лиц // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 4. – С. 17–23.
8. *Vijayakumari V.* Face recognition techniques: a survey // World Journal of Computer Application and Technology. – 2014. – Vol. 1, N 2. – P. 41–50. – DOI: 10.13189/wjcat.2013.010204.
9. *Viola P., Jones M.J.* Robust real-time face detection // International Journal of Computer Vision. – 2014. – Vol. 57, N 2. – P. 137–154.
10. *Turk M.A., Pentland A.P.* Face recognition using eigenfaces // Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Maui, HI, USA, 2017. – P. 586–591. – DOI: 10.1109/CVPR.1991.139758.
11. *Буй Т.Т.Ч., Фан Н.Х., Спицын В.Г.* Распознавание лиц на основе применения метода Виолы–Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, № 5. – P. 54–59.

12. *Sirovich L., Kirby M.A.* Low-dimensional procedure for the characterization of human faces // *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and image science.* – 1987. – Vol. 4, N 3. – P. 519–524.
13. Face recognition system based on principal component analysis (PCA) with back propagation neural networks (BPNN) / *M.A. Kashem, Md. Nasim Akhter, Shamim Ahmed, Md. Mahbub Alam* // *International Journal of Scientific & Engineering Research.* – 2011. – Vol. 2, iss. 6, pp. 1–10.
14. *Barker S.E., Powell H.M.* High speed face location at optimal resolution // *World Congress on Neural Networks: 1995 International Neural Network Society Annual Meeting.* – Washington, DC, 1995. – Vol. 2. – P. 536–541.
15. Human face recognition using a spatially weighted modified Hausdorff distance / *K.-H. Lin, B. Guo, K.-M. Lam, W.-C. Siu* // *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing. ISIMP 2001.* – Hong Kong, China, 2001. – P. 477–480.

Ильин Александр Андреевич, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: alexander.ilin.post@gmail.com

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-32-41

Development of software-hardware complex for the study of face recognition algorithms*

A.A. Ilyin

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, undergraduate of the department of computer engineering. E-mail: alexander.ilin.post@gmail.com

Today, there are many algorithms for recognition and detection of faces in the image. In addition, each of them has input parameters on which the result strongly depends. The result also depends on the lighting, contrast, angle and turning of the face. Thus, there are a huge number of options for detecting and recognizing faces in an image. Determining the best parameters of algorithms and images with such a huge number of variations is almost impossible manually.

To solve this problem, a software-hardware complex is being developed that will simplify the study of facial recognition algorithms.

In this paper, the means of implementing the software-hardware complex are selected and its architecture is developed. Viola-Jones algorithm was chosen for face detection, as it is the

* Received 18 November 2018.

most appropriate in terms of the accuracy / speed of face detection from the video stream. In the work, the algorithms EigenFaces, FisherFaces, LBP, AAM, ASM were chosen as algorithms for studying within a software-hardware complex. Also, development tools are selected: Django, QT, Celery, Redis, PostgreSQL, OpenCV, Python. The client-server architecture of the complex is presented. The server part of the complex includes face recognition modules, drawing graphs and histograms, determining faces on the incoming image, face recognition and its classification. The algorithm of user interaction with the complex is presented: the user, using the client application, sends a face image, the server part of the complex processes the image and classifies it based on the existing people in the database. After processing the image of the face, the user can get the results of classification and vary the parameters of the original image, getting new results.

Also, the work presents the image parameters that affect the accuracy of facial recognition and the developed program interface.

Keywords: face recognition, OpenCV, Viola-Jones algorithm, EigenFaces, FisherFaces, LBP, AAM, ASM

REFERENCES

1. Tatarenkov D.A. Analiz metodov obnaruzheniya lits na izobrazhenii [Analysis of face detection methods in the image]. *Molodoi uchenyi – Young Scientist*, 2015, no. 4 (84), pp. 270–276.
2. Tikhonova T.S., Belov Yu.S. Osnovnye podkhody k otslezhivaniyu i raspoznavaniyu litsa [The basic approaches to face recognition and tracking]. *Elektronnyi zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovanie – Electronic journal: science, technology and education*, 2016, no. 2 (6), pp. 111–115.
3. Razinkin V.B., Katermina T.S. Raspoznavanie litsa po fotografii [Face recognition by photo]. *Mezhdunarodnyi zhurnal perspektivnykh issledovaniy – International Journal of Advanced Studies*, 2018, vol. 8, no. 1-2, pp. 171–180.
4. Analiz sushchestvuyushchikh podkhodov k raspoznavaniyu lits [Analysis of existing facial recognition approaches]. Available at: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/> (accessed 27.05.2019).
5. *Face recognition with OpenCV*. Available at: https://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html (accessed 27.05.2019).
6. *Django documentation*. Available at: <https://docs.djangoproject.com/en/1.11/> (accessed 27.05.2019).
7. Samal D.I., Frolov I.I. Algoritm podgotovki obuchayushchei vyborki s ispol'zovaniem 3D-modelirovaniya lits [Algorithm of preparation of the training sample using 3d-face modeling]. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika – System analysis and applied information science*, 2016, no. 4, pp. 17–23.
8. Vijayakumari V. Face recognition techniques: a survey. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 41–50. DOI: 10.13189/wjcat.2013.010204.

9. Viola P., Jones M.J. Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 2014, vol. 57, no. 2, pp. 137–154.
10. Turk M.A., Pentland A.P. Face recognition using eigenfaces. *Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Maui, HI, USA, 2017, pp. 586–591. DOI: 10.1109/CVPR.1991.139758.
11. Bui T.T.T., Phan N.H., Spitsyn V.G. Raspoznavanie lits na osnove primeneniya metoda Violy-Dzhonsa, veivlet-preobrazovaniya i metoda glavnykh komponent [Face recognition using Viola-Jones method, wavelet transforms and principal component analysis]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 5, pp. 54–59.
12. Sirovich L., Kirby M.A. Low-dimensional procedure for the characterization of human faces. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and image science*, 1987, vol. 4, no. 3, pp. 519–524.
13. Kashem M.A., Nasim Akhter, Md., Shamim Ahmed, Mahbub Alam, Md. Face recognition system based on principal component analysis (PCA) with back propagation neural networks (BPNN). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2011, vol. 2, iss. 6, pp. 1–10.
14. Barker S.E., Powell H.M. High speed face location at optimal resolution. *World Congress on Neural Networks: 1995 International Neural Network Society Annual Meeting* Washington, DC, 1995, vol. 2, pp. 536–541.
15. Lin K.H., Guo B., Lam K.-M., Siu W.-C. Human face recognition using a spatially weighted modified Hausdorff distance. *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing. ISIMP 2001*, Hong Kong, China, 2001, pp. 477–480.

Для цитирования:

Ильин А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для изучения алгоритмов распознавания лиц // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 32–41. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-32-41.

For citation:

Il'in A.A. Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa dlya izucheniya algoritmov raspoznavaniya lits [Development of software-hardware complex for the study of face recognition algorithms]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 32–41. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-32-41.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕКОМЕНДАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА УДАЛЕННЫХ ТЕРМИНАЛАХ*

Е.А. ОМЕЛЬЯНЕНКО

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

Последние несколько десятилетий можно наблюдать быстрое развитие компьютерной техники и информационных технологий. Компьютеры настолько крепко вошли в нашу жизнь, что уже сегодня невозможно представить себе работу во многих отраслях (например, в архитектуре, банковском деле, медицине) без их использования.

С компьютеризацией новых отраслей и сфер жизни будет расти количество компьютеров на рабочих местах и количество программного обеспечения (ПО), специфичного для той или иной профессии. Также в большинстве случаев при работе используется не единственный инструмент, а некоторая их комбинация, которая может отличаться для специалистов в одной области и даже для специалистов, работающих над одним проектом. Так, например, при разработке веб-сайта разработчик серверной части будет использовать один набор ПО, а разработчик клиентской части – другой.

Из описанного выше встает проблема конфигурирования и установки программных продуктов в различных комбинациях для большого количества компьютеров (рабочих мест). В больших компаниях за это отвечают специализированные отделы инженеров, но среди мелкого и среднего бизнеса часто бывает невыгодно содержать для этих целей целый отдел или даже одного специалиста.

Описанные проблемы могли бы решить существующие системы управления конфигурациями, но они слишком сложны в освоении и использовании, поскольку разрабатывались для управления серверами и не могут быть использованы человеком без глубоких знаний в сфере информационных технологий. Разрабатываемая система решает описанные проблемы.

Ключевые слова: компьютеризация, автоматизация, конфигурирование, рекомендательная система, асинхронность, микросервисная архитектура, контейнеризация, Ansible

* Статья получена 15 ноября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей работы является разработка и тестирование системы рекомендации и автоматизации развертывания программного обеспечения на удаленных машинах.

Актуальность работы заключается в том, что с повсеместной компьютеризацией и ростом числа компьютеров на рабочих местах возникает необходимость в конфигурировании большого количества удаленных рабочих мест людьми без глубоких знаний в сфере информационных технологий.

Практическая ценность работы заключается в простоте, удобстве и гибкости использования разрабатываемой системы, что выгодно выделяет ее среди существующих решений. Данную систему сможет использовать широкий круг пользователей, что поспособствует ускорению автоматизации и компьютеризации различных сфер жизни.

Научная ценность работы заключается в комбинировании современных технологий разработки ПО, способов построения архитектуры приложения и приемов машинного обучения, а так же в исследовании рынка информационных технологий для выделения наиболее часто используемых программных продуктов и стеков-технологий при разработке информационных систем.

1. ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТНУЮ ОБЛАСТЬ

Компьютеризация – широкое внедрение компьютеров в различные сферы человеческой деятельности [1].

Автоматизация – процесс передачи выполняемых человеком функций компьютеру или компьютерной системе [2].

Конфигурирование системы – применение изменений к системе с целью приведения ее в требуемое состояние.

Микросервисная архитектура – вариант сервис-ориентированной архитектуры программного обеспечения, направленной на взаимодействие, насколько это возможно, небольших, слабо связанных и легко изменяемых модулей – микросервисов [3].

Асинхронность в программировании – выполнение процесса в неблокирующем режиме системного вызова, что позволяет потоку программы продолжить обработку.

Рекомендательные системы – программы, которые пытаются предсказать, какие объекты (фильмы, музыка, книги, новости, веб-сайты) будут интересны пользователю, собирают определенную информацию о его профиле.

Две основные стратегии создания рекомендательных систем – фильтрация на основе содержания и коллаборативная фильтрация [4].

2. КОЛЛАБОРАТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Коллаборативная фильтрация – это метод, позволяющий предсказать неизвестные предпочтения пользователя на основе известных оценок и/или поведения других пользователей. Работа всех видов данного метода основывается на утверждении о том, что пользователи, одинаково оценившие предметы системы, имеют склонность одинаково оценить и другие предметы системы [4].

В классическом случае строится матрица пользователей-предметов, значения в которой являются оценками конкретного пользователя конкретного предмета. Те ячейки, в которых нет значений, являются неизвестными. Это значит, что для данного предмета пользователь не выставил оценку (см. таблицу).

Пример матрицы пользователей-предметов

Пользователь	«Топ»	«Топ 2»	«Топ 3»	«Мстители»
Иван	5	4	–	3
Сергей	–	–	4	3
Дмитрий	3	–	–	5

Для определения соседства пользователей применяются несколько различных алгоритмов.

- Манхэттенское расстояние. Данный метод имеет недостаток в точности при малом заполнении матрицы, но также имеет простую реализацию и высокую скорость выполнения.
- Евклидово расстояние. Данный метод имеет проблемы при незаполненной матрице, но прост в разработке и дешев в выполнении.
- Коэффициент корреляции Пирсона. Данный метод имеет большую точность относительно двух других, но более трудоемок.

Основным недостатком коллаборативной фильтрации является проблема холодного старта, суть которой заключается в том, что система выдает неточные рекомендации при малом количестве пользователей в системе либо при малом количестве оценок пользователей [5]. Для решения этой проблемы в рамках данной работы были проведены исследования, описанные в следующем разделе.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПУЛЯРНОСТИ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И СТЕКОВ ТЕХНОЛОГИЙ

В качестве источников данных для исследования были выбраны следующие ресурсы, поскольку они дают широкий охват аудитории IT-сообщества и предоставляют открытую статистику:

1) hh.ru – HeadHunter – один из крупнейших в России сайтов для размещения вакансий и резюме. Статистика HeadHunter позволяет оценить реальную востребованность технологии на рынке труда;

2) github.com – GitHub – крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. Статистика GitHub интересна тем, что она рассчитывается на основании языков, используемых в реальных проектах, выложенных на этом хостинге;

3) stackoverflow.com – Stack Overflow – популярная система вопросов и ответов о программировании. Статистика Stack Overflow интересна тем, что она основывается на количестве вопросов и ответов, заданных по какому-либо языку программирования или технологии, и на голосовании участников сообщества.

Перед исследованием популярности языков программирования среди работодателей и соискателей был выделен общий список языков программирования, откуда были исключены различные «вспомогательные технологии» (например, TypeScript, CSS и т. д.), что позволило отразить реальный результат, поскольку эти технологии используются исключительно в связке с каким-либо языком программирования.

Статистика популярности среди работодателей составлялась двумя способами:

- когда название языка встречается в любом месте вакансии (описание, название, требования);
- когда название языка встречается только в названии вакансии.

Такой подход необходим, чтобы отделить основное требование от сопутствующих навыков и иметь более полное представление о ситуации на рынке.

Ниже представлены результаты исследования популярности технологий среди работодателей. Исследование вакансий проводилось за первое полугодие 2018 г.

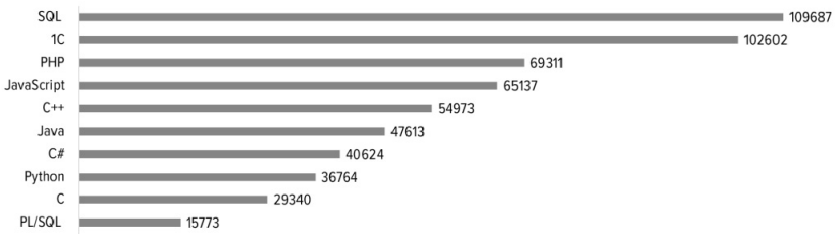


Рис. 1. 10 самых популярных языков по упоминанию в любом пункте вакансии. График отображает дополнительные навыки программистов

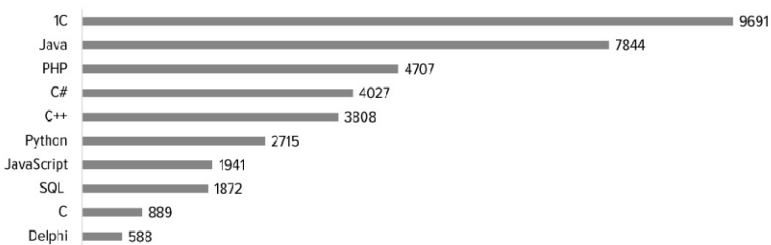


Рис. 2. 10 самых популярных языков по упоминанию в названии вакансии. График отображает основные навыки программистов

Ниже представлены результаты исследования среди программистов, основанные на статистике, представленной сайтом Stack Overflow. Данную статистику формируют пользователи ресурса посредством опроса и других средств сбора информации.

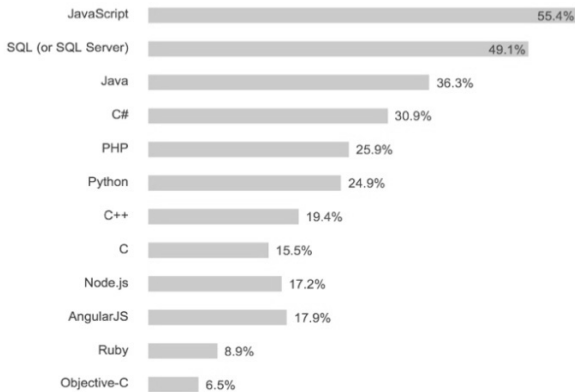


Рис. 3. Рейтинг популярности языков программирования среди разработчиков за 2018 г.

Можно сделать вывод, что самыми востребованными для работодателей языками программирования являются C и Java, это объясняется большим количеством продуктов, использующих эти языки. Самым востребованным дополнительным навыком ожидаемо является язык программирования баз данных SQL, что объясняется наличием баз данных в большинстве проектов. Сами же разработчики предпочитают язык JavaScript, что объясняется его широким применением в веб-разработке, и SQL по описанной выше причине.

4. ОПИСАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Разрабатываемая система получила название «EasyToSetup», или «Легко настроить», и описывает основное назначение и преимущество разрабатываемой системы: простая и удобная конфигурация удаленных машин.

Для разработки системы были выбраны следующие инструменты: Python 3.6.4, Django 1.9, PostgreSQL 9.6, MongoDB 3.4, Docker 18.03, Ansible 2.6.

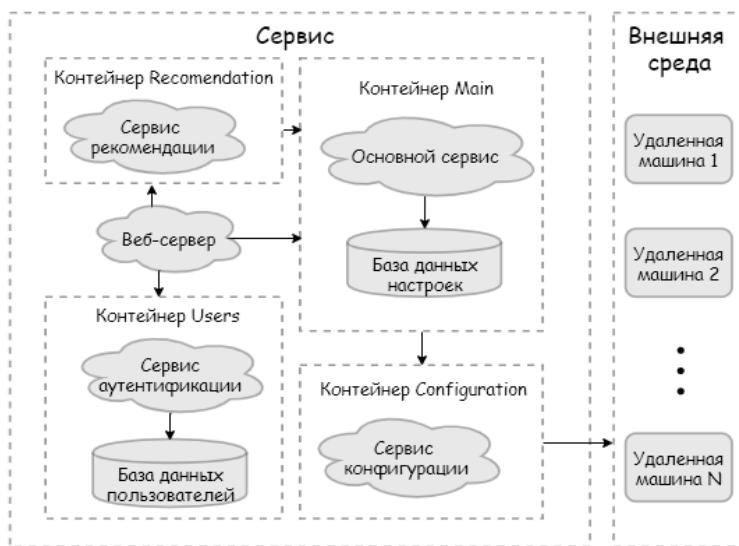


Рис. 4. Диаграмма компонентов разрабатываемой системы

EasyToSetup является распределенной системой, которая состоит из четырех микросервисов и точки входа. Каждый из этих микросервисов представляет собой небольшое, независимое от других микросервисов приложение, решающее собственный набор бизнес-задач.

Данная архитектура позволяет развернуть различные модули на разных серверах и легко масштабировать решение с помощью запуска дополнительных копий микросервисов, на которые оказывается высокая нагрузка, тем самым балансируя ее.

Каждый из указанных на рис. 4 контейнеров-микросервисов является docker-контейнером, который выполняет собственный набор бизнес-задач.

- Веб-сервер – точка входа в приложения, которая связывает между собой отдельные микросервисы (рис. 5);

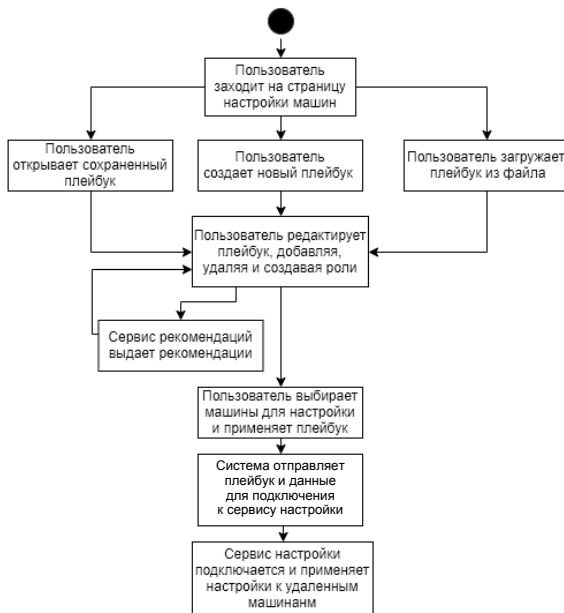


Рис. 5. Алгоритм применения плейбука к удаленным машинам

- Контейнер Main – основной микросервис, в котором реализована внешняя составляющая системы и реализована работа с настройками, которые позже будут применяться к удаленным компьютерам.

- Контейнер Users – микросервис для работы с пользователями, через него выполняется регистрация и авторизация пользователей, там же хранятся данные о пользователях и их права.

- Контейнер Configuration – микросервис по конфигурированию удаленных рабочих мест. Представляет собой асинхронный веб-сервер, который

принимает конфигурацию (плейбук) и данные для подключения к компьютеру, выдает тикет о принятии задачи, после чего выполняет конфигурирование рабочего места с помощью Ansible и возвращает результат.

- Контейнер Recommendation – микросервис, выдающий рекомендации по составлению плейбука, который будет применен к рабочему месту (рис. 6).

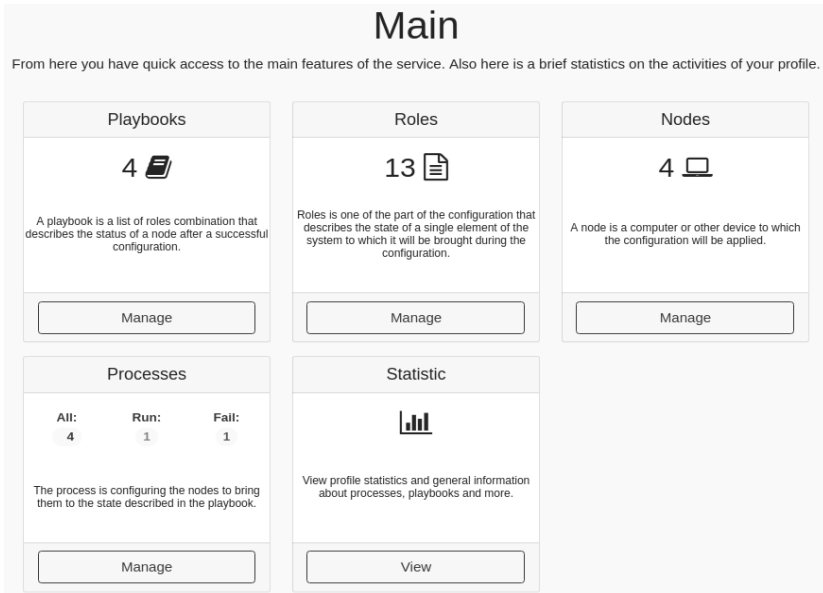


Рис. 6. Главная страница EasyToSetup

Вся система имеет интерфейс на английском языке, чтобы ее могли использовать пользователи по всему миру. С главной страницы можно перейти к управлению следующими элементами:

- Role – это элемент конфигурации, описывающий один элемент системы, который будет сконфигурирован при настройке системы. Например, роль может описывать, что в системе будет установлена СУБД PostgreSQL версии 9.6;

- Playbook – это своего рода слепок системы, состоящий из ролей и описывающий установленные пакеты и состояние, которое должна иметь система после применения к ней плейбука;

- Node – это удаленная машина, к которой будет применяться конфигурация; для подключения необходимо, чтобы машина принимала соединение по протоколу ssh;

- Processes – страница с активными и выполненными процессами по конфигурированию удаленных машин;
- Statistics – это статистика, где можно просмотреть самые популярные плейбуки и роли, которые применялись всеми пользователями.

При создании или редактировании плейбука (рис. 7) пользователю будет выдана рекомендация, которая основывается на том, что если пользователь добавил себе, например, роль Docker, которая часто используется в связке с ролью Docker-compose, то ему может быть интересна роль Docker-compose (рис. 8).



Рис. 7. Страница управления плейбуками



Рис. 8. Окно редактирования плейбука с примером рекомендации роли на основании добавленных рекомендаций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы была разработана система рекомендации и автоматизации развертывания программного обеспечения на удаленных терминалах. Система полностью решает поставленные на нее задачи, основными ее преимуществами являются низкий порог вхождения и простота использования.

Было проведено исследование популярности языков программирования и стеков технологий, используемых для разработки ПО, что позволило решить проблему холодного старта в разработанной рекомендательной системе.

В будущем планируется расширить функционал системы с предоставлением рекомендаций по составлению конфигураций. Также планируется реализовать применение конфигураций к операционным системам семейства Windows.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютеризация [Электронный ресурс] // Большой энциклопедический словарь. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/161134> (дата обращения: 28.05.2019).
2. *Хлебенских Л.В., Зубкова М.А., Саукова Т.Ю.* Автоматизация производства в современном мире [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2017. – № 16. – С. 308–311. – URL <https://moluch.ru/archive/150/42390/> (дата обращения: 28.05.2019).
3. *Balalaie A., Heydarnoori A., Jamshidi P.* Microservices architecture enables DevOps: migration to a cloud-native architecture // IEEE Software. – 2016. – Vol. 33 (3). – P. 42–52. – DOI: 10.1109/MS.2016.64.
4. *Koren Y., Bell R., Volinsky C.* Matrix factorization techniques for recommender systems // Computer. – 2009. – Vol. 42 (8). – P. 30–37.
5. *Melville P., Sindhvani V.* Recommender systems // Encyclopedia of Machine Learning / ed. by C. Sammut, J. Webb. – Boston, MA: Springer, 2010. – P. 829–838. – ISBN 978-0-387-30768-8.
6. *Melville P., Mooney R., Nagarajan R.* Content-boosted collaborative filtering for improved recommendations // Eighteenth national conference on artificial intelligence AAAI-02. – Austin, TX, USA, 2002. – P. 187–192.
7. *O'Mahony M.* Collaborative recommendation: a robustness analysis // ACM Transactions on Internet Technology. – 2004. – Vol. 4, N 4. – P. 344–377.
8. *Гурвиц Г.А.* Разработка реального приложения в среде клиент-сервер. – Хабаровск: ДВГУПС, 2005. – С. 32–34.
9. *Кнут Д.* Искусство программирования. Т. 1. Основные алгоритмы. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2006.

10. *Лутц М.* Программирование на Python. Т. 1. – М.: Символ, 2016. – С. 108–213.
11. *Омеляненко Е.А., Басыня Е.А., Сафронов А.В.* Разработка системы контроля и управления доступом персонала в рудник на основе биометрической идентификации // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник трудов научно-практической конференции, Курск, 13–14 окт. 2017 г. – Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2017. – С. 142–149. – ISBN 978-5-9905939-3-0.
12. *Хахаев И.А.* Практикум по алгоритмизации и программированию на Python: учебник. – М.: Альт Линукс, 2010.
13. *Саммерфилд М.* Программирование на Python 3: подробное руководство. – М.: Символ, 2016.
14. *Кристиан Л., Грегори Д.* Гибкое тестирование: практическое руководство для тестировщиков ПО и гибких команд. – М.: Вильямс, 2010. – 464 с.
15. *Бейзер Б.* Тестирование черного ящика: технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. – СПб.: Питер, 2004.

Омеляненко Егор Анатольевич, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.
E-mail: egaom@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-42-54

Developing a system for recommending and automating software deployment to remote terminals*

Е.А. Omelyanenko

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of Technical Sciences, undergraduate of the department of computer engineering. E-mail: egaom@mail.ru

The past few decades saw the rapid development of computer technology and information technology. Computers are so firmly established in our lives that it is already impossible to imagine work in many industries, for example, in architecture, banking, medicine, without using them.

With the new industries computerization and areas of life, the number of computers in the workplace and the number of software (software) specific to a particular profession will grow.

* Received 15 November 2018.

Also, in most cases, not a single working tool is used, but some combination of them, which may differ for specialists in one area, and even for specialists working on one project. For example, in a website developing, the server-side developer will use one set of software, and the client-side developer another.

It appears from the facts, as described above, that there is the problem of configuring and installing software products in various combinations for a large number of computers (workstations). In large companies, specialized departments of engineers are responsible for this, but, it is often unprofitable or not necessary among small and medium businesses to maintain an entire department, or even a single specialist, for these purposes.

The described problems could solve existing configuration management systems, but they are too difficult to learn and use, because they were designed to manage servers and cannot be used by people without substantive knowledge in the field of information technology. The developed solution solves the problems described.

Keywords: computerization, automation, configuration, recommender system, asynchrony, microservice architecture, containerization, Ansible

REFERENCES

1. Komp'yuterizatsiya [Computerize]. *Bol'shoi entsiklopedicheskii slovar'* [Big encyclopaedic dictionary]. Available at: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/161134> (accessed 28.05.2019).
2. Khlebenskikh L.V., Zubkova M.A., Saukova T.Yu. Avtomatizatsiya proizvodstva v so-vremennom mire [Automation of production in the modern world]. *Molodoi uchenyi – Young Scientist*, 2017, no. 16, pp. 308–311. Available at: <https://moluch.ru/archive/150/42390/> (accessed 28.05.2019).
3. Balalae A., Heydarnoori A., Jamshidi P. Microservices architecture enables DevOps: migration to a cloud-native architecture. *IEEE Software*, 2016, vol. 33 (3), pp. 42–52. DOI: 10.1109/MS.2016.64.
4. Koren Y., Bell R., Volinsky C. Matrix factorization techniques for recommender systems. *Computer*, 2009, vol. 42 (8), pp. 30–37.
5. Melville P., Sindhvani V. Recommender systems. *Encyclopedia of Machine Learning*. Ed. by C. Sammut, J. Webb. Boston, MA, Springer, 2010, pp. 829–838. ISBN 978-0-387-30768-8.
6. Melville P., Mooney R., Nagarajan R. Content-boosted collaborative filtering for improved recommendations. *Eighteenth national conference on artificial intelligence AAAI-02*, Austin, TX, USA, 2002, pp. 187–192.
7. O'Mahony M. Collaborative recommendation: a robustness analysis. *ACM Transactions on Internet Technology*, 2004, vol. 4, no. 4, pp. 344–377.
8. Gurvits G.A. *Razrabotka real'nogo prilozheniya v srede klient-server* [Developing a real-world client-server application]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2005, pp. 32–34.
9. Knuth D.E. *The art of computer programming*. Vol. 1. *Fundamental algorithms*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1997 (Russ. ed.: Knut D.E. *Iskusstvo programmirovaniya*. T. 1. *Osnovnye algoritmy*. 3rd ed. Moscow, Vil'yams Publ., 2006.

10. Lutz M. *Programmirovanie na Python*. T. 1 [Programming in Python]. Moscow, Simvol Publ., 2016, pp. 108–213. (In Russian).

11. Omel'yanenko E.A., Basynya E.A., Safronov A.V. [Development of a system of control and management of personnel access to the mine based on biometric identification]. *Perspektivnoe razvitie nauki, tekhniki i tekhnologii: sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Perspective development of science, engineering and technology: transaction of papers of the scientific-practical conference], Kursk, 13–14 October 2017, pp. 142–149. ISBN 978-5-9905939-3-0. (In Russian).

12. Khakhaev I.A. *Praktikum po algoritmizatsii i programmirovaniyu na Python* [Workshop on algorithms and programming in Python]. Moscow, Al't Linuks Publ., 2010.

13. Summerfield M. *Programmirovanie na Python 3: Podrobnoe rukovodstvo* [Programming in Python 3: a complete introduction to the Python language]. Moscow, Simvol Publ., 2016.

14. Crispin L., Gregory J. *Gibkoe testirovanie: prakticheskoe rukovodstvo dlya testirovshchikov PO i gibkikh komand* [Agile testing: a practical guide for testers and agile teams]. Moscow, Vil'yams Publ., 2010. 464 p.

15. Beizer B. *Testirovanie chernogo yashchika: tekhnologii funktsional'nogo testirovaniya programmnoho obespecheniya i sistem* [Black-box testing: techniques for functional testing of software and systems]. St. Petersburg, Piter Publ., 2004.

Для цитирования:

Омеляненко Е.А. Разработка системы рекомендации и автоматизации развертывания программного обеспечения на удаленных терминалах // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 42–54. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-42-54.

For citation:

Omel'yanenko E.A. Razrabotka sistemy rekomendatsii i avtomatizatsii razvertyvaniya programmnoho obespecheniya na udalennykh terminalakh [Developing a system for recommending and automating software deployment to remote terminals]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 42–54. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-42-54.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ*

С.Е. ПАРШИН

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: sergeyparshin54@gmail.com

В современном мире теория распознавания образов играет важную роль. Она практически применяется в распознавании лиц, в задачу которого входит автоматическая локализация лица на изображении и, при необходимости, идентификация человека по лицу. Быстротечность современной жизни диктует растущие требования для всё более новых и совершенных методов локализации и распознавания лиц. Интерес к ним довольно значителен ввиду их широкого практического применения в таких областях, как охранные системы, системы обеспечения безопасности в местах массового пребывания людей, антитеррористические системы, криминалистическая экспертиза, верификация, мобильные устройства и т. д.

Технология идентификации личности на основе изображения лица не требует физического контакта с устройством, как это требуется при использовании других биометрических показателей, и с учетом стремительного развития цифровых технологий является наиболее предпочтительной для массового применения. Но она имеет основную трудность, заключающуюся в зависимости качества результата распознавания человека по изображению лица от положения, ракурса, условий освещенности и т. д.

Данная работа посвящена выработке рекомендаций по выбору параметров, в привязке к алгоритму, который на выходе будет выдавать ожидаемую точность результата работы. Для анализа были взяты алгоритмы распознавания лиц: метод главных компонент, активные модели внешнего вида, метод гибкого сравнения на графах, сверточные нейронные сети. Для каждого из алгоритмов выявлены преимущества и недостатки. Описана архитектура выбранного алгоритма распознавания лица. Определены параметры, влияющие на точность результатов работы. По итогам исследования были выявлены недостатки выбранного алгоритма, а также предложены варианты модификации алгоритма с целью повышения процента точности распознавания.

Ключевые слова: распознавание лиц, метод главных компонент, сверточные нейронные сети, метод гибкого сравнения на графах, активные модели внешнего вида

* Статья получена 14 декабря 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

В задачу биометрических методов распознавания лиц входит автоматическое определение лица на изображении и, при необходимости, идентификация человека [1]. Интерес к сфере обнаружения распознавания лиц значителен благодаря разнообразию их практического применения в таких областях, как охранные системы, криминалистическая экспертиза, верификация, телеконференции, в фототехнике для автоматической фокусировки на лице человека и т. д. [Там же].

На сегодняшний день существует несколько десятков компьютерных методов распознавания лиц [8]. Однако эти методы не дают 100 %-й надежности идентификации и вместе с этим обладают ограничениями по времени распознавания.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В рамках настоящей работы поставлена задача провести исследование параметров алгоритмов распознавания лиц.

Процесс исследования можно разбить на несколько подзадач, а именно:

1) выполнить обзор методов и алгоритмов обнаружения и распознавания лиц. Задача распознавания лиц подразделяется на задачу обнаружения лиц на изображении и задачу распознавания лица на изображении;

2) выполнить обзор подходящих инструментов разработки и существующих решений и выбрать наиболее подходящие инструменты для разработки программного обеспечения;

3) описать архитектуру выбранного алгоритма распознавания лиц;

4) по итогам тестирования алгоритма определить степень влияния отдельных параметров на точность результатов работы;

5) выработать рекомендации по улучшению алгоритма для получения заданной точности.

2. ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ

Для разработки ПО для тестирования влияния параметров на точность результатов работы алгоритмов распознавания лиц были выбраны следующие сервисы.

1. Язык программирования Python [9].

Причины выбора данного языка:

- этот язык поддерживает основные парадигмы программирования, которые нужны для выполнения данной работы (ООП, функциональное программирование, процедурное программирование);

- легко читаемый код;
- множество полезных библиотек.

2. Библиотека NumPy [Там же] – библиотека языка Python, добавляющая поддержку больших многомерных массивов и матриц, вместе с большой библиотекой высокоуровневых и математических функций для операций с этими массивами.

3. Библиотека OpenCV [Там же] – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом.

Используемые средства из этой библиотеки:

- методы распознавания лиц (EigenFaces, FisherFaces, LBPH);
- алгоритм Лукаса–Канаде для отслеживания лиц;
- алгоритм Виолы–Джонса для детектирования лиц.

4. Библиотека Dlib [Там же] – библиотека алгоритмов машинного обучения и разных дополнительных вспомогательных инструментов. Из этой библиотеки используется готовая обученная модель ААМ для нахождения лицевых точек.

5. Библиотека OpenFace – открытая библиотека для распознавания лиц, использующая глубокую сверточную нейронную сеть, которая основана на технологии FaceNet.

3. ОБЗОР АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Большинство представленных алгоритмов имеют общую структуру процесса распознавания (рис. 1).

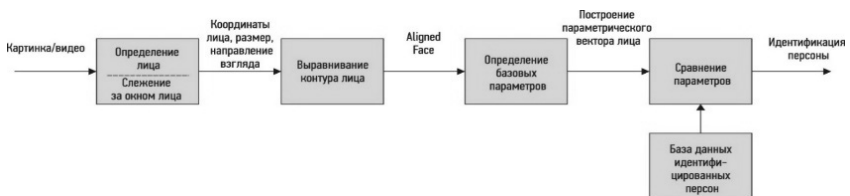


Рис. 1. Общий процесс обработки изображения лица при распознавании

На первом этапе выполняется детектирование и локализация лица на изображении. Этап распознавания сопровождается выравниванием изображения лица (геометрическое и яркостное), также выполняется вычисление при-

знаков и непосредственно распознавание – сопоставление вычисленных признаков с заложенными в базу данных эталонами. Главным различием всех представленных алгоритмов будет вычисление признаков и сравнение их совокупностей между собой [2].

Метод гибкого сравнения на графах

Суть метода сводится к эластичному сопоставлению графов, описывающих изображения лиц. Лица представлены в виде графов со взвешенными вершинами и ребрами. На этапе распознавания один из графов остается неизменным, в то время как другой деформируется с целью наилучшей подгонки к первому. В подобных системах распознавания графы могут представлять собой как прямоугольную решетку, так и структуру, образованную характерными (антропометрическими) точками лица (рис. 2) [3].

В вершинах графа рассчитываются значения признаков, чаще всего используют комплексные значения фильтров Габора или их упорядоченных наборов – габоровских вейвлет, которые вычисляются в некоторой локальной области вершины графа путем свертки значений яркости пикселей с фильтрами Габора [Там же].

Ребра графа взвешиваются расстояниями между смежными вершинами. Разница (расстояние, дискриминационная характеристика) между двумя графами определяется при помощи некоторой ценовой функции деформации, учитывающей как различие между значениями признаков, вычисленными в вершинах, так и степень деформации ребер графа [7].

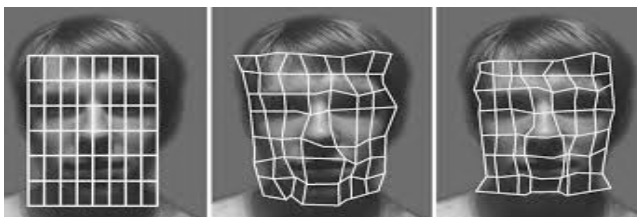


Рис. 2. Пример деформации графа в виде регулярной решетки

Преимущества:

- высокая точность распознавания (~90 %);
- устойчивость к смене ракурса (до 30°);
- влияние смены мимики на точность распознавания ниже, чем у остальных рассмотренных алгоритмов.

Недостатки:

- высокая вычислительная сложность процедуры распознавания;

- низкая технологичность при запоминании новых эталонов;
- линейная зависимость времени работы от размера базы данных лиц.

Нейронные сети

В настоящее время существует около десятка разновидностей нейронных сетей. Одним из самых широко используемых вариантов является сеть, построенная на многослойном перцептроне, которая позволяет классифицировать поданное на вход изображение/сигнал в соответствии с предварительной настройкой и обучением сети [5].

Обучаются нейронные сети на наборе обучающих примеров. Суть обучения сводится к настройке весов межнейронных связей в процессе решения оптимизационной задачи методом градиентного спуска. В процессе обучения нейронной сети происходит автоматическое извлечение ключевых признаков, определение их важности и построение взаимосвязей между ними. Предполагается, что обученная нейронная сеть сможет применить опыт, полученный в процессе обучения, при распознавании неизвестных образов за счет обобщающих способностей [Там же].

Отличительными особенностями сверточных нейронных сетей являются локальные рецепторные поля (обеспечивают локальную двумерную связность нейронов), общие веса (обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения) и иерархическая организация с пространственными сэмпингом [6].

Преимущества:

- точность распознавания $> 90 \%$, устойчивость к шумам входных данных;
- высокое в сравнении с прочими рассмотренными алгоритмами быстродействие вследствие распараллеливания процесса.

Недостатки:

- трудная реализация;
- переобучение при добавлении эталонного лица в базу данных.

Метод главных компонент

Одним из наиболее известных и проработанных является метод главных компонент, основанный на преобразовании Карунена–Лоева.

Главной целью метода главных компонент является значительное уменьшение размерности пространства признаков таким образом, чтобы оно как можно лучше описывало «типичные» образы, принадлежащие множеству лиц. Используя этот метод, можно выявить различные изменчивости в обучающей выборке изображений лиц и описать эту изменчивость в базисе нескольких ортогональных векторов, которые называются собственными [7].

Полученный один раз на обучающей выборке изображений лиц набор собственных векторов используется для кодирования всех остальных изображений лиц, которые представляются взвешенной комбинацией этих собственных векторов.

Преимущества:

- более низкое потребление памяти при работе по сравнению с прочими рассмотренными алгоритмами;
- простой процесс добавления новых эталонных лиц к уже обученному алгоритму.

Недостатки:

- большая по сравнению с конкурентами чувствительность к освещенности, мимике и углу поворота головы;
- более строгие требования к качеству обучающих изображений по сравнению с остальными рассматриваемыми алгоритмами.

Активные модели внешнего вида

Активные модели внешнего вида – это статистические модели изображений, которые путем разного рода деформаций могут быть подогнаны под реальное изображение.

Активная модель внешнего вида содержит два типа параметров: параметры, связанные с формой (параметры формы), и параметры, связанные со статистической моделью пикселей изображения или текстурой (параметры внешнего вида). Перед использованием модель должна быть обучена на множестве заранее размеченных изображений. Разметка изображений производится вручную. Каждая метка имеет свой номер и определяет характерную точку, которую должна будет находить модель во время адаптации к новому изображению [8].

Процедура обучения начинается с нормализации форм на размеченных изображениях с целью компенсации различий в масштабе, наклоне и смещении. Для этого используется так называемый обобщенный прокрустов анализ (рис. 3) [Там же].

Далее из пикселей внутри треугольников, образуемых точками формы, формируется матрица такая, что каждый ее столбец содержит значения пикселей соответствующей текстуры. Стоит отметить, что используемые для обучения текстуры могут быть как одноканальными (градации серого), так и многоканальными (например, пространство цветов RGB или другое). В случае многоканальных текстур векторы пикселей формируются отдельно по каждому из каналов, а потом выполняется их конкатенация. После нахождения главных компонент матрицы текстур модель считается обученной [Там же].



Рис. 3. Пример подгонки модели на конкретное изображение

Преимущества:

- быстрые, простые, точные;
- легко обобщаются на 3D.

Недостатки:

- изображение используется частично;
- необходима хорошая разметка.

Таким образом, в результате анализа алгоритмов распознавания лиц для каждого из алгоритмов выявлены достоинства и недостатки, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки алгоритмов распознавания лиц

Алгоритм	Преимущества	Недостатки
Метод гибкого сравнения на графах	Высокая точность распознавания (~90 %) Устойчивость к смене ракурса (до 30°)	Высокая вычислительная сложность процедуры распознавания Линейная зависимость времени работы от размера базы данных лиц
Сверточные нейронные сети	Точность распознавания более 90 % Устойчивость к шумам входных данных Возможность распараллеливания вычислений и реализации алгоритмов обучения сети на графических процессорах	Большая по сравнению с конкурентами чувствительность к освещенности, мимике и углу поворота головы Более строгие требования к качеству обучающих изображений

Окончание табл. 1

Алгоритм	Преимущества	Недостатки
Метод главных компонент	Более низкое потребление памяти при работе	Большая чувствительность к освещенности, мимике и углу поворота головы
	Простой процесс добавления новых эталонных лиц к уже обученному алгоритму	Более строгие требования к качеству обучающих изображений по сравнению с остальными рассматриваемыми алгоритмами
Активные модели внешнего вида	Быстрые, простые, точные, легко обобщаются на 3D	Изображение используется частично; необходима хорошая разметка

Опираясь на преимущества перечисленных алгоритмов в табл. 1, для дальнейшего исследования было решено использовать сверточную нейронную сеть.

4. ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ АЛГОРИТМА

Как и для многослойного персептрона, работа алгоритма сверточных нейронных сетей состоит из двух этапов:

- обучение сети (настройка весов) на тренировочной выборке;
- использование сети для распознавания.

Обучение проводится методом обратного распространения ошибки, модифицированным с учетом архитектуры сети.

Так как вычислительная трудоемкость алгоритма высока, изображения масштабируются. Архитектура сверточной сети изображена на рис. 4.

Сеть содержит слои трех видов: сверточные, подвыборочные и полносвязные. Подвыборочные слои служат лишь для масштабирования, их веса постоянны. Сверточные слои служат для нахождения признаков. Полносвязные слои представляют собой обычный персептрон с количеством нейронов, совпадающим с количеством классов идентификации, и служат для финальной классификации.

Для проведения подробных исследований работы базового алгоритма была создана тестирующая система с подробной визуализацией состояния сети и полученных результатов. На основе анализа этих данных были сделаны выводы об основных причинах ошибок в процессе работы базового алгоритма.

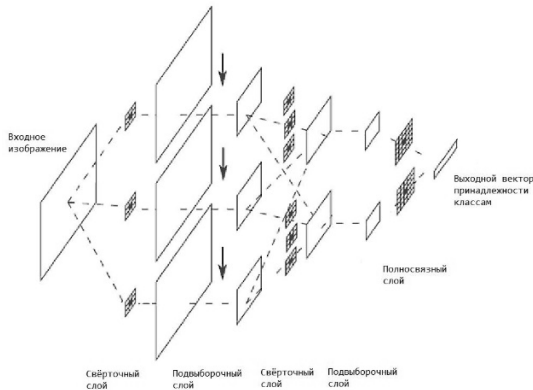


Рис. 4. Архитектура сверточной нейронной сети

Также в настоящей работе будет предложена модификация, направленная на решение основных недостатков сверточных сетей – неполной инвариантности алгоритма к степени яркости изображения, шумам и местоположению лица на изображении.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Для тестирования реализованного алгоритма использовались базы ORL (рис. 5) и FERET (рис. 6).



Рис. 5. Пример изображений лиц в базе ORL

База ORL содержит 400 портретных фотографий 40 человек (по 10 изображений на человека). При тестировании база случайным образом разбивалась на 2 непересекающихся набора по 200 изображений (5 изображений на человека). Один набор использовался в качестве обучающей выборки, другой набор – в качестве тестовой.



Рис. 6. Пример изображений лиц в базе FERET

Из базы ЕЕКЕТ при экспериментах использовались изображения, относящиеся к классам, представленным четырьмя портретами. База аналогичным образом равномерно разбивалась на две выборки.

Для полноценного сравнения эксперименты проводились с различными конфигурациями нейронных сетей. Результаты приведены для четырех наиболее типичных конфигураций:

- 1) два сверточных слоя (10 и 30 нейронов);
- 2) два сверточных слоя (20 и 20 нейронов);
- 3) три сверточных слоя (10, 20 и 20 нейронов);
- 4) три сверточных слоя (5, 10 и 10 нейронов).

В табл. 2 содержатся результаты экспериментов для базы ORL. Как видно, для базовой версии алгоритма результаты лучше при двух сверточных слоях, в то время как модифицированный алгоритм показывает большую точность при наличии трех слоев. В целом доля ошибок для модифицированного алгоритма меньше в 1,2...2,5 раза.

Таблица 2

Результаты тестирования алгоритма на базе ORL

Алгоритм	1	2	3	4
Базовый	95 %	93,5 %	94 %	92,5 %
Модифицированный	96 %	94,5 %	97,5 %	97 %

Для базы FERET результаты хуже в силу ее сложности. Они приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты тестирования алгоритма на базе FERET

Алгоритм	1	2	3	4
Базовый	80 %	76,5 %	78,7 %	78,5 %
Модифицированный	86 %	84,2 %	88 %	87,2 %

Анализируя конкретные случаи ошибок, можно сделать вывод, что точность возрастает в первую очередь за счет изображений с шумами и плохим качеством освещения.

**6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ АЛГОРИТМА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ**

Проанализировав результаты тестирования алгоритма, можно сказать, что часть ошибок возникает из-за шума на изображении, который при масштабировании дает эффект «смазывания». Более частая причина – это неполная инвариантность алгоритма к уровню освещенности. Из рассмотрения значения выходов первого слоя нейронов становится ясно, что после обучения значительная часть нейронов начинает реагировать лишь на освещенность, явно отделяя фон от объекта. Следующая группа ошибок возникает для изображений, содержащих лицо со значительным поворотом или наклоном (при условии, что в обучающей выборке для этого класса подобного изображения не было).

Для уменьшения влияния шумов и общего улучшения точности на стадии предобработки предлагается использовать вейвлетное преобразование.

Для увеличения устойчивости алгоритма к качеству освещения обычно применяется метод нормализации. Его суть состоит в приведении статистических характеристик изображения (математического ожидания и дисперсии значений пикселей) к фиксированным значениям.

Главное преимущество данного метода – его простота и высокая скорость. Основной недостаток проявляется в случае, когда фон «задавливает» информативную часть изображения, вследствие чего значение слабо отличается. В качестве решения предлагается проводить нормализацию локально – для каждого набора входных значений нейрона. Процесс обучения также модифицируется с учетом нормализации. Данный механизм применяется в первом сверточном слое. По результатам тестирования можно сделать вывод, что

наибольшая точность достигается в случае, когда в первом сверточном слое присутствуют нейроны с нормализацией и без нее.

Для решения проблемы устойчивости к изменению положения наиболее простым способом является увеличение числа слоев в сети, что влечет за собой большую независимость полученных признаков от расположения на изображении. Однако это значительно увеличивает время, затрачиваемое на обучение. Для компенсации был использован метод адаптивного обучающего шага. Он заключается в выборе на каждой итерации индивидуального значения шага с целью минимизации среднеквадратичной ошибки сети. Это обеспечивает значительно более быстрое и устойчивое схождение весов в сети. После адаптации механизма для случая сверточной сети удалось повысить количество сверточных слоев в сети до трех при сохранении приемлемого времени обучения.

Следующая составляющая направлена как на повышение инвариантности к положению лица, так и на общее повышение точности алгоритма для простых условий. Благодаря использованию обратных связей в нейронных сетях информация о признаках низкого уровня, важная для конкретного случая распознавания, получает акцент. Однако, сложность и трудоемкость алгоритма значительно возрастает, а устойчивость обучения снижается. Модифицированный алгоритм содержит упрощенные обратные связи, которые участвуют в работе сети, но не корректируются в процессе обучения, вместо этого вычисление их весов происходит после окончания цикла обучения; при помощи персептрона определяется зависимость между признаками последнего уровня и признаками 1-го уровня. При работе алгоритма после получения значений для признаков высокого уровня происходит коррекция признаков низкого уровня в соответствии с выявленными взаимосвязями. Данная процедура повторяется до достижения равновесия. Эксперименты показали уменьшение ошибок в случаях, когда стандартный алгоритм при распознавании колеблется между двумя классами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан подход к проблеме распознавания человека по изображению лица, основанный на применении сверточных нейронных сетей.

Была предложена модификация, направленная на решение основных недостатков сверточных сетей – неполной инвариантности алгоритма к степени яркости изображения, шумам и местоположению лица на изображении. Предложенная модификация включает вейвлетную предобработку изображения, локальную нормализацию, использование обратных связей. Для ускорения

процесса обучения алгоритм был дополнен выбором адаптивного этапа обучения.

Для экспериментов на базах ORL и FERET предложенный алгоритм показал большую точность распознавания в сравнении с классическим алгоритмом сверточных сетей. Уровень ошибок распознавания снизился в 1,2...2,5 раза в зависимости от конфигурации сети и набора изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мищенко Е.С. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания лиц // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9, Исследования молодых ученых. – 2016. – № 11. – С. 74–76.
2. Самаль Д.И., Фролов И.И. Алгоритм подготовки обучающей выборки с использованием 3D-моделирования лиц // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 4. – С. 17–23.
3. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека. – СПб.: Политехника, 2012. – 240 с.
4. Тропченко А.А., Тропченко А.Ю. Нейросетевые методы идентификации человека по изображению лица // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2015. – Т. 55, № 10. – С. 31–36.
5. Скопченко А.А., Дорофеев В.А. Анализ методов распознавания лиц // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–23 марта 2016 г. – Томск, 2016. – С. 176–178.
6. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/> (дата обращения 06.06.2019).
7. Face recognition with OpenCV [Electronic resource]. – URL: https://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/facerec/facerec_tutorial.html (accessed: 06.06.2019).
8. Выделение и распознавание лиц – Техническое зрение [Электронный ресурс]. – URL: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Выделение_и_распознавание_лиц (дата обращения: 06.06.2019).
9. Распознавание лиц с помощью OpenCV, Python и deep learning [Электронный ресурс]. – URL: http://ai-news.ru/2018/06/raspoznavanie_lic_s_potomshu_opencv_python_i_deep_learning.html (дата обращения: 06.06.2019).
10. OpenFace – распознаем лица с помощью Google FaceNet [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythondigest.ru/view/7328> (дата обращения: 06.06.2019).

Паришин Сергей Евгеньевич, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: sergeyparshin54@gmail.com

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-55-70

Research of parameters of face recognition algorithms*

S.E. Parshin

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, undergraduate of the department of computer engineering. E-mail: sergeyparshin54@gmail.com

In today's world, pattern recognition theory plays an important role. It is practically used in face recognition, the task of which is to automatically locate a face in an image and, if necessary, identify a person by face. The transience of modern life dictates the growing demands for more and more new and improved methods of localizing and recognizing faces. Interest in them is quite significant, in view of their wide practical application in areas such as security systems, security systems in places of mass stay of people, anti-terrorism systems, forensic expertise, verification, mobile devices, etc.

Personal identification technology based on the face image does not require physical contact with the device, as is required when using other biometric indicators, and taking into account the rapid development of digital technology is the most preferred for mass use. But it has the main difficulty, which consists in the dependence of the quality of the result of recognition of a person on the face image on the position, angle, lighting conditions, etc.

This work is devoted to the development of recommendations on the choice of parameters, in conjunction with the algorithm, which at the output will produce the expected accuracy of the result of work. For the analysis, face recognition algorithms were taken: the method of principal components, active appearance models, the method of flexible comparison on graphs, convolutional neural networks. For each of the algorithms, advantages and disadvantages were identified. The architecture of the selected face recognition algorithm is described. The parameters affecting the accuracy of the results of work. According to the results of the study, the shortcomings of the selected algorithm were identified, and variants of the algorithm modification were proposed in order to increase the percentage of recognition accuracy.

Keywords: face recognition, principal component method, convolutional neural networks, method of flexible comparison on graphs, active appearance models

* Received 14 December 2018.

REFERENCES

1. Mishchenkova E.S. Srovnitel'nyi analiz algoritmov raspoznavaniya lits [Comparative analysis of face recognition algorithms]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 9, Issledovaniya molodykh uchenykh – Science Journal of Volgograd State University. Young Scientists' Research*, 2016, no. 11, pp. 74–76.
2. Samal D.I., Frolov I.I. Algoritm podgotovki obuchayushchei vyborki s ispol'zovaniem 3D-modelirovaniya lits [Algorithm of preparation of the training sample using 3d-face modeling]. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika – System analysis and applied information science*, 2016, no. 4, pp. 17–23.
3. Kukharev G.A. *Biometricheskie sistemy: metody i sredstva identifikatsii lichnosti cheloveka* [Biometric systems: methods and means of identification of a person]. St. Petersburg, Politehnika Publ., 2012. 240 p.
4. Tropchenko A.A., Tropchenko A.Yu. Neurosetevye metody identifikatsii cheloveka po izobrazheniyu litsa [Neural network methods of human identification by the image of a person]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie – Journal of Instrument Engineering*, 2015, vol. 55, no. 10, pp. 31–36.
5. Skopchenko A.A., Dorofeev V.A. [Analysis of facial recognition methods]. *Tekhnologii Microsoft v teorii i praktike programmirovaniya: sbornik trudov XIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Microsoft technologies in the theory and practice of programming: collection of works of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists], Tomsk, March 22–23, 2016, pp. 176–178. (In Russian).
6. *Analiz sushchestvuyushchikh podkhodov k raspoznavaniyu lits* [Analysis of existing approaches to face recognition]. Available at: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/> (accessed 06.06.2019).
7. *Face recognition with OpenCV*. Available at: https://docs.opencv.org/2.4/modules/contrib/doc/face_recognition/tutorial.html (accessed 06.06.2019).
8. *Vydelenie i raspoznavanie lits – Tekhnicheskoe zrenie* [Isolation and facial recognition – Technical vision]. Available at: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Vydelenie_i_raspoznavanie_lits (accessed 06.06.2019).
9. *Raspoznavanie lits s pomoshch'yu OpenCV, Python i deep learning* [Face recognition using OpenCV, Python and DL]. Available at: http://ai-news.ru/2018/06/raspoznavanie_lits_s_pomoshhu_opencv_python_i_deep_learning.html (accessed 06.06.2019).
10. *OpenFace – raspoznaem litsa s pomoshch'yu Google FaceNet* [OpenFace – we recognize faces using Google FaceNet]. Available at: <https://pythondigest.ru/view/7328> (accessed 06.06.2019).

Для цитирования:

Паришин С.Е. Исследование параметров алгоритмов распознавания лиц // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 55–70. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-55-70.

For citation:

Parshin S.E. Issledovanie parametrov algoritmov raspoznavaniya lits [Research of parameters of face recognition algorithms]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 55–70. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-55-70.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 519.23

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА LS–SVM ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРОИЗВОДНЫМИ ТИОМОЧЕВИНЫ В ВОДНЫХ И ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ*

Ш.А. БОБОЕВ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, соискатель кафедры теоретической и прикладной информатики. E-mail: shboboev@mail.ru

В работе рассматривается способ определения констант устойчивости комплексов серебра. Процесс образования тиокарбогидразидных комплексов серебра(I) в водно-спиртовых растворах, содержащих 25, 50 и 75 объемн. % метилового и этилового спирта, при 298 К исследуется методом потенциометрического титрования. Приведено подробное описание данного процесса и определение констант устойчивости комплексов серебра с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Целью данной работы явилось исследование процесса комплексообразования Ag(I) с тиокарбогидразидом (ТКЗ) в водно-спиртовых растворах, содержащих 25, 50 и 75 объемн. % метанола и этанола при 321, 325 и 335 К. В работе рассмотрено сравнение полученных методами МНК и LS–SVM результатов исследования комплексообразования серебра в водных и водно-органических растворах. Проведены соответствующие вычислительные эксперименты. В качестве ядерной функции для метода LS–SVM было использовано полиномиальное ядро. Вычислительный эксперимент проводился на основе выборки, полученных в результате метода титрования. Приведены результаты критерия детерминации, полученные методами МНК и LS–SVM, в виде таблиц, а также зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для тиокарбогидразидных комплексов серебра(I) в водно-метанольных растворах, содержащих 1-25, 2-50 и 3-75 объемн. % спирта при 298 К. Делаются выводы об использовании метода LS–SVM для определения констант устойчивости образования комплексов переходных металлов с производными тиомочевины в водных и водно-органических растворах.

Ключевые слова: регрессия, метод LS–SVM, ядерная функция, параметр регуляризации, комплексообразование переходных металлов, водно-органические растворы, производные тиомочевины, титрование

* Статья получена 06 декабря 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Практическая значимость водно-органических растворителей определяется важностью варьирования их физико-химических свойств с целью создания сред для благоприятного протекания различных реакций, в том числе и реакций комплексообразования.

Одним из наиболее распространенных методов оценки термодинамических функций процесса образования комплексных частиц считается метод температурного коэффициента. С использованием этого метода были рассчитаны термодинамические функции процесса комплексообразования.

Как известно, на устойчивость комплексных соединений влияет не только природа раствора, но и другие факторы, связанные с природой органического лиганда. Координационные соединения ионов различных металлов с серосодержащими лигандами имеют большое практическое значение. К этому числу лигандов относят и производные тиомочевины. Тиомочевина и ее производные широко используются в аналитической химии и в настоящее время составляют основу многих лекарственных и биологически активных веществ. Известно, что тиомочевина и некоторые ее производные [1, 2] окисляются до соответствующих дисульфидов по уравнению $2R = SR - S - S - R$. Эта система широко используется для изучения процесса комплексообразования тиомочевины с переходными металлами. Введение в молекулу тиомочевины этильных радикалов может оказать влияние на ее восстановительную способность, количественной характеристикой которой является значение электродного потенциала системы.

Целью работы явилось исследование процесса комплексообразования $Ag(I)$ с тиокарбонгидразидом (ТКЗ) в водно-спиртовых растворах, содержащих 25, 50 и 75 объемн. % метанола и этанола при 321, 325 и 335 К.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Равновесную концентрацию иона серебра определяем по уравнению

$$\lg [Ag^+] = \lg C_{Ag^+} - \frac{\Delta E}{1.985 \cdot 10^{-4} T},$$

где $[Ag^+]$ – равновесная концентрация ионов серебра в каждой точке титрования; $\Delta E = E_1 - E_2$, E_1 – начальный потенциал системы, E_2 – потенциал системы в каждой точке титрования; C_{Ag^+} – концентрация серебра в каждой точке титрования с учетом разбавления.

Равновесную концентрацию тиокарбоната определяем по уравнению

$$L = C_L - n(C_{\text{Ag}^+} - [\text{Ag}]),$$

где C_L – концентрация тиокарбоната в каждой точке титрования; n – число молекул тиокарбоната, присоединенных серебром (I); C_{Ag^+} – концентрация серебра (I) в каждой точке титрования; $[\text{Ag}^+]$ – равновесная концентрация ионов серебра в каждой точке титрования.

Исследование проводилось в водно-спиртовых растворах при температуре 298 К и ионной силе 0,1 моль/л, создаваемой NaNO_3 . Начальная концентрация AgNO_3 была равна $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Начальная концентрация тиокарбоната составляла $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Для потенциометрического титрования использовалась ячейка с переносом. Индикаторным электродом служила пластинка из серебра, электрод сравнения – хлорсеребряный. Потенциал системы при потенциометрическом титровании измерялся с помощью рНМетерpH-150МП. Равновесное значение потенциала на индикаторном электроде устанавливалось в течение 10...15 минут.

В табл. 1 в качестве примера приводятся данные по определению равновесной концентрации иона серебра(I), равновесной концентрации тиокарбоната и функции Ладена в растворе, содержащем 25 объемн. % метанола при температуре 298 К по данным потенциометрического титрования.

Таблица 1

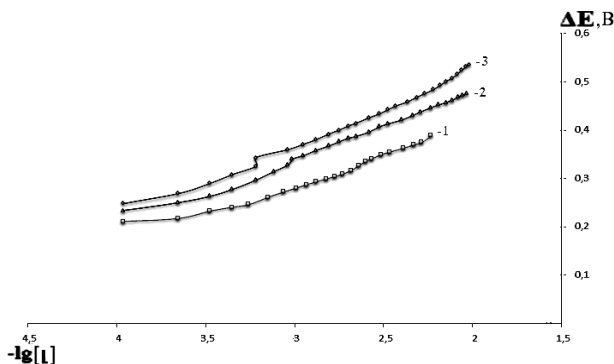
Данные по определению равновесной концентрации иона серебра(I), тиокарбоната и функции Ладена (F) в растворе, содержащем 25 объемн. % метанола при температуре 298 К по данным потенциометрического титрования с $\text{TKЗ} = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $C_{\text{Ag}^+} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л

$\Delta E_{\text{прак}}, \text{ В}$	$\Delta E_{\text{теор}}, \text{ В}$	$\text{TKЗ} \cdot 10^{-3}$ моль/л	$[\text{Ag}] \cdot 10^{-12}$ моль/л	$[\text{L}] \cdot 10^{-3}$ моль/л	$\lg F_0$
0,212	0,193	4	25380,75	0,108636	7,559
0,219	0,217	5,2	19178,5	0,221293	7,372
0,234	0,232	6,3	10573,87	0,332216	7,454
0,242	0,243	7,4	7715,83	0,441468	7,468
0,248	0,253	8,4	6181,93	0,549075	7,469
0,263	0,265	10	3343,75	0,707473	7,626
0,274	0,275	11,6	2180,39	0,862368	7,726

Окончание табл. 1

$\Delta E_{\text{прак}}, \text{В}$	$\Delta E_{\text{теор}}, \text{В}$	$\text{TK3} \cdot 10^{-3}$ моль/л	$[\text{Ag}] \cdot 10^{-12}$ моль/л	$[\text{L}] \cdot 10^{-3}$ моль/л	$\lg F_0$
0,282	0,283	1,3,1	1561,19	1,013873	7,801
0,289	0,29	14,6	1175,99	1,162097	7,864
0,295	0,297	16	935,55	1,307146	7,913
0,301	0,305	17,9	718,99	1,495777	7,968
0,305	0,312	19,7	597,41	1,679168	7,999
0,311	0,318	21,5	473,83	1,857536	8,055
0,319	0,324	23,7	347,92	2,073738	8,142
0,329	0,33	25,8	231,84	2,282782	8,276
0,337	0,336	27,8	163,83	2,485017	8,39
0,342	0,341	29,8	131,67	2,68077	8,452
0,351	0,349	33,5	90,58	3,054038	8,558
0,356	0,356	37	71,47	3,404819	8,614
0,364	0,368	43,4	49,76	4,046591	8,696
0,371	0,377	49,1	36,42	4,619355	8,774
0,376	0,384	54,3	28,12	5,133674	8,841
0,39	0,393	61,1	15,15	5,813744	9,055
0,397	0,4	67	10,94	6,40354	9,155
0,405	0,407	7,37	7,33	7,078049	9,285
0,41	0,411	7,81	5,62	7,516092	9,374
0,414	0,416	8,32	4,5	8,027402	9,442
0,417	0,421	8,87	3,65	8,572549	9,504
0,422	0,424	9,31	2,79	9,018182	9,6
0,424	0,428	9,71	2,4	9,41831	9,646

Для определения количества частиц, образующихся при действии серебра в водно-спиртовых растворах, был использован метод Яцимирского [1]. На рисунке представлена зависимость ΔE от $-\lg[\text{L}]$ для тиокарбогидразидных комплексов серебра(I) в водно-метанольных растворах при содержании спирта, равном 25 (1), 50 (2) и 75 (3) объемн. % при температуре 321, 325 и 335 К. Угол наклона зависимостей ΔE от $-\lg[\text{L}]$ при избытке тиокарбогидразида в растворе при вышеуказанных соотношениях (рисунок) равняется $0,180 \text{ В} \cdot \text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$ (1), $0,182 \text{ В} \cdot \text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$ (2) и $0,183 \text{ В} \cdot \text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$ (3), что свидетельствует о присоединении трех молекул тиокарбогидразида к иону серебра(I).



Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для тиокарбонидных комплексов серебра (I) в водно-метанольных растворах, содержащих 1-25, 2-50 и 3-75 объемн. % спирта при температуре 298 К

Проведенные исследования показали, что комплексообразование серебра(I) с тиокарбонидом в водно-этанольных растворах, содержащих 1-25, 2-50 и 3-75 объемн. % спирта при температуре 298 К, близко по характеру комплексообразования, которое протекает в водно-метанольных растворах. Проведенные исследования показали, что состав смешанного раствора не влияет на количество комплексных частиц, образующихся в системе Ag(I)-ТКЗ-Р, где Р – смешанный раствор [2–4].

2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для определения общих констант устойчивости комплексов серебра(I) с тиокарбонидом, по данным потенциометрического титрования, использовали нелинейный метод наименьших квадратов, основные положения которого изложены в работе [5], и метод LS-SVM.

Переходим к определению констант устойчивости образования комплексов серебра методом LS-SVM. Для этой цели воспользуемся алгоритмами, приведенными в работах [6–21].

Во время проведения экспериментов в качестве ядерной функции метода LS-SVM использовалось полиномиальное ядро. Значение параметра регуляризации было установлено фиксированным, и оно равно 1000. В качестве данных использовались выборки объемом 30, 31, 32, 33, 34 точки.

Далее, в табл. 2–4, приведены полученные значения критерия детерминации R^2 по методам МНК и LS-SVM.

Таблица 2

Значение R^2 при температуре 335 К

Тип модели	Критерий	Вариант разбиения	Количество точек в тестовой части в %												
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			
МНК		без разбиения	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562
Обычный LS-SVM	LOO	без разбиения	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	
	K-FOLD	без разбиения	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
Робастный LS-SVM	LTS	без разбиения, псевдонаблюдения, обычная функция потерь	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	
	RLOO-P		0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999		
	RLOO		0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991		
	REG		0,999	0,999	0,999	0,991	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,994		
	LTS	без разбиения, взвешивание, обычная функция потерь	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	
	RLOO-P		0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999		
	RLOO		0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992		
	REG		0,999	0,999	0,999	0,994	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,993		
	LTS	без разбиения, псевдонаблюдения, адаптивная функция потерь	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	
	RLOO-P		0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999		
	RLOO		0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998		
	REG		0,999	0,999	0,999	0,987	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,994		
	LTS	без разбиения, взвешивание, адаптивная функция потерь	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	
	RLOO-P		0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999		
RLOO	0,992		0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992			
REG	0,987		0,993	0,993	0,998	0,989	0,993	0,995	0,995	0,995	0,998	0,999			
Разреженный LS-SVM	регулярности	D-опт. план	0,999	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982		
		замена	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,989	0,999	0,999	0,999		
		исключение	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982			
		включение	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999			
		Add/Del	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999			
		Del/Add	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982			
	стабильности	вирт. опорные векторы	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,993	0,996	0,998	0,995		
		D-опт. план	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498			
		замена	0,999	0,999	0,983	0,987	0,983	0,980	0,989	0,989	0,701	0,277			
		исключение	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498			
		включение	0,999	0,992	0,975	0,967	0,999	0,999	0,928	0,911	0,774	0,498			
		Add/Del	0,999	0,992	0,975	0,967	0,999	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498			
	согласованности	Del/Add	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498			
		вирт. опорные векторы	0,998	0,992	0,975	0,967	0,957	0,983	0,928	0,911	0,813	0,498			
		D-опт. план	0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992			
		замена	0,680	0,991	0,986	0,999	0,914	0,998	0,967	0,234	0,168	0,675			
		исключение	0,999	0,988	0,999	0,565	0,999	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992			
		включение	0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,991	0,985	0,992			
Add/Del	0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992					
Del/Add	0,999	0,988	0,999	0,565	0,741	0,994	0,984	0,919	0,859	0,992					
вирт. опорные векторы	0,999	0,999	0,985	0,903	0,513	0,523	0,989	0,982	0,963	0,902					

Таблица 3

Значение R^2 при температуре 325 К

Тип модели	Критерий	Вариант разбиения	Количество точек в тестовой части в %												
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			
МНК		без разбиения	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
Обычный LS-SVM	LOO	без разбиения	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	
	K-FOLD	без разбиения	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
Робастный LS-SVM	LTS	без разбиения	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	
	RLOO-P	псевдонаблюдения	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
	RLOO	обычная функция потерь	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	
	REG	обычная функция потерь	0,999	0,999	0,999	0,991	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,994	
	LTS	без разбиения	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	
	RLOO-P	взвешивание	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
	RLOO	обычная функция потерь	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	REG	обычная функция потерь	0,999	0,999	0,999	0,994	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,993	
	LTS	без разбиения	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	
	RLOO-P	псевдонаблюдения	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
	RLOO	адаптивная функция потерь	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	
	REG	адаптивная функция потерь	0,999	0,999	0,999	0,987	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,994	
	LTS	без разбиения	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	
	RLOO-P	взвешивание	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	
	RLOO	адаптивная функция потерь	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	
	REG	адаптивная функция потерь	0,987	0,993	0,993	0,998	0,989	0,993	0,995	0,995	0,998	0,999	0,999	0,999	
Разреженный LS-SVM	регулярности	D-опт. план	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982	0,982		
		замена	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,989	0,999	0,999	0,999	0,999		
		исключение	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982	0,982		
		включение	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999		
		Add/Del	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,982		
		Del/Add	0,999	0,999	0,999	0,995	0,999	0,998	0,989	0,994	0,981	0,982	0,982		
	вирт. опорные векторы	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,993	0,996	0,998	0,995	0,995			
	стабильности	D-опт. план	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498	0,498		
		замена	0,999	0,999	0,983	0,987	0,983	0,980	0,989	0,989	0,701	0,277	0,277		
		исключение	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498	0,498		
		включение	0,999	0,992	0,975	0,967	0,999	0,999	0,928	0,911	0,774	0,498	0,498		
		Add/Del	0,999	0,992	0,975	0,967	0,999	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498	0,498		
		Del/Add	0,998	0,992	0,975	0,967	0,951	0,973	0,928	0,911	0,774	0,498	0,498		
	вирт. опорные векторы	0,998	0,992	0,975	0,967	0,957	0,983	0,928	0,911	0,813	0,498	0,498			
	согласованности	D-опт. план	0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992	0,992		
		замена	0,680	0,991	0,986	0,999	0,914	0,998	0,967	0,234	0,168	0,675	0,675		
		исключение	0,999	0,988	0,999	0,565	0,999	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992	0,992		
		включение	0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,991	0,985	0,992	0,992		
Add/Del		0,999	0,999	0,985	0,921	0,549	0,383	0,984	0,919	0,859	0,992	0,992			
Del/Add		0,999	0,988	0,999	0,565	0,741	0,994	0,984	0,919	0,859	0,992	0,992			
вирт. опорные векторы	0,999	0,999	0,985	0,903	0,513	0,523	0,989	0,982	0,963	0,902	0,902				

При анализе полученных результатов можно увидеть, что в большинство случаев результаты метода LS-SVM превосходят результаты МНК. Это позволяет говорить о том, что для определения общих констант устойчивости комплексов переходных металлов целесообразно использовать метод LS-SVM.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе для определения общих констант устойчивости комплексов переходных металлов использовался метод LS-SVM. Результаты проведенных вычислительных экспериментов были сравнены с результатами МНК, показаны преимущества использования метода LS-SVM. По полученным результатам можно рекомендовать использовать метод LS-SVM для решения задач, связанных с комплексообразованием переходных металлов с производными тиомочевины в водных и водно-органических растворах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новаковский М.С.* Лабораторные работы по химии комплексных соединений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1972. – 232 с.
2. *Мудинов Х.Г., Сафармамадов С.М.* Комплексообразование серебра с 1,2,4-триазолом в водно-спиртовых растворах // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – № 1/6 (91). – С. 98–102.
3. *Сангов М.М., Сафармамадов С.М.* Комплексообразование Ag (I) с тиокарбонгидразидом в интервале 288–328K // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – № 1/6 (91). – С. 74–79.
4. *Сангов М.М., Сафармамадов С.М.* Комплексообразование Ag (I) с тиокарбонгидразидом в водно-спиртовых растворах // Вестник Таджикского национального университета. – 2016. – № 1/3 (200). – С. 179–183.
5. *Капустин Е.И.* Решение некоторых классов математических задач в программе Excel [Электронный ресурс]. – URL: <http://old.exponenta.ru/educat/systemat/kapustin/014.asp> (дата обращения: 06.06.2019).
6. *Varnik V.* Statistical learning theory. – New York: John Wiley, 1998. – 736 p.
7. Least squares support vector machines / J.A.K. Suykens, T. Van Gestel, J. De Brabanter, B. De Moor, J. Vandewalle. – Singapore: World Scientific, 2002. – 290 p.

8. *Cherkassky V., Ma Y.* Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression // *Neural Networks*. – 2004. – N 17. – P. 113–126.
9. *Попов А.А., Саутин А.С.* Определение параметров алгоритма опорных векторов при решении задачи построения регрессии // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2008. – № 2 (52). – С. 35–40.
10. *Попов А.А., Sautin A.S.* Selection of support vector machines parameters for regression using nested grids // *The Third International Forum on Strategic Technology*. – Novosibirsk, 2008. – P. 329–331.
11. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2015. – № 3 (81). – С. 69–78. – DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-69-78.
12. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение тестовой выборки в методе LS–SVM с использованием оптимального планирования эксперимента // *Научный вестник НГТУ*. – 2016. – № 4. – С. 80–99. – DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-80-99.
13. *Большаков А.А., Каримов Р.Н.* Методы обработки многомерных данных и временных рядов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 522 с.
14. *Попов А.А., Саутин С.А.* Построение регрессионных зависимостей с использованием алгоритма опорных векторов с адаптивными функциями потерь // *Научный вестник НГТУ*. – 2011. – № 1 (42). – С. 17–26.
15. *Попов А.А., Саутин С.А.* Использование робастных функций потерь в алгоритме опорных векторов при решении задачи построения регрессии // *Научный вестник НГТУ*. – 2009. – № 4 (37). – С. 45–56.
16. *Попов А.А., Boboev Sh.A.* The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using a nonquadratic loss function // *11th International Forum on Strategic Technology: proceedings of IFOST-2016*. – Novosibirsk, 2016. – P. 394–396.
17. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Построение робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM с использованием функций потерь Хьюбера и взвешивания наблюдений // *Обработка информации и математическое моделирование: материалы Российской научно-технической конференции*. – Новосибирск, 2016. – С. 118–124.
18. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений методом LS–SVM через построение обучающей выборки // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. – 2017. – № 1–5. – С. 183–191.
19. *Суходолов А.П., Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Настройка параметров ядерных функций в методе LS–SVM с использованием внешних критериев качества моделей // *Доклады АН ВШ РФ*. – 2017. – № 3 (36). – С. 88–104. – DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-88-104.

20. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений методом LS-SVM через построение выборки с помощью методов оптимального планирования и внешних критериев качества моделей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 1 (132). – С. 100–117. – DOI: 10.21285/1814-3520-2018-100-117.

21. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений с использованием D-оптимального разбиения исходной выборки на обучающую и тестовую части и критерия регулярности // Вестник кибернетики. – 2018. – № 3 (31). – С. 162–168.

Бобоев Шараф Асрорович, соискатель кафедры теоретической и прикладной информатики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – статистические методы анализа данных. Имеет 15 публикаций. E-mail: shboboev@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84

Using the LS-SVM method to study the process of complexation of transition metals with thiourea derivatives in aqueous and aqueous-organic solutions*

Sh.A. Boboev

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student of the theoretical and applied information department. E-mail: shboboev@mail.ru

In paper considers a method for determining the stability constants of silver complexes. The process of formation of thiocarbonyl complexes of silver(I) in aqueous-alcohol solutions containing 25, 50 and 75 percent of methyl and ethyl alcohol at 298K is investigated by potentiometric titration. A detailed description of this process and determination of stability constants of silver complexes using the least squares method (LSM) are given. The purpose of this work was to study the process of complexation of Ag (I) with a thiocarbonyl (TKZ) in aqueous-alcohol solutions containing 25, 50 and 75 vol. % methanol and ethanol at 321, 325 and 335K. In paper considers the comparison of the results obtained by the LSM and LS-SVM methods for studying the complexation of silver in aqueous and aqueous-organic solutions. The corresponding computational experiments were carried out. The polynomial kernel was used as the kernel function for the LS-SVM method. The computational experiment was carried out on the basis of samples obtained as a result of the titration method. The results of

* Received 06 December 2018.

the determination criterion obtained by the LMS and LS-SVM methods in the form tables form are presented, and the dependence of ΔE on $-\lg [L]$ for thiocarbonyl silver (I) complexes in aqueous-methanol solutions containing 1-25, 2-50 and 3-75 vol. % alcohol at 298 K in the picture form. Conclusions are drawn on the use of the LS-SVM method for determining the stability constants for the formation of transition metal complexes with thiourea derivatives in aqueous and aqueous-organic solutions.

Keywords: regression, LS-SVM method, kernel function, regularization parameter, complexation of transition metals, aqueous-organic solutions, thiourea derivatives, titration

REFERENCES

1. Novakovskii M.S. *Laboratornye raboty po khimii kompleksnykh soedinenii* [Laboratory works on chemistry of complex compounds]. 2nd ed. Khar'kov, Khar'kov University Publ., 1972. 232 p.
2. Mudinov Kh.G., Safarmamadov S.M. Kompleksoobrazovanie serebra s 1,2,4-triazolom v vodno-spirtovykh rastvorakh [Complexation of silver with 1,2,4-triazole in aqueous-alcoholic solutions]. *Vestnik Tadjikskogo natsional'nogo universiteta – Bulletin of the Tajik national university*, 2015, no. 1/6 (91), pp. 98–102.
3. Sangov M.M., Safarmamadov S.M. Kompleksoobrazovanie Ag (I) s tiokarbogidrazidom v intervale 288–328K [Complexation of Ag (I) with a thiocarbonyl silver (I) in the range of 288–328K]. *Vestnik Tadjikskogo natsional'nogo universiteta – Bulletin of the Tajik national university*, 2015, no. 1/6 (91), pp. 74–79.
4. Sangov M.M., Safarmamadov S.M. Kompleksoobrazovanie Ag (I) s tiokarbogidrazidom v vodno-spirtovykh rastvorakh [Complexation of Ag (I) with thiocarbonyl silver (I) in aqueous-alcoholic solutions]. *Vestnik Tadjikskogo natsional'nogo universiteta – Bulletin of the Tajik national university*, 2016, no. 1/3 (200), pp. 179–183.
5. Kapustin E.I. *Reshenie nekotorykh klassov matematicheskikh zadach v programme Excel* [The solution of some classes of mathematical problems in Excel]. Available at: <http://old.exponenta.ru/educat/systemat/kapustin/014.asp> (accessed 06.06.2019).
6. Vapnik V. *Statistical learning theory*. New York, John Wiley, 1998. 736 p.
7. Suykens J.A.K., Gestel T. Van, Brabanter J. De, Moor B. De, Vandewalle J. *Least squares support vector machines*. Singapore, World Scientific, 2002. 290 p.
8. Cherkassky V., Ma Y. Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression. *Neural Networks*, 2004, no. 17, pp. 113–126.
9. Popov A.A., Sautin A.S. Opredelenie parametrov algoritma opornykh vektorov pri reshenii zadachi postroeniya regressii [Parameters estimation in support vector regression]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2008, no. 2 (52), pp. 35–40.

10. Popov A.A., Sautin A.S. Selection of support vector machines parameters for regression using nested grids. *The Third International Forum on Strategic Technology*, Novosibirsk, 2008, pp. 329–331.
11. Popov A.A., Boboev Sh.A. Postroenie regressionnykh zavisimostei s ispol'zovaniem kvadrachnoi funktsii poter' v metode opornykh vektorov [The construction of a regression relationships using least square in support vector machines]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 69–78. DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-69-78.
12. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie testovoi vyborki v metode LS–SVM s is-pol'zovaniem optimal'nogo planirovaniya eksperimenta [Obtaining a test sample by the LS–SVM method using optimal experiment planning]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4, pp. 80–99. DOI: 10.17212/1814-1196- 2016-4-80-99.
13. Bol'shakov A.A., Karimov R.N. *Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov* [Methods for processing multidimensional data and time series]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2007. 522 p.
14. Popov A.A., Sautin S.A. Postroenie regressionnykh zavisimostei s ispol'zovaniem algoritma opornykh vektorov s adaptivnymi funktsiyami poter' [Adaptive loss functions in support vector regression]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2011, no. 1 (42), pp. 17–26.
15. Popov A.A., Sautin S.A. Ispol'zovanie robastnykh funktsii poter' v algoritme opornykh vektorov pri reshenii zadachi postroeniya regressii [The use of robust loss functions in the support vector machine algorithm for solving the regression problem]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2009, no. 4 (37), pp. 45–56.
16. Popov A.A., Boboev Sh.A. The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using a nonquadratic loss function. *11th International Forum on Strategic Technology: Proceedings of IFOST-2016*, Novosibirsk, 2016, pp. 394–396.
17. Popov A.A., Boboev Sh.A. [The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using the Huber's loss function and weighting of observations]. *Obrabotka informatsii i matematicheskoe modelirovanie: materialy Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Information processing and mathematical modeling: materials of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, 2016, pp. 118–124. (In Russian).
18. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii metodom LS–SVM cherez postroenie obuchayushchei vyborki [The obtaining sparse solu-

tions by the LS–SVM method through the design of the training sample]. *Vestnik Tadzhiškogo natsional'nogo universiteta. Seriya estestvennykh nauk – Bulletin of the Tajik national university. Series of natural sciences*, 2017, no. 1–5, pp. 183–191.

19. Sukhodolov A.P., Popov A.A., Boboev Sh.A. Nastroiika parametrov yadernykh funktsii v metode LS–SVM s ispol'zovaniem vneshnikh kriteriev kachestva modeli [Kernel function parameter setting in the LS–SVM method using external criteria of model quality]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2017, no. 3 (36), pp. 88–104. DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-88-104.

20. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii metodom LS–SVM cherez postroenie vyborki s pomoshch'yu metodov optimal'nogo planirovaniya i vneshnikh kriteriev kachestva modeli [Obtaining sparse solutions by LS SVM method through sample construction by optimal experiment design method and model quality criteria]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 1 (132), pp. 100–117. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-100-117.

21. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii s ispol'zovaniem D-optimal'nogo razbieniya iskhodnoi vyborki na obuchayushchuyu i testovuyu chasti i kriteriya regul'yarnosti [Obtaining of sparse solutions with D-optimal partitioning of original sample into training and test parts and regularity criterion]. *Vestnik kibernetiki – Cybernetics Bulletin*, 2018, no. 3 (31), pp. 162–168.

Для цитирования:

Бобоев Ш.А. Использование метода LS–SVM для изучения процесса комплексообразования переходных металлов с производными тиомочевины в водных и водно-органических растворах // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 71–84. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84.

For citation:

Boboev Sh.A. Issledovanie parametrov algoritmov raspoznavaniya lits [Using the LS–SVM method to study the process of complexation of transition metals with thiourea derivatives in aqueous and aqueous-organic solutions]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 71–84. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-71-84.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА LS–SVM ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫБОРОК LIDAR И MOTORCYCLE*

Ш.А. БОБОЕВ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, соискатель кафедры теоретической и прикладной информатики. E-mail: shboboev@mail.ru

В работе рассмотрено применение метода опорных векторов с квадратичной функцией потерь (LS–SVM) для решения практических задач. Рассмотрен анализ известных выборок LIDAR и Motorcycle. Приведены краткое описание используемых выборок и построения LS–SVM обычной, робастной и разреженной регрессии. Для получения робастной LS–SVM регрессии использовались методы псевдонаблюдения и взвешивания. Для получения разреженной LS–SVM регрессии использованы различные подходы разбиения выборки, такие как разбиение выборки D-оптимальным планированием эксперимента и различные алгоритмы разбиения на основе критериев селекции моделей. К алгоритмам разбиения выборки на основе критерия селекции моделей относятся алгоритмы замены, исключения, включения точек, Add/Del, Del/Add и виртуальных опорных векторов. Иначе эти алгоритмы можно назвать алгоритмом дополнительной оптимизации состава точек. Для проверки работоспособности алгоритмов проведены вычислительные эксперименты. Повышение точности полученных результатов по методу LS–SVM проводилось посредством подбора масштаба гауссовой ядерной функции. Параметры ядерной функции подбирались по значению критериев оценки качества моделей. В качестве параметра регуляризации использовано фиксированное значение, равное 10. Окончательно точность полученных результатов оценивались по значению критерия детерминации. В табличном виде приведены результаты критерия детерминации для каждого способа получения модели регрессии. Результаты полученных LS–SVM регрессий показаны в графическом виде. Эти результаты показали, что для решения прикладных задач использование метода LS–SVM является вполне допустимым.

Ключевые слова: регрессия, метод LS–SVM, ядерная функция, коэффициент детерминации, робастное решение, разреженное решение, выборка LIDAR, выборка Motorcycle

* Статья получена 06 декабря 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

На практике нам часто приходится сталкиваться с задачами построения регрессии в условиях мультиколлинеарности данных. Для решения таких задач воспользуемся методом LS–SVM, известным как непараметрический метод, который относится к классу ядерных методов [1–2].

Самым важным моментом построения регрессии методом LS–SVM является подбор параметров ядерной функции [3–5]. В настоящей работе подбор таких параметров выполняется с использованием внешних критериев оценки качества моделей, таких как критерий скользящего контроля и критерий регулярности.

1. ОБЫЧНАЯ, РОБАСТНАЯ И РАЗРЕЖЕННАЯ LS–SVM РЕГРЕССИЯ

Рассмотрим различные способы построения регрессий методом LS–SVM (обычной, робастной и разреженной).

Обычная LS–SVM регрессия

Для построения обычной LS–SVM регрессии приведем следующий алгоритм.

Рассмотрим задачу восстановления зависимости. Предположим, что дана обучающая выборка $D_n = \{(x_k, y_k) : x_k \in X, y_k \in Y; k = 1, \dots, n\}$ объемом n наблюдений вида

$$y_k = m(x_k) + e_k, \quad k = 1, \dots, n,$$

где $e_k \in R$ будем считать независимо и одинаково распределенной ошибкой с $E[e_k | x = x_k] = 0$ и $Var[e_k] = \sigma^2 < \infty$, $m(x)$ – неизвестная действительная гладкая функция, $E[y_k | x = x_k] = m(x_k)$. Вместо неизвестной функции $m(x)$ будем использовать ее аппроксимацию в виде $f(x) = \omega^T \varphi(x) + b$. Восстановив зависимость, получаем решение:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1_n^T \\ 1_n & \Omega + \frac{1}{\gamma} I_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $y = (y_1, \dots, y_n)^T$, $1_n = (1, \dots, 1)^T$, $\hat{\alpha} = (\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_n)$ и $\Omega_{kl} = \varphi(x_k)^T \varphi(x_l)$ для $k, l = 1, \dots, n$ – параметр регуляризации. Результирующая LS-SVM модель имеет вид

$$\hat{y}_n(x) = \sum_{k=1}^n \hat{\alpha}_k K(x, x_k) + \hat{b}, \quad (2)$$

где $K(x, x_k)$ – ядро скалярного произведения,

$$\hat{b} = \frac{1_n^T \left(\Omega + \frac{1}{\gamma} I_n \right)^{-1} y}{1_n^T \left(\Omega + \frac{1}{\gamma} I_n \right)^{-1} 1_n}, \quad \hat{\alpha} = \left(\Omega + \frac{1}{\gamma} I_n \right)^{-1} (y - 1_n \hat{b}). \quad (3)$$

Более подробное описание построения LS-SVM регрессии приведено в работах [6, 7].

Робастная LS-SVM регрессия

Для построения робастной LS-SVM регрессии воспользуемся методом псевдонаблюдений и взвешенным методом на основе простой и адаптивной функции потерь Хьюбера [8–10]. При использовании псевдонаблюдений СЛАУ (1) принимает вид

$$\begin{bmatrix} 0 & 1_n^T \\ 1_n & \Omega + \frac{1}{\gamma} I_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b \\ \alpha_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y_n^* \end{bmatrix}.$$

При использовании взвешенного метода СЛАУ (1) принимает вид

$$\begin{bmatrix} 0 & 1_n^T \\ 1_n & \Omega + V_\gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b \\ \alpha_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y_n \end{bmatrix}.$$

Решив эти СЛАУ, получим решение вида (2).

Более подробное описание этих алгоритмов приведено в работах [11, 12].

Разреженная LS-SVM регрессия

Для построения разреженной LS-SVM регрессии воспользуемся способами разбиения исходной выборки на обучающую и тестовую части с использованием методов оптимального планирования эксперимента и различными ал-

горитмами разбиения выборки на части с использованием внешних критериев оценки качества моделей. К таким алгоритмам относятся: алгоритмы замены, исключения и включения точек, алгоритмы Add/Del, Del/Add и алгоритм виртуальных опорных векторов. Данные способы разбиения выборки и получения разреженной LS-SVM регрессии приведены в работах [7, 13–17].

2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Цель вычислительного эксперимента – сравнение полученных обычных, робастных и разреженных LS-SVM регрессий. Для проведения экспериментов использовались выборки LIDAR и Motorcycle. Во время проведения экспериментов в качестве параметра регуляризации использовалось фиксированное значение, равное 10. В качестве ядерной функции выбиралось гауссово ядро. Параметры ядерной функции выбирались по значениям различных критериев оценки качества моделей.

Подробное описание выборки LIDAR и Motorcycle приведено ниже.

Выборка LIDAR

Известная технология LIDAR (LIght Detection And Ranging) использует отражение света, излучаемого лазером, для обнаружения химических компонентов в атмосфере. Данная технология показала себя как эффективный инструмент мониторинга распределения загрязняющих атмосферу веществ [18].

Типичные данные, используемые в технологии LIDAR, приведены на рис. 1. Горизонтальная переменная *range* определяет расстояние, которое прошел отраженный свет до того, как вернулся к своему источнику. Вертикальная переменная *log ratio* – это логарифм коэффициента частоты резонанса интересующего нас компонента, которым в данном случае выступала ртуть. Другой источник имел частоту, отличную от данной резонансной частоты.

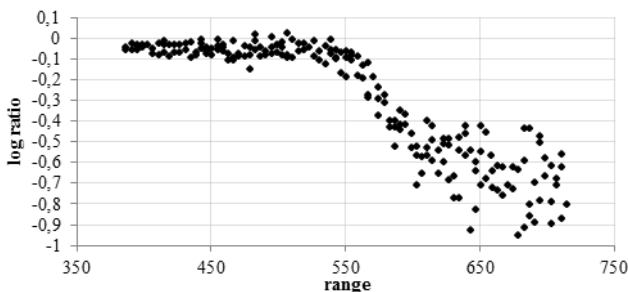


Рис. 1. Данные выборки LIDAR

Таблица 3

Значение R^2 при разреженной модели LS-SVM для критерия регулярности

Вариант разбиения	Количество точек в тестовой части в %									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
D-опт. план	0,915	0,914	0,915	0,912	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902
Замена	0,915	0,915	0,914	0,914	0,914	0,914	0,915	0,915	0,913	0,911
Исключение	0,915	0,914	0,915	0,912	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902
Включение	0,915	0,680	0,358	0,781	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902
Add/Del	0,910	0,914	0,915	0,912	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902
Del/Add	0,915	0,914	0,915	0,912	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902
Вирт. опорные векторы	0,915	0,914	0,915	0,912	0,908	0,900	0,899	0,896	0,904	0,902

Построенные LS-SVM-регрессии для данной выборки представлены на рис. 2.

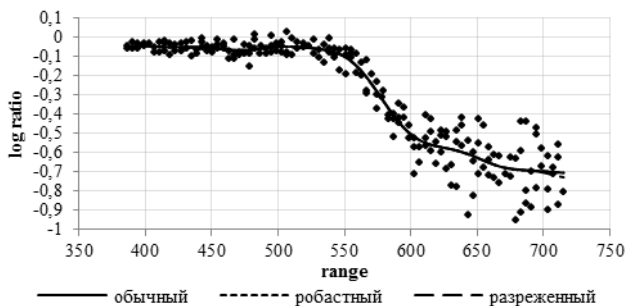


Рис. 2. Обычная, робастная и разреженная LS-SVM-регрессии с использованием гауссова ядра для выборки LIDAR

По результатам проведенных вычислительных экспериментов можно сказать, что в некоторых случаях разреженные решения применяют обычные и робастные решения по значению R^2 . Также робастный вариант решения с использованием взвешенного метода на основе адаптивного вида функции потерь Хьюбера предусматривает другие способы получения робастного решения. Видно, что получаемые разреженные решения при D-оптимальном разбиении выборки лишь немногим уступают не разреженным по величине R^2 . При этом если использовать вариант разбиения на основе критерия регулярности, то улучшения качества решения с позиции R^2 чаще всего не наблюдается. Это позволяет говорить о том, что для получения разреженного

Таблица 5

Значение R^2 при робастной модели LS-SVM для критерия регулярности

Метод и вид функции потерь	Критерий	Количество точек в тестовой части в %									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Псевдонаблюдения, обычная функция потерь	LTS	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804
	RLOO-P	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804
	RLOO	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804
	REG	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804	0,804
Взвешивание, обычная функция потерь	LTS	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796
	RLOO-P	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796
	RLOO	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796
	REG	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796	0,796
Псевдонаблюдения, адаптивная функция потерь	LTS	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803
	RLOO-P	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803
	RLOO	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803
	REG	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803	0,803
Взвешивание, адаптивная функция потерь	LTS	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681
	RLOO-P	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681
	RLOO	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681
	REG	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681

Таблица 6

Значение R^2 при разреженной модели LS-SVM для критерия регулярности

Вариант разбиения	Количество точек в тестовой части в %									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
D-опт. план	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757
Замена	0,803	0,803	0,797	0,801	0,801	0,803	0,801	0,801	0,788	0,783
Исключение	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757
Включение	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757
Add/Del	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757
Del/Add	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757
Вирт. опорные векторы	0,803	0,804	0,803	0,790	0,785	0,784	0,776	0,768	0,764	0,757

Построенные LS-SVM-регрессии для данной выборки представлены на рис. 4.

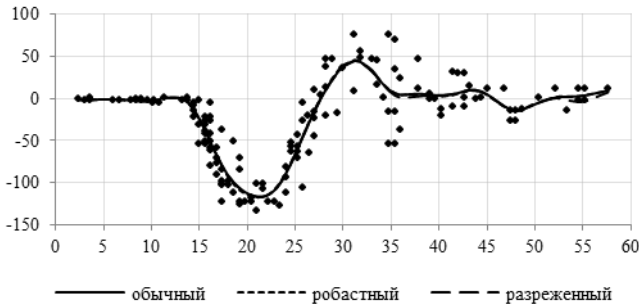


Рис. 4. Обычная, робастная и разреженная LS-SVM-регрессии для выборки Motorcycle

По полученным результатам можно прийти к выводам, приведенным в анализе выборки LIDAR.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования продемонстрировали хорошие возможности использования метода псевдонаблюдений на основе обычной и адаптивной функции потерь Хьюбера для получения устойчивых решений с малым смещением в условиях засорения наблюдений. Данный подход можно рекомендовать к использованию для получения робастных решений в методе LS-SVM.

По результатам проведенных вычислительных экспериментов можно сделать выводы о том, что эффективность использования случайной тестовой выборки нестабильна и во много определяется конкретным вариантом разбиения. При этом стабильность результатов использования тестовой выборки, полученной при D-оптимальном разбиении выборки, значительно выше. Получение решения при использовании для настройки параметров критериев CV и регулярности на D-оптимальной тестовой выборке близки по значению. Таким образом, для решения задачи настройки параметров алгоритма LS-SVM можно рекомендовать использовать разбиение выборки на обучающую и тестовую части по методу D-оптимального планирования эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vapnik V.* Statistical learning theory. – New York: John Wiley, 1998. – 736 p.
2. Least squares support vector machines / J.A.K. Suykens, T. Van Gestel, J. De Brabanter, B. De Moor, J. Vandewalle. –Singapore: World Scientific, 2002. – 290 p.
3. *Cherkassky V., Ma Y.* Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression // *Neural Networks*. – 2004. – N 17. – P. 113–126.
4. *Попов А.А., Саутин А.С.* Определение параметров алгоритма опорных векторов при решении задачи построения регрессии // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2008. – № 2 (52). – С. 35–40.
5. *Попов А.А., Саутин А.С.* Selection of support vector machines parameters for regression using nested grids // *The Third International Forum on Strategic Technology*. – Novosibirsk, 2008. – P. 329–331.
6. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2015. – № 3 (81). – С. 69–78. – DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-69-78.
7. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение тестовой выборки в методе LS–SVM с использованием оптимального планирования эксперимента // *Научный вестник НГТУ*. – 2016. – № 4. – С. 80–99. – DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-80-99.
8. *Большаков А.А., Каримов Р.Н.* Методы обработки многомерных данных и временных рядов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 522 с.
9. *Попов А.А., Саутин С.А.* Построение регрессионных зависимостей с использованием алгоритма опорных векторов с адаптивными функциями потерь // *Научный вестник НГТУ*. – 2011. – № 1 (42). – С. 17–26.
10. *Попов А.А., Саутин С.А.* Использование робастных функций потерь в алгоритме опорных векторов при решении задачи построения регрессии // *Научный вестник НГТУ*. – 2009. – № 4 (37). – С. 45–56.
11. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using a nonquadratic loss function // *11th International Forum on Strategic Technology: proceedings of IFOST-2016*. – Novosibirsk, 2016. – P. 394–396.
12. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Построение робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM с использованием функций потерь Хьюбера и взвешивания наблюдений // *Обработка информации и математическое моделирование: материалы Российской научно-технической конференции*. – Новосибирск, 2016. – С. 118–124.

13. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений методом LS-SVM через построение обучающей выборки // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2017. – № 1–5. – С. 183–191.

14. *Суходолов А.П., Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Настройка параметров ядерных функций в методе LS-SVM с использованием внешних критериев качества моделей // Доклады АН ВШ РФ. – 2017. – № 3 (36). – С. 88–104. – DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-88-104.

15. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Использование методов оптимального планирования эксперимента для разбиения выборки на части и настройка параметров ядерных функций в методе LS-SVM на основе внешних критериев качества моделей // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Российской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2017. – С. 135–142.

16. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений методом LS-SVM через построение выборки с помощью методов оптимального планирования и внешних критериев качества моделей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 1 (132). – С. 100–117. – DOI: 10.21285/1814-3520-2018-100-117.

17. *Попов А.А., Бобоев Ш.А.* Получение разреженных решений с использованием D-оптимального разбиения исходной выборки на обучающую и тестовую части и критерия регулярности // Вестник кибернетики. – 2018. – № 3 (31). – С. 162–168.

18. *Silverman B.W.* Some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting // Journal of the Royal Statistical Society. – 1985. – Vol. 47, N 1. – P. 1–52.

19. *Smola A.* Regression estimation with support vector learning machines: master's thesis / Technische Universität München. – München, 1996. – 78 p.

Бобоев Шараф Асрорович, соискатель кафедры теоретической и прикладной информатики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – статистические методы анализа данных. Имеет 15 публикаций. E-mail: shboboev@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-85-99

The application of the LS–SVM method for the analysis of LIDAR and Motorcycle samples*

Sh.A. Boboev

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student of the theoretical and applied information department. E-mail: shboboev@mail.ru

In paper considers the application of the support vector machines with a quadratic loss function (LS–SVM) for solving practical problems. The analysis of known samples LIDAR and Motorcycle is considered. A brief description of the samples used, as well as the construction of LS–SVM normal, robust and sparse regression are given. For obtain a robust LS–SVM regression was used the methods pseudo-observation and weighing. For obtain a sparse LS–SVM regression, different sampling splitting approaches have been used. Such as: sample partitioning by D-optimal experiment planning and various sample partitioning algorithms based on criterion of model selection. The algorithms for the partitioning of the sample based on the criterion of model selection include algorithms: replacements, rejections, points inclusions, Add/Del, Del/Add, and virtual support vectors. Otherwise, these algorithms can be called the algorithm of additional optimization of the composition of points. To verify the efficiency of the algorithms the computational experiment was conducted. An improvement of the obtained results accuracy with LS–SVM method was achieved by selecting the scale of the Gaussian kernel function. The parameters of the kernel function was selected by the value of criteria for assessing model quality. A fixed value of 10 is used as a regularization parameter. The final solution accuracy was tested by the value of determination criteria. In the table form are shown the results of the determination criterion for each method of obtaining the regression model. The results of the LS–SVM regressions are shown graphical form. These results showed that the use of the LS–SVM method is quite acceptable for solving applied problems.

Keywords: regression, LS–SVM method, kernel function, determination coefficient, robust solution, sparse solution, LIDAR sample, Motorcycle sample

REFERENCES

1. Vapnik V. *Statistical learning theory*. New York, John Wiley, 1998. 736 p.
2. Suykens J.A.K., Gestel T. Van, Brabanter J. De, Moor B. De, Vandewalle J. *Least squares support vector machines*. Singapore, World Scientific, 2002. 290 p.
3. Cherkassky V., Ma Y. Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression. *Neural Networks*, 2004, no. 17, pp. 113–126.
4. Popov A.A., Sautin A.S. Opredelenie parametrov algoritma opornykh vektorov pri reshenii zadachi postroeniya regressii [Parameters estimation in support vector regression]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo*

* Received 06 December 2018.

tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university, 2008, no. 2 (52), pp. 35–40.

5. Popov A.A., Sautin A.S. Selection of support vector machines parameters for regression using nested grids. *The Third International Forum on Strategic Technology*, Novosibirsk, 2008, pp. 329–331.

6. Popov A.A., Boboev Sh.A. Postroenie regressionnykh zavisimostei s ispol'zovaniem kvadrachnoi funktsii poter' v metode opornykh vektorov [The construction of a regression relationships using least square in support vector machines]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 69–78. DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-69-78.

7. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie testovoi vyborki v metode LS–SVM s is-pol'zovaniem optimal'nogo planirovaniya eksperimenta [Obtaining a test sample by the LS–SVM method using optimal experiment planning]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4, pp. 80–99. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-80-99.

8. Bol'shakov A.A., Karimov R.N. *Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov* [Methods for processing multidimensional data and time series]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2007. 522 p.

9. Popov A.A., Sautin S.A. Postroenie regressionnykh zavisimostei s ispol'zovaniem algoritma opornykh vektorov s adaptivnymi funktsiyami poter' [Adaptive loss functions in support vector regression]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2011, no. 1 (42), pp. 17–26.

10. Popov A.A., Sautin S.A. Ispol'zovanie robstnykh funktsii poter' v algoritme opornykh vektorov pri reshenii zadachi postroeniya regressii [The use of robust loss functions in the support vector machine algorithm for solving the regression problem]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2009, no. 4 (37), pp. 45–56.

11. Popov A.A., Boboev Sh.A. The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using a nonquadratic loss function. *11th International Forum on Strategic Technology: Proceedings of IFOST-2016*, Novosibirsk, 2016, pp. 394–396.

12. Popov A.A., Boboev Sh.A. [The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using the Huber's loss function and weighting of observations]. *Obrabotka informatsii i matematicheskoe modelirovanie: materialy Rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Information processing and mathe-

mathematical modeling: materials of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, 2016, pp. 118–124. (In Russian).

13. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii metodom LS–SVM cherez postroenie obuchayushchei vyborki [The obtaining sparse solutions by the LS–SVM method through the design of the training sample]. *Vestnik Tadzhiikskogo natsional'nogo universiteta. Seriya estestvennykh nauk – Bulletin of the Tajik national university. Series of natural sciences*, 2017, no. 1–5, pp. 183–191.

14. Sukhodolov A.P., Popov A.A., Boboev Sh.A. Nastroyka parametrov yadernykh funktsii v metode LS–SVM s ispol'zovaniem vneshnikh kriteriev kachestva modeli [Kernel function parameter setting in the LS–SVM method using external criteria of model quality]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2017, no. 3 (36), pp. 88–104. DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-88-104.

15. Popov A.A., Boboev Sh.A. [The use of methods of optimal experimental design for partitioning the sample on the parts and the setting of parameter of the kernel functions in the LS–SVM method based on external quality criteria of models]. *Obrabotka informatsii i matematicheskoe modelirovanie: materialy Rossiiskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii* [Information processing and mathematical modeling: materials of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, 2017, pp. 135–142. (In Russian).

16. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii metodom LS–SVM cherez postroenie vyborki s pomoshch'yu metodov optimal'nogo planirovaniya i vneshnikh kriteriev kachestva modeli [Obtaining sparse solutions by LS SVM method through sample construction by optimal experiment design method and model quality criteria]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 1 (132), pp. 100–117. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-100-117.

17. Popov A.A., Boboev Sh.A. Poluchenie razrezhennykh reshenii s ispol'zovaniem D-optimal'nogo razbieniya iskhodnoi vyborki na obuchayushchuyu i testovuyu chasti i kriteriya regul'yarnosti [Obtaining of sparse solutions with D-optimal partitioning of original sample into training and test parts and regularity criterion]. *Vestnik kibernetiki – Cybernetics Bulletin*, 2018, no. 3 (31), pp. 162–168.

18. Silverman B.W. Some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1985, vol. 47, no. 1, pp. 1–52.

19. Smola A. *Regression estimation with support vector learning machines*: master's thesis. Technische Universität München, 1996. 78 p.

Для цитирования:

Бобоев Ш.А. Применение метода LS–SVM для анализа выборок LIDAR и Motorcycle // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 85–99. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-85-99.

For citation:

Boboev Sh.A. Primenenie metoda LS–SVM dlya analiza vyborok LIDAR i Motorcycle [The application of the LS–SVM method for the analysis of LIDAR and Motorcycle samples]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 85–99. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-85-99.

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ*

А.С. КАРАУШ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: karaushalexander@yandex.ru

В работе рассмотрены основные проблемы в области защиты речевой информации от утечек по акустоэлектрическому каналу. Целью статьи является обзор и анализ методов повышения разборчивости речи. В работе описаны основные методы шумоподавления и реконструкции сигналов, которые применяются для повышения качества речевых сигналов, искаженных помехами и шумом. К ним относятся методы фильтрации шумоподобных и речеподобных помех, компенсация искажений, которые возникают в процессе записи сообщений, реконструкция речевого сообщения за счет оценки параметров образования речи, а также использование нейросетевых технологий на основе машинного обучения для семантической обработки искаженных текстов с целью предугадать поведение модели речевого сигнала. В статье приведены модели пассивного и активного акустоэлектрических каналов утечки речевой информации, описаны составы программно-аппаратных комплексов для проведения анализа речевого сигнала. Проведен анализ возможностей технических средств и методов, которые потенциально могут быть использованы нарушителем при ведении речевой разведки в акустоэлектрическом канале утечки речевой информации с возможностью улучшения качества исходного речевого сигнала в дальнейшем. Описаны критерии оценки защищенности речи, основанные на универсальном подходе анализа сигналов, для каждого из основных шагов процесса шумоочистки. Рассмотрены основные виды искажений. Описаны характер и степень влияния различных видов искажений на показатели оценки защищенности речевой информации, в частности линейных и нелинейных. Анализируется степень влияния инструментальных и методических косвенных погрешностей на основной критерий оценки защищенности речевой информации – коэффициент словесной разборчивости.

Ключевые слова: модель пассивного акустоэлектрического канала утечки информации, модель активного акустоэлектрического канала утечки информации, модель нарушителя, оценка защищенности акустоэлектрического канала утечки информации, методы повышения разборчивости речи, критерии оценки защищенности речевой информации, речевая разведка, фильтрация помех, линейные искажения, нелинейные искажения, словесная разборчивость, погрешность косвенных измерений

* Статья получена 20 ноября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Акустоэлектрические каналы утечки информации возникают из-за преобразования информативного сигнала из акустического в электрический в электрических элементах вспомогательных технических средств и систем (ВТСС).

Пассивный акустоэлектрический канал образуется в результате перехвата акустических колебаний, который может быть осуществлен путем подключения специальных высокочувствительных низкочастотных усилителей к соединительным линиям ВТСС, обладающих микрофонным эффектом. Микрофонный эффект – это нежелательное явление, при котором часть электрической цепи воспринимает звуковые колебания и вибрацию аналогично микрофону.

Активный акустоэлектрический технический канал утечки информации образуется путем несанкционированного введения токов высокой частоты от соответствующего генератора в линии, имеющие функциональные связи с нелинейными или параметрическими элементами ВТСС, на которых происходит модуляция высокочастотного сигнала информационным.

В методе высокочастотного навязывания путем электроакустического преобразования акустических сигналов в электрические появляется информационный сигнал в данных элементах ВТСС. Нелинейные или параметрические элементы ВТСС для высокочастотного сигнала в основном являются несогласованной нагрузкой. Поэтому промодулированный высокочастотный сигнал будет отражаться от данных элементов, а затем излучаться или распространяться обратно по линии. Для приема таких отраженных или излученных сигналов используются специальные высокочувствительные приемники.

Для России основной критерий оценки защищенности речевой информации – это коэффициент словесной разборчивости W . Основная задача сводится к измерению напряжений шумов и смеси полезного сигнала и шума на выходе из ВТСС в речевом диапазоне частот.

Для оценки разборчивости речи в основном используется расчетно-экспериментальный метод Покровского Н.Б., который был адаптирован Хоревым А.А., Желязняком В.К., Макаровым Ю.К. [1].

Применение данного метода для решения конкретных практических задач регламентировано соответствующими методиками. Например, для оценки качества трактов связи применяется ГОСТ 8031–78 [2]; для оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам – методика [3].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важные факторы, которые могут повлиять на точность и достоверность оценок защищенности речевой информации:

- определение возможностей соответствующей модели нарушителя [4];
- оценка характера и степени влияния искажений на словесную разборчивость;
- проблема выбора адекватных тестовых сигналов, предназначенных для определения характеристик и измерений значимых параметров опасных сигналов;
- метрологические аспекты при выполнении измерительных процедур [5].

В основном технически сложные и многофункциональные комплексы разведки включают в себя средства звукозаписи, позволяющие фиксировать и усиливать перехваченные сообщения. Благодаря этому можно в полной мере использовать преимущества режима отложенного анализа речевого сигнала. К примеру, можно прослушивать сообщения множество раз, что дает возможность применения контекстного и компьютерного анализа (например, системы распознавания речи в автоматическом режиме) [6]. Методы коррекции, реконструкции и шумопонижения речевого сигнала позволяют в значительной мере улучшить качество исходных сообщений, а это, в свою очередь, необходимо учитывать при оценках защищенности речевой информации [7].

В акустоэлектрическом канале одноканальные асинхронные системы шумопонижения, будь то адаптивные, медианные или узкополосные фильтры, а также методы спектрального вычитания, более эффективны, чем многоканальные системы [8, 9].

2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Относительно акустоэлектрических каналов утечки информации применимы следующие способы восстановления разборчивости речевых сообщений [4].

1. Фильтрация шумоподобных и речеподобных помех.

В основном используется для защиты от активных искажений, при наличии помех в полезном аудиосигнале. Недостатком является то, что не только подавляются помехи, но и снижается уровень информативного сигнала. В алгоритмах адаптивной фильтрации помех параметры фильтра могут меняться вместе с изменяющимися характеристиками сигнала и шума. Адаптив-

ные фильтры предназначены для компенсации в речевом сигнале достаточно узкополосных помех. Данные помехи могут возникать из-за трансформаторных шумов, шумов механизмов, наводки от сети электропитания. Медианный фильтр представляет собой оконный фильтр, последовательно скользящий по массиву сигнала.

Данный вид фильтрации осуществляет замену значений отсчетов в центре апертуры медианным значением исходных отсчетов внутри апертуры фильтра. Узкополосный фильтр усиливает сигналы около одной частоты, на других участках спектра происходит резкий спад коэффициента усиления.

Разборчивость речи при воздействии на нее широкополосного шума можно улучшить, если совместно с фильтрацией применять нормализацию, так как она увеличивает относительную амплитуду важных для разборчивости, но имеющих слабую мощность согласных звуков. Это позволяет уменьшить их маскирование помехами или более громкими гласными.

2. Компенсация искажений, которые возникают в процессе записи сообщений. Зная тип помехи, можно добиться сохранения большей части информации о спектре информативного сигнала. Данный метод может быть осуществлен на основе вычитания спектра. Но он является достаточно эффективным, только если возможно достаточно точно оценить спектральный состав помехи, т. е. если помеха является стационарной. Но даже в таком случае вследствие вычитания спектра в полосе частот, занимаемой помехой, наблюдается искажение сигнала. Компенсация искажений не позволяет подавлять импульсные помехи. Несмотря на все минусы, данный метод широко распространен в задачах оценки защищенности речевого сигнала [10].

Нелинейные искажения в большинстве случаев образуются из-за наличия активных элементов электрических цепей с нелинейными вольтамперными характеристиками. Время адаптации человеческого слухового восприятия к нелинейным искажениям 10...30 мс, тем самым уменьшается влияние искажений. В основном в акустоэлектрическом канале утечки информации присутствуют нелинейные искажения. Они слабо влияют на снижение речевой разборчивости.

Линейные искажения включают в себя нежелательные изменения соотношений между амплитудами частотных составляющих сигналов при передаче его по тракту, так как фазовые соотношения незначительно влияют на восприятие акустического сигнала.

Линейные искажения возникают из-за наличия пассивных элементов электрических цепей, имеющих линейные вольтамперные характеристики. К ним относятся, например, конденсаторы и трансформаторы. Волновые эффекты также оказывают влияние, особенно в системах звукоусиления.

Что касается акустоэлектрического канала утечки речевой информации, в основном линейные искажения возникают в механоэлектрических звеньях соответствующих акустоэлектрических преобразователей. В соединительных проводных линиях их меньше, так как данные линии имеют меньшую длину. В тракте звукозаписывающей аппаратуры разведывательных комплексов они практически отсутствуют.

Линейные искажения слабо влияют на искажения в речевой разборчивости. Искажения, которые появились из-за неравномерности АЧХ передаточного тракта, практически не оказывают влияния на речевую разборчивость. В музыкальной акустике принято считать, что пики и провалы АЧХ с шириной не более 1/8 октавы на слух неразличимы.

Высокие уровни неравномерности АЧХ меняют тембр речевого сигнала и практически не снижают речевую разборчивость.

3. Реконструкция речевого сообщения за счет оценки параметров образования речи.

Если в качестве модели речевого сигнала можно использовать линейную систему, то в данном случае может быть применима модель линейного предсказания речи. В таком случае можно предполагать о линейности передаточной функции речевого тракта в модели речевого сигнала.

Точность вычисления коэффициентов линейного предсказания с дальнейшей реконструкцией информационного сигнала понижается, если обрабатывать сигнал с высоким уровнем шума.

Так как человек произносит разные звуки, то передаточной функции линейной системы свойственно меняться во времени. Из-за ограничений к такой линейной системе можно применить упрощенную модель речевого сигнала, в которой параметры меняются медленно и в интервале времени 10...25 мс она аппроксимируется стационарной системой.

Данную модель можно применить в задачах сжатия спектров речевого сигнала, синтеза речи, а также при очистке речи [10].

Больше всего выигрыш в разборчивости удастся получить в случае, если отношение сигнал/шум составляет менее 7 дБ. При увеличении данного соотношения процессы, возникающие в паузах и переходных участках между звуками, вызывают появление шума, который коррелирует с речевым сигналом. Вследствие того, что порог, ниже которого речь становится неразборчивой, находится в диапазоне значений отношения сигнал/шум 5...0 дБ, то применять адаптивную фильтрацию в таком случае более эффективно.

4. Использование нейросетевых технологий на основе машинного обучения для семантической обработки искаженных текстов с целью предугадать поведение модели речевого сигнала.

Принцип работы искусственной нейронной сети по шумоочистке речевого сигнала следующий. Используется два подмассива: один из них содержит исключительно спектр шума, в второй включает в себя совокупность сигнала и шума. Нейронная сеть для своего функционирования использует два этапа: первый – этап обучения, второй – этап обработки [13].

На этапе обучения следует использовать подмассив, который включает в себя только шум.

Вводится два окна: окно с входными данными длиной k отсчетов и окно с целевыми данными длиной m отсчетов. На выходе нейронной сети появляется сигнал N' . Нейронная сеть обучается предсказывать значение точки за пределами окна с входными данными на основе попавших в него точек. Далее вводится величина V , она высчитывается как разность значений целевого окна и выходных значений [14].

Если нейронная сеть обучилась достаточно точно предсказывать поведение шума, то в таком случае $N = N'$, а $V = 0$, но вследствие того, что шум является случайным процессом, значения которого могут быть распределены по нормальному закону, то тогда нейронная сеть не сможет делать абсолютно точные предугадывания. Но на основе статистических данных, которые она получила, может предсказать следующее наиболее вероятное значение. В результате выходная величина V является ошибкой прогнозирования, также она представляет собой шум.

На этапе обработки используется подмассив, который включает в себя шум и полезный сигнал. Но на данном этапе используется только одно окно с входными данными. Вследствие того, что в процессе обучения сеть научилась предсказывать лишь случайную составляющую, исходный речевой сигнал будет претерпевать незначительные изменения [13]. В итоге на выходе сети будет получена совокупность ошибки экстраполяции входного вектора шума и информационного сигнала.

3. МОДЕЛИ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Модели пассивного и активного акустоэлектрических каналов утечки информации представлены на рис. 1 и 2.

Программно-аппаратные комплексы (ПАК) в большинстве случаев включают в себя селективный нановольтметр [15] и персональный компьютер, также в их состав могут входить средства отложенного анализа.

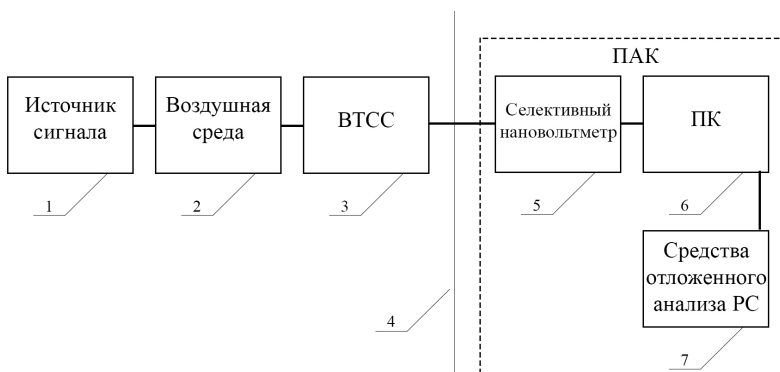


Рис. 1. Модель пассивного акустоэлектрического канала утечки информации:

1 – источник акустического сигнала (динамик или человек); 2 – воздушная среда; 3 – вспомогательные технические средства и системы, обладающие микрофонным эффектом; 4 – граница контролируемой зоны; 5 – селективный нановольтметр; 6 – персональный компьютер; 7 – средства отложенного анализа речевого сигнала

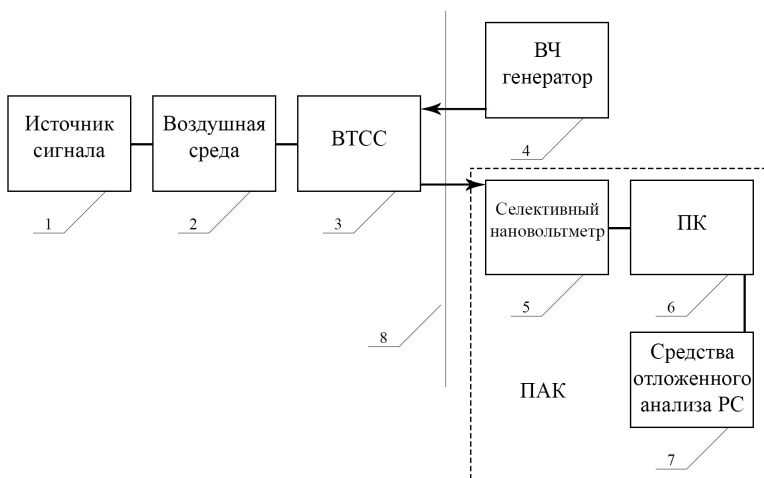


Рис. 2. Модель активного акустоэлектрического канала утечки информации:

1 – источник акустического сигнала (динамик или человек); 2 – воздушная среда; 3 – вспомогательные технические средства и системы, на которых происходит модуляция высокочастотного сигнала информационным; 4 – генератор высоких частот; 5 – селективный нановольтметр; 6 – персональный компьютер; 7 – средства отложенного анализа речевого сигнала; 8 – граница контролируемой зоны

При построении модели акустоэлектрического канала утечки информации с учетом модели поведения потенциального нарушителя, которая определяет его потенциальные возможности, необходимо рассмотреть критерии оценки защищенности речевой информации, при которых нарушитель не сможет восстановить защищаемую речевую информацию, если она искажена шумом.

Можно предположить, что злоумышленник имеет в полном распоряжении средства, которые могут улучшить качество исходного речевого сигнала. Объективность критериев может быть обеспечена при условии, если они учитывают возможности средств, позволяющих проводить обработку речи в режиме отложенного анализа записанного речевого сигнала. Также нарушитель имеет возможность использовать различные методы шумоочистки для повышения разборчивости речи при сохранении характеристик и свойств речевого сигнала.

Для каждого из основных шагов шумоочистки сигналов можно выделить соответствующие критерии оценки защищенности речевой информации.

Шаг 1. Обнаружение смеси сигнала и шума. Здесь можно применить критерий энергетической скрытности, который осуществляется путем энергетического маскирования сигнала. Восстановить речевой сигнал можно, если реконструировать структуру по остаточным следам.

Шаг 2. Фильтрация и попытки различить сигнал в смеси с другими сигналами. В данном случае критерием выступает алгоритмическая скрытность, которую можно реализовать с помощью преобразования сигнала по определенным алгоритмам, либо маскирование сигнала другими сигналами.

Шаг 3. Измерение параметров сигнала.

Шаг 4. Распознавание сигнала при сопоставлении с образцовым эталоном. Данные этапы обладают критерием информационной скрытности [16]. Ее можно обеспечить применением криптографических методов шифрования сообщений.

4. ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Под погрешностью измерения обычно понимают отклонение измеренного значения величины от ее истинного значения. На практике в основном вместо истинного значения используется действительное значение измеряемой величины. В связи с тем, что понятие разборчивости речи носит исключительно экспертный смысл, то только результат правильно организованных, репрезентативных артикуляционных испытаний может приниматься за действительное значение словесной разборчивости.

Для оценки разборчивости речи в задачах защиты информации, и в частности оценки защищенности речевой информации от утечки по акустоэлектрическим каналам, используется словесная разборчивость со следующими градациями [3]:

- 1) при W , не превышающей 10 %, происходит скрывание фактов ведения переговоров в выделенных помещениях;
- 2) при $W \leq 20$ % – скрывание предмета переговоров;
- 3) при $W \leq 30$ % – скрывание содержания переговоров;
- 4) при $W \leq 40$ % – невозможность составления краткой справки-аннотации о содержании переговоров.

Ошибки в оценке W могут привести к утечке речевой информации.

Метрологические характеристики используемых технических средств определяют инструментальную составляющую погрешности оценки W в зависимости от того, какими устройствами будет пользоваться оператор. Методическая погрешность оценки W определяется согласно рекомендации МИ 2073-90 [17]. В работах [5, 18] дана оценка методической погрешности определения словесной разборчивости. В этих работах показано, что абсолютная погрешность косвенных измерений W может принимать значения до 0,07, а относительная – до 0,35.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов шумоочистки позволяет потенциальному злоумышленнику повысить ранг перехваченной информации. Действующие методики не могут обеспечить достаточную достоверность оценок защищенности речевой информации. Необходимо разрабатывать новые методики с учетом возможности нарушителя использовать средства отложенного анализа записанного речевого сигнала, которые повышают показатели разборчивости речи.

Следует обратить внимание на новые методы защиты речевой информации. Использование формантной теории словесной разборчивости в настоящее время может привести к ошибкам оценки защищенности речевой информации. Для разработки современных методик необходимо учитывать модель поведения злоумышленника, а также помехоустойчивость речевых сигналов. Нужно использовать новые критерии оценки защищенности речевой информации (в частности, критерий энергетической скрытности, алгоритмической скрытности и информационной скрытности).

В существующей методике измерений также есть инструментальная и методическая погрешности, что существенно усложняет адекватную оценку

критерия эффективности защиты. Инструментальную погрешность устранить практически невозможно, она зависит от выбранного оборудования. Абсолютная величина методической погрешности не должна превышать 0,07. Вклад методической погрешности можно сделать меньше, проводя большее количество испытаний. Требуется более детальное исследование методических погрешностей оценки разборчивости речи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорьев С.В.* Оптимизированная по спектру шумовая помеха // Защита информации. Конфидент. – 2003. – № 4.
2. ГОСТ 8031–78. Аппараты телефонные. Тональный метод измерения разборчивости речи. – М.: Госстандарт России, 1978.
3. *Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А.* Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. – 2000. – № 4. – С. 39–45.
4. *Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М., Козлачков С.Б.* Обработка речевых и звуковых сигналов и изображений в пакетах специального программного обеспечения: методические указания к выполнению научно-исследовательских работ студентов по дисциплине «Специальные информационные технологии». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 52 с.
5. *Трушин В.А., Иванов А.В., Рева И.Л.* О корректировке методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Специальная техника. – 2016. – № 6. – С. 22–30.
6. *Дворянкин С.В., Харченко Л.А., Козлачков С.Б.* Оценка защищенности речевой информации с учетом современных технологий шумоочистки // Вопросы защиты информации. – 2007. – № 2 (77). – С. 37–40.
7. *Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М.* Ограничения формантной теории разборчивости речи в приложениях защиты речевой информации // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 5 (18). – С. 28–35.
8. *Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М.* Проблемы и перспективы защиты акустической речевой информации // Специальная техника. – 2016. – № 6. – С. 15–21.
9. Особенности выделения речевой информации при ее зашумлении с целью защиты / С.В. Скрыль, А.М. Бонч-Бруевич, С.Б. Козлачков, С.С. Никулин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 2. – С. 26–32.
10. Некоторые особенности формирования акустоэлектрического канала утечки речевой акустической информации / С.Б. Козлачков, А.М. Бонч-

Бруевич, С.В. Дворянкин, Н.В. Васильевская, А.Л. Селенин // Безопасность информационных технологий. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 60–70.

11. Сапожков М.А. Электроакустика. – М.: Связь, 1978. – 282 с.

12. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. – СПб.: Композитор, 2006. – 719 с.

13. Шушарин А.С., Гуляев В.П. Анализ возможностей шумоочистки речевой информации при многоканальном ведении технической разведки [Электронный ресурс]. – URL: <http://koledj.ru/docs/index-9494.html> (дата обращения: 07.06.2019).

14. Валюх А.А., Хандецкий В.С. Адаптивный цифровой фильтр на основе нейронной сети // Нейроинформатика. – 2010. – № 1. – С. 174–182.

15. Иванов А.В., Трушин В.А. Защита речевой информации от утечки по акустоэлектрическим каналам: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.

16. Трушин В.А. К вопросу об оценке разборчивости речи // Проблемы информационной безопасности государства, общества, личности: материалы 9 Всероссийской научно-практической конференции ТУСУР. – Томск, 2007. – С. 115–119.

17. О достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам / А.П. Бацула, А.В. Иванов, И.Л. Рева, В.А. Трушин // Доклады ТУСУР. – 2010 – № 1 (21), ч. 1. – С. 89–93.

Карауш Александр Сергеевич, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: karaushalexander@yandex.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113

Review and analysis of methods for enhancing speech intelligibility through acoustoelectric channels of information leakage*

A.S. Karaush

Novosibirsk state technical University, 20 K. Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, undergraduate of the department of computer engineering. E-mail: karaush-alexander@yandex.ru

The paper considers the main problems in the field of protection of speech information from leakage through acoustoelectric channels. The purpose of the article is to review and analyze methods for improving speech intelligibility. The paper describes basic methods of noise reduction and signal reconstruction, which are used to improve the quality of speech signals distorted by noise. These include: filtering noise-like and speech-like interference, compensating for distortions that arise in the process of recording messages, reconstructing a voice message by evaluating speech education parameters, using neural network technology. The article presents models of passive and active acoustoelectric channels of speech information leakage, describes the composition of software and hardware systems for analyzing speech information. The paper describes methods that can potentially be used by an intruder to conduct speech reconnaissance on the acoustoelectric channel of speech information leakage. Criteria for assessing the security of speech, based on a universal approach to signal analysis, for each of the main steps of the noise cleaning process, are described. Main types of distortion are considered. Influence of various types of distortions on the indicators for assessing the security of speech information is described. A description of influence of indirect errors on the assessment of speech legibility is given.

Keywords: model of passive acoustoelectric information leakage channel, model of active acoustoelectric information leakage channel, intruder model, speech intelligence, errors of indirect measurements, assessment of the security of acoustoelectric information leakage channels, methods of improving speech intelligibility, criteria for evaluating the security of speech information, noise filtering, linear distortion, non-linear distortion, verbal intelligibility indirect measurement error

REFERENCES

1. Grigor'ev S.V. Optimizirovannaya po spektru shumovaya pomekha [Spectrum-optimized noise interference]. *Zashchita informatsii. Konfident*, 2003, no. 4. (In Russian).
2. GOST 8031–78. *Apparaty telefonnyye. Tonal'nyi metod izmereniya razborchivosti rechi* [State Standard 8031–78. Telephone sets. Tonal method for measuring speech intelligibility]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 1978.
3. Zheleznyak V.K., Makarov Yu.K., Khorev A.A. *Nekotorye metodicheskie podkhody k otsenke effektivnosti zashchity recevoi informatsii* [Some methodo-

* Received 20 November 2018.

logical approaches to assessing the effectiveness of voice information protection]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2000, no. 4, pp. 39–45.

4. Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M., Kozlachkov S.B. *Obrabotka rechevykh i zvukovykh signalov i izobrazhenii v paketakh spetsial'nogo programmnogo obespecheniya* [Processing speech and sound signals and images in special software packages]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 52 p.

5. Trushin V.A., Ivanov A.V., Reva I.L. O korrektyrovke metodiki otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams [About the adjustment of the methodology for assessing the protection of speech information from leakage through technical channels]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2016, no. 6, pp. 22–30.

6. Dvoryankin S.V., Kharchenko L.A., Kozlachkov S.B. Otsenka zashchishchennosti rechevoi informatsii s uchedom sovremennykh tekhnologii shumochistki [Evaluation of voice information security with regard to modern noise-cleaning technologies]. *Voprosy zashchity informatsii – Information security questions*, 2007, no. 2 (77), pp. 37–40.

7. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M. Ogranicheniya formantnoi teorii razborchivosti rechi v prilozheniyakh zashchity rechevoi informatsii [Limitations of the formant theory of speech intelligibility in speech information protection applications]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity Issues*, 2016, no. 5 (18), pp. 28–35.

8. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M. Problemy i perspektivy zashchity akusticheskoi rechevoi informatsii [Problems and prospects of acoustic voice information protection]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2016, no. 6, pp. 15–21.

9. Skryl' S.V., Bonch-Bruevich A.M., Kozlachkov S.B., Nikulin S.S. Osobennosti vydeleniya rechevoi informatsii pri ee zashumlenii s tsel'yu zashchity [Features of the allocation of speech information when it is noisy to protect]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika – Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2014, no. 2, pp. 26–32.

10. Kozlachkov S.B., Bonch-Bruevich A.M., Dvoryankin S.V., Vasil'evskaya N.V., Selenin A.L. Nekotorye osobennosti formirovaniya akustoelektricheskogo kanala utechki rechevoi akusticheskoi informatsii [Specific features of the formation of an acoustoelectric channel of speech information leakage]. *Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii – IT Security*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 60–70.

11. Sapozhkov M.A. *Elektroakustika* [Electroacoustik]. Moscow, Svyaz' Publ., 1978. 282 p.

12. Aldoshina I.A., Pritts R. *Muzykal'naya akustika* [Musical acoustics]. St. Petersburg, 2006. 719 p.

13. Shusharin A.S., Gulyaev V.P. *Analiz vozmozhnostei shumoochistki rechevoi informatsii pri mnogokanal'nom vedenii tekhnicheskoi razvedki* [Analysis of the possibilities of noise cleaning of speech information in the multichannel management of technical intelligence]. Available at: <http://koledj.ru/docs/index-9494.html> (accessed 07.06.2019).

14. Valyukh A.A., Khandetskii V.S. Adaptivnyi tsifrovoy fil'tr na osnove neuronnoi seti [Adaptive digital filter based on neural network]. *Neuroinformatika*, 2010, no. 1, pp. 174–182. (In Russian).

15. Ivanov A.V., Trushin V.A. *Zashchita rechevoi informatsii ot utechki po akusto-elektricheskim kanalam* [Protection of speech information from leakage through acoustoelectric channels]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2011.

16. Trushin V.A. [To the question of the assessment of speech intelligibility]. *Problemy informatsionnoi bezopasnosti gosudarstva, obshchestva, lichnosti: materialy 9-oi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii TUSUR* [Problems of information security of the state, society and the individual. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference], Tomsk, 2007, pp. 115–119. (In Russian).

17. Batsula A.P., Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A. O dostovernosti otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam [The reliability of estimate of security of voice information from leaking by technical channels]. *Doklady TUSUR – Proceedings of TUSUR*, 2010, no. 1 (21), pt. 1, pp. 89–92.

Для цитирования:

Karaush A.S. Обзор и анализ методов повышения разборчивости речи в акусто-электрических каналах утечки информации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 100–113. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113.

For citation:

Karaush A.S. Obzor i analiz metodov povysheniya razborchivosti rechi v akustoelektricheskikh kanalakh utechki informatsii [Review and analysis of methods for enhancing speech intelligibility through acoustoelectric channels of information leakage]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 100–113. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113.

ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

УДК 517.958

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-114-122

**О СТАТИСТИКЕ ГАУССА–КУЗЬМИНА
ДЛЯ ЦЕПНЫХ ДРОБЕЙ***

И.Т. БЕКТЕМИРОВ¹, В.А. СЕЛЕЗНЕВ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры инженерной математики. E-mail: ilkhom.bektemirov@inbox.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор физико-математических наук, профессор. E-mail: seleznev@corp.nstu.ru

Теория математического моделирования процесса роста кристаллических структур в настоящий момент далека от своего завершения. Причиной этого является отсутствие соответствующего геометрического аппарата. Информация о геометрическом строении кристаллических структур носит описательный характер [1, 2], и основным инструментом представления строения кристаллов является аффинная геометрия [3, 4]. В работе [5] приведена геометрическая модель, целью которой является построение плоских решетчатых структур, моделирующих двумерные кристаллические структуры. Геометрический аппарат преобразования решетчатых структур, приведенный в [5], основан на представлении конечных цепных дробей унимодулярными матрицами и претендует на построение модели роста плоских кристаллов. В представлении унимодулярных матриц, композиция которых имитирует рост плоских кристаллов, используются параметры Вейса плоских кристаллов. Этот факт позволяет объяснить, почему параметрами Вейса, как правило, являются натуральные числа 1, 2, 3, 4, 5, 6, реже 7, 8, и практически эти натуральные числа исчерпывают встречающиеся наборы параметров Вейса. Объяснение состоит в том, что натуральные числа, формирующие цепные дроби, подчиняются определенной статистике Гаусса–Кузьмина, и численная проверка этой статистики позволит установить математические закономерности роста кристаллических структур. Данная работа представляет обоснование и постановку численного эксперимента по реализации статистики Гаусса–Кузьмина.

Ключевые слова: статистика Гаусса–Кузьмина, представление цепных дробей, цепные дроби

* Статья получена 26 ноября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

В работе исследуется алгоритм получения частотного распределения натуральных чисел в представлении действительных чисел цепными дробями. Согласно известной теореме Гаусса–Кузьмина, [6, с. 110], вероятность $R(m)$ появления натурального числа в разложении для почти всех действительных чисел равна

$$R(m) = \frac{1}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{1}{m(m+2)} \right). \quad (1)$$

Чтобы получить статистику такого распределения, надо взять репрезентативную выборку чисел $r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_N \subset [a, b]$, разложить эти числа в цепные дроби по правилу

$$r_k = a_0^k + \frac{1}{a_1^k + \frac{1}{a_2^k + \dots + \frac{1}{a_n^k}}}, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

и рассмотреть матрицу данных, состоящую из выборок (2)

$$\begin{array}{c} a_1^1 a_2^1 \dots a_n^1 \\ \dots \\ a_1^k a_2^k \dots a_n^k \\ \dots \\ a_1^N a_2^N \dots a_n^N \end{array} \quad (3)$$

Для каждой строки матрицы обозначим через $P_n^k(m)$ относительную частоту появления натурального числа m – отношение числа повторений натурального m в этой строке к длине n этой строки. При таком построчном вычислении согласно теореме Гаусса–Кузьмина мы должны получить

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_n^k(m) = R(m), \quad (4)$$

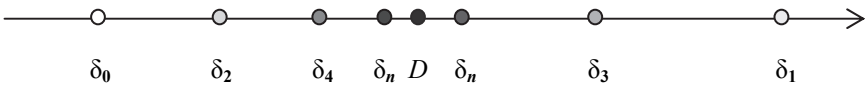
где предел не зависит от выбора строки K в матрице представлений (3).

Главные два препятствия на пути вычисления предела (4) состоят в следующем. Во-первых, требуется построить и обосновать репрезентативность выборки (3), ведь теорема Гаусса–Кузьмина на множестве рациональных чисел не выполняется в силу конечности подходящих цепных дробей таких чисел. Во-вторых, для обработки данных надо построить конечные выборки рациональных чисел, аппроксимирующих числа из предположительно репрезентативной выборки действительных чисел. Такие выборки содержат конечное небольшое число элементов подходящей цепной дроби, поэтому смоделировать численно предел (4) можно только при неоправданно больших вычислительных затратах. В данной работе проверяются относительные частоты не на каждой отдельно взятой строке рационального числа из выборки (3), а по столбцам на всей матрице (3), когда эта матрица представляет репрезентативную выборку. Другими совами, будем исследовать частоты натуральных чисел на первом, втором и так далее столбцах в разложении (3) всей выборки r_1, r_2, \dots, r_N при $N \rightarrow \infty$.

Замечание. В связи с исследованием частоты параметров Вейса на основе решетчатой модели роста плоских кристаллов [5] мы ограничимся нахождением частот натуральных чисел $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

1. ОБОСНОВАНИЕ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ ВЫБОРКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЧИСЛОВОЙ РЕШЕТКИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Теорема Гаусса–Кузьмина задает распределение частот на подмножестве множества иррациональных чисел, имеющем полную меру Лебега на любом отрезке [6, 7]. Поскольку при построении выборки (3) мы пользуемся рациональными приближениями действительных чисел, то построение репрезентативной выборки мы основываем на следующем [6] известном геометрическом свойстве цепных дробей. Пусть дана цепная дробь $[a_0; a_1, a_2, \dots, a_n]$. По построению ей можно сопоставить конечную подходящую цепную дробь $\delta_n = [a_0; a_1, a_2, \dots, a_n]$. Тогда все дроби вида $D = [a_0; a_1, a_2, \dots, a_n, r_n]$ для всевозможных «хвостов» r_n , где «хвост» – цепная дробь, лежат внутри отрезка $[\delta_{n-1}; \delta_n]$, или $[\delta_n; \delta_{n-1}]$ в зависимости от четности n (см. рисунок). Этот факт следует из того, что четные подходящие дроби образуют возрастающую последовательность, а нечетные – убывающую последовательность [6, 7].



Здесь «хвост» r_n есть цепная дробь, представляющая любое число множества всех чисел луча $[1; \infty)$. Таким образом, если взять отрезок любой длины, как угодно малой, то на нем множество действительных чисел, для которых выполняется теорема Гаусса–Кузьмина, образует множество полной меры. Мы получаем следующий результат.

Свойство 1. Пусть $a = [a_0; a_1, a_2, \dots, a_n, r_n]$, тогда множество действительных чисел, которые в своем разложении имеют ту же конечную часть $[a_0; a_1, a_2, \dots, a_n]$, имеет положительную меру, и все такие числа лежат внутри отрезка $[\delta_{n-1}; \delta_n]$ или $[\delta_n; \delta_{n-1}]$ для любого числа r_n из интервала $[1; \infty)$.

Пусть дана выборка рациональных чисел в виде цепных дробей (3). В этой выборке оставим только те числа, в разложении которых присутствует число натуральных чисел не ниже некоторого зафиксированного натурального n . Объединение всех таких выборок по $n = 1, 2, 3, \dots$, при $N \rightarrow \infty$ назовем рациональной решеткой. На основании свойства 1 приходим к следующему выводу.

Свойство 2. Статистика Гаусса–Кузьмина выполняется на рациональной решетке (3) построчно.

Вычислим относительную частоту натуральных чисел 1, 2, 3, 4, 5, 6 в каждой строке и продолжим этот процесс при увеличении n . При увеличении числа N выборок (3) заданной длины n будут расти медленно и наблюдать статистику Гаусса–Кузьмина будет затруднительно. Поэтому логично сформулировать следующую задачу. Необходимо проверить, выполняется ли закон Гаусса–Кузьмина (4) на расширяющейся рациональной решетке (3), если относительные частоты натуральных чисел на этой решетке вычислять не по строкам, а по столбцам.

Вопрос численной экспериментальной проверки закона (4) Гаусса–Кузьмина ставился В.И. Арнольдом в работе [7]. Однако вопрос о репрезентативности выборки рациональной решетки, аппроксимирующей репрезентативную выборку действительных чисел, на которой выполняется закон Гаусса–Кузьмина, в работе [7] не обсуждался.

2. ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЧАСТОТ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ ПО СТОЛБЦАМ РАЦИОНАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

Для вычислений относительных частот натуральных чисел 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 по столбцам рациональных решеток (3) вначале убедимся в «хорошей» равномерности выборки рациональных чисел вида $\frac{p}{q} \leq 1$ при $q \leq N = 100$ и $N = 500$ в интервалах $[0; 0,1]$, $(0,1; 0,2]$, ..., $(0,9; 1]$ отрезка $[0,1]$. Указанная равномерность выборки рациональных чисел при $N = 100$ и $N = 500$ отражена в табл. 1, где $\frac{N(J_k)}{N}$ обозначает относительную частоту рациональных чисел, попадающих в интервалы J_k , $k = 0, 1, 2, 3, \dots, 9$.

Таблица 1

Равномерности выборки рациональных чисел

J	$\frac{N(J_k)}{N}$ $N = 100$	$\left(0,1 - \frac{N(J_k)}{N}\right)\%$ $N = 100$	$\frac{N(J_k)}{N}$ $N = 500$	$\left(0,1 - \frac{N(J_k)}{N}\right)\%$ $N = 500$
J_0	0,0999343	0,006575	0,0999921	0,00079
J_1	0,1005917	-0,059172	0,0999527	0,00473
J_2	0,0999343	0,006575	0,1000315	-0,00315
J_3	0,0999343	0,006575	0,1000184	-0,00184
J_4	0,0999343	0,006575	0,1000053	-0,00053
J_5	0,0999343	0,006575	0,1000053	-0,00053
J_6	0,0999343	0,006575	0,1000184	-0,00184
J_7	0,0999343	0,006575	0,1000315	-0,00315
J_8	0,1005917	-0,059172	0,0999527	0,00473
J_9	0,0999343	0,006575	0,0999921	0,00079

Для рациональных решеток (3), соответствующих двум случаям: $N = 100$ и $N = 500$ в интервалах $[0; 0,1]$, $(0,1; 0,2]$, ..., $(0,9; 1]$ отрезка $[0,1]$ выборки рациональных чисел, которые приведены в табл. 1, вычислены относительные частоты натуральных чисел m по столбцам. Относительные частоты для чи-

сел $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ и их относительные погрешности к статистике Гаусса–Кузьмина приведены в табл. 2.

Таблица 2

Относительных частот и их погрешности статистики Гаусса–Кузьмина $N = 100$

m	Вероятность Гаусса–Кузьмина	Относительные частоты	Относительные погрешности в %
1	0,42503745	0,52677558	26,90843
2	0,16992500	0,19465649	14,55436
3	0,09310940	0,10687023	14,77920
4	0,05889369	0,06488550	10,17394
5	0,04064199	0,04580153	12,69511
6	0,02974734	0,03435115	15,47635
7	0,02272008	0,02671756	17,59448

 $N = 500$

m	Вероятность Гаусса–Кузьмина	Относительные частоты	Относительные погрешности в %
1	0,42503745	0,53832005	29,70396
2	0,16992500	0,19880442	16,99539
3	0,09310940	0,10269773	10,29792
4	0,05889369	0,06345800	7,77501
5	0,04064199	0,04261189	4,84698
6	0,02974734	0,03065604	3,05471
7	0,02272008	0,02345187	3,22091

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты относительной погрешности, приведенные в табл. 2, показывают, что закон Гаусса–Кузьмина (4) на столбцах рациональной решетки (3) начинает проявляться для натуральных $m = 4, 5, 6, 7$ начиная с рациональных

чисел вида $\frac{p}{q} \leq 1$ при $q \leq N = 500$ на интервалах $[0; 0,1], (0,1; 0,2], \dots, (0,9; 1]$

отрезка $[0,1]$. Для натуральных $m = 1, 2, 3$ реализация закона Гаусса–Кузьмина требует привлечения рациональных решеток (3), представляющих числа вида $\frac{p}{q} \leq 1$ при $q \leq N$ с более большими значениями натуральных N .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. Основы кристаллографии. – М.: Физматлит, 2006. – 500 с.
2. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П. Геометрическая кристаллография. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 164 с.
3. Ефимов Н.В. Высшая геометрия. – М.: Физматлит, 2004. – 584 с.
4. Яглом И.М., Ашкингузе В.Г. Идеи и методы аффинной и проективной геометрии. – М.: Учпедгиз, 1962. – 245 с.
5. Селезнев В.А. О новом алгоритме вычисления цепных дробей и его применения // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – С. 214–217.
6. Хинчин А.Я. Цепные дроби. – М.: Наука, 1978. – 111 с.
7. Арнольд В.И. Цепные дроби. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во МЦМНО, 2009. – 40 с.

Селезнев Вадим Александрович, доктор физико-математических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – геометрические структуры в фазовых пространствах процессов переноса. Имеет более 114 публикаций. E-mail: seleznev@corp.nstu.ru

Бектемиров Илхом Тлеубергенович, специалист по математическому анализу, 2004–2010 г. – кафедра «Математический анализ» физико-математического факультета Каракалпакского государственного университета (КГУ) им. Бердаха. С 2010 по 2014 г. ассистент Каракалпакского государственного университета. С 2015 г. аспирант кафедры инженерной математики Новосибирского государственного технического университета. В настоящее время специализируется в области геометрических методов в задачах математической физики. Имеет 7 публикаций. E-mail: ilkhom.bektemirov@inbox.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-114-122

About statistics of Gauss–Kuzmin for chain cracks*

I.T. Bektemirov¹, V.A. Seleznev²

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, the post-graduate student of Department engineering mathematics. E-mail: ilkhom.bektemirov@inbox.ru

²Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: seleznev@corp.nstu.ru

The theory of mathematical modeling of the growth of crystal structures is currently far from complete. The reason for this is the lack of an appropriate geometric apparatus. Information about the geometric structure of crystalline structures is descriptive [1], [2] and affine geometry [3], [4] is the main tool for representing the structure of crystals. In [5], a geometric model is presented, the purpose of which is to construct flat lattice structures simulating two-dimensional crystal structures. The geometric apparatus for the transformation of lattice structures given in [5] is based on the representation of finite continued fractions by unimodular matrices and claims to build a model for the growth of flat crystals. In the representation of unimodular matrices whose composition imitates the growth of flat crystals, the Weiss parameters of flat crystals are used. This fact allows us to explain why the parameters of Weiss, as a rule, are natural numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, less often 7, 8, and practically these natural numbers use the found sets of Weiss parameters. The explanation is that natural numbers forming continued fractions are subject to certain Gauss–Kuzmin statistics, and numerical verification of these statistics will make it possible to establish mathematical regularities in the growth of crystal structures. This paper presents the rationale and formulation of a numerical experiment on the implementation of Gauss–Kuzmin statistics.

Keywords: Gauss–Kuzmin statistics, representation of continued fractions, continued fractions

REFERENCES

1. Chuprunov E.V., Khokhlov A.F., Faddeev M.A. *Osnovy kristallografii* [Basics of crystallography]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 500 p.
2. Zagal'skaya Yu.G., Litvinskaya G.P. *Geometricheskaya kristallografiya* [Geometric crystallography]. Moscow, MSU Publ., 1973. 164 p.
3. Efimov N.V. *Vysshaya geometriya* [Higher geometry]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 584 p.
4. Yaglom I.M., Ashkinuze V.G. *Idei i metody affinnoi i proektivnoi geometrii* [Ideas and methods of affine and projective geometry]. Moscow, Uchpedgiz Publ., 1962. 245 p.
5. Seleznev V.A. [On the new algorithm for calculating continued fractions and its application]. *Intellektual'nyi analiz signalov, dannykh i znanii: metody i sredst-*

* Received 26 November 2018.

va: sbornik statei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Intelligent analysis of signals, data and knowledge: methods and means. Collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2017, pp. 214–217. (In Russian).

6. Khinchin A.Ya. *Tsepnye drobi* [Chain fractions]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 111 p.

7. Arnol'd V.I. *Tsepnye drobi* [Chain fractions]. 2nd ed. Moscow, MCCME Publ., 2009. 40 p.

Для цитирования:

Бектемиров И.Т., Селезнев В.А. О статистике Гаусса–Кузьмина для цепных дробей // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 114–122. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-114-122.

For citation:

Bektemirov I.T., Seleznev V.A. O statistike Gaussa–Kuzmina dlya tsepnykh drobei [About statistics of Gauss–Kuzmyn for chain cracks]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 114–122. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-114-122.

СООБЩЕНИЯ

УДК 004.01

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-123-131

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
ЗНАЧИМОГО ОБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***

Л.Д. ЗАВОРИНА¹, В.В. СЕЛИФАНОВ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студент кафедры защиты информации. E-mail: ljubasik-1234@mail.ru

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

Еще два года назад к безопасности критически важных объектов относили только защиту промышленных объектов, однако сейчас ситуация изменилась. С 1 января 2018 года вступил в силу ФЗ № 187 от 26.07.2017 г. «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», где было обозначено понятие критической информационной инфраструктуры, для которой важна разработка системы защиты информации. В нашем регионе вопрос защиты КИИ стоит крайне остро, поскольку в Сибирском федеральном округе сосредоточено значительное количество ведущих предприятий и организаций, попадающих под действие закона. Можно выделить основные цели защиты системы безопасности значимого объекта критической информационной инфраструктуры: предотвращение неправомерного доступа к информации, недопущение воздействия на технические средства обработки информации, восстановление функционирования значимых объектов КИИ, непрерывное взаимодействие с государственной системой обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации. Перед созданием системы безопасности предприятию необходимо грамотно составить перечень объектов КИИ и провести их категорирование. Для создания системы защиты необходимо обследовать ИТ-инфраструктуру, сформировать перечень организационных и технических мероприятий. На первом этапе руководителю организации нужно разработать и утвердить приказ о создании системы безопасности значимых объектов КИИ. На втором этапе возникает потребность в разработке технического задания. Третий этап подразумевает формирование организационных и технических мер по обеспечению безопасности значимого объекта КИИ: модели угроз, документация технического проекта, комплект эксплуатационной документации. В завершение лицензиатом ФСТЭК проводится аттестация значимого объекта КИИ (обязательное условие для государственных информационных систем).

* Статья получена 30 октября 2018 г.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура (КИИ), объект КИИ, Федеральная служба по техническому и экспортному контролю России (ФСТЭК), государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (ГОССОПКА), система безопасности значимого объекта КИИ (СБЗОКИИ), информационная безопасность

ВВЕДЕНИЕ

Еще в 2017 году к безопасности критически важных объектов относили только защиту промышленных объектов, требования к их обеспечению защиты изложены в Приказе № 31 ФСТЭК России. С 2018 года ситуация изменилась на государственном уровне. Пришли к выводу, что если, например, кибератака притормозит работу крупного банка, то ущерб будет значительным для многих людей. С 1 января 2018 года вступил в силу Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической инфраструктуры Российской Федерации», закрепляющий понятие критической информационной инфраструктуры, которой важна разработка системы защиты информации.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ

Система защиты значимого объекта КИИ разрабатывается для субъектов, работающих в сфере ракетно-космической, атомной, металлургической, горно-добывающей, химической и оборонной промышленности, науки, здравоохранения, транспорта, энергетики, связи, топливно-энергетического комплекса, финансовой и банковской [1].

Прежде чем приступить к созданию системы безопасности значимого объекта КИИ, субъектам необходимо сформировать перечень объектов КИИ и провести их категорирование. И уже на этом этапе у предприятий возникают трудности. На данный момент уже более 1100 организаций, которые точно будут попадать под действие 187-ФЗ, отправили информацию об объектах КИИ во ФСТЭК и продолжают это делать с возрастающей интенсивностью. В конце февраля 2019 года заместитель начальника Управления ФСТЭК России Е.Б. Торбенко уточнила, что ФСТЭК уже известно об 29 000 объектов КИИ. На данный момент их скорее всего уже 30 000, из них категорировано уже более 1400 объектов, а информация о результатах категорирования 600 объектов была возвращена владельцам. Следовательно, зачастую субъекты отправляют во ФСТЭК неполную информацию, пропуская важные моменты, и присылают ненужную информацию, серьезно нагружая регулятор.

В нашем регионе вопрос защиты КИИ стоит крайне остро, поскольку в Сибирском федеральном округе сосредоточено значительное количество ведущих предприятий и организаций, попадающих под действие закона № 187-ФЗ.

12 декабря 2018 года в Новосибирске прошла конференция «Будни информационной безопасности», посвященная значимым проблемам российской отрасли информационной безопасности и ключевым направлениям ее развития. Организатором мероприятия выступал ведущий российский разработчик и производитель высокотехнологичных программных и программно-аппаратных средств защиты информации – компания ИнфорТеКС. Специалисты по ИБ получили ответы на интересующие вопросы, относящиеся к требованиям, подходам к защите, подключению к государственной системе обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации (ГОССОПКА). Такого рода конференции прошли во многих областных центрах страны. Следовательно, существует проблема в создании системы защиты значимого объекта КИИ, и мы подробно разберем, какие меры необходимо предпринять в соответствии с новыми требованиями.

В соответствии с Приказом ФСТЭК России от 21.12.2017 № 235 «Об утверждении Требований в создании систем безопасности значимых объектов КИИ РФ и обеспечению их функционирования» можно выделить следующие цели защиты системы:

- предотвращение неправомерного доступа к информации, обрабатываемой значимыми объектами КИИ (т. е. не всеми), уничтожения такой информации, ее модифицирования, блокирования, копирования, предоставления и распространения, а также иных неправомерных действий в отношении такой информации;

- недопущение воздействия на технические средства обработки информации, в результате которого может быть нарушено и (или) прекращено функционирование значимых объектов КИИ (наличие СКУД и видеонаблюдения обязательно);

- восстановление функционирования значимых объектов КИИ, в том числе за счет создания и хранения резервных копий необходимой для этого информации;

- непрерывное взаимодействие с государственной системой обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации в соответствии со ст. 5 187-ФЗ (ГОССОПКА) [3].

На первом этапе руководителю организации необходимо разработать и утвердить приказ о создании системы безопасности значимых объектов КИИ. Должны быть описаны цели и сроки создания СБЗОКИИ, субъекты, ответственные за безопасность и их полномочия по обеспечению безопасности КИИ, ответственные за создание лица и лицо, осуществляющее за этим контроль [1, 3].

На втором этапе возникает потребность в установлении требований к обеспечению безопасности значимых объектов КИИ, т. е. в разработке технического задания на создание СБЗОКИИ. Подразделение ИБ организации, лицензиат ФСТЭК России должны выполнить следующие задачи:

- на основании установленной категории значимости установить базовый набор мер по обеспечению безопасности значимого объекта;
- адаптировать вышеупомянутый набор мер в соответствии с угрозами безопасности информации, которые могут быть применены информационными технологиями и особенностями функционирования значимого объекта;
- разработать меры компенсации, которые будут обеспечивать нейтрализацию угроз безопасности информации с надлежащим уровнем защищенности значимого объекта [2].

На выходе разрабатывается техническое задание на создание СБЗОКИИ, в котором должны быть описаны:

- цели и задачи обеспечения безопасности значимого объекта или СБЗОКИИ;
- категория значимости значимого объекта;
- перечень нормативно-правовых актов и иных документов и стандартов, соответствующих значимому объекту;
- перечень типов объектов защиты значимого объекта;
- технические и организационные меры, применяемые для безопасности значимого объекта;
- этапы работ создания системы безопасности значимого объекта;
- требования к используемым программным и программно-аппаратным средствам, в том числе средствам защиты информации;
- требования к защите средств и систем, которые обеспечивают функционирование значимого объекта;
- требования к информационному взаимодействию значимого объекта с иными объектами КИИ (в том числе ИС, АСУ, ИТС) [Там же].

Третий этап подразумевает разработку организационных и технических мер по обеспечению безопасности значимого объекта КИИ, в результате которого составляются модель угроз безопасности информации значимого объекта КИИ, документация технического проекта, комплект эксплуатационной документации [2, 3].

В процессе анализа угроз безопасности и разработки модели угроз безопасности информации подразделение ИБ организации должно выполнить следующие задачи:

- выявить источники угроз и оценить потенциал внешних и внутренних нарушителей;
- сделать анализ уязвимостей значимого объекта и его программно-аппаратных средств;
- определить возможные сценарии реализации угроз;
- оценить вероятные последствия от возникновения угроз.

Модель угроз должна содержать следующую информацию о значимом объекте:

- описание архитектуры;
- характеристика источников угроз безопасности, модель нарушителя;
- описание всех актуальных угроз (с указанием источников, уязвимостей, способов реализации и возможных последствий) [2, 3].

Затем подразделению ИБ необходимо разработать документацию технического проекта, включающую следующее:

- ведомость;
- пояснительную записку;
- схему структуры комплекса технических средств с описанием комплекса;
- описание программного обеспечения;
- схему функциональной структуры;
- схему и описание организационной структуры;
- план расположения;
- сметы на создание системы [Там же].

Состав и содержание документации технического проекта определяются в соответствии с ГОСТ 34.201, РД 50-34.698-90.

Затем разрабатывается эксплуатационная документация на значимый объект, которая включает:

- описание архитектуры системы безопасности;
- описание параметров и порядка настройки средств защиты, программно-аппаратных средств;
- правила безопасной эксплуатации [2].

На четвертом этапе подразделение ИБ выполняет внедрение организационных и технических мер по обеспечению безопасности значимого объекта КИИ и ввод СБЗОКИИ в действие.

Первым делом программные и технические средства для СБЗОКИИ закупают, устанавливают на объекты и настраивают. Составляются товарные накладные, акты передачи прав на ПО, акты установки-настройки средств защиты.

Далее разрабатываются организационно-распорядительные документы о правилах и процедурах обеспечения безопасности значимого объекта КИИ.

Комплект документов включает:

- политику идентификации и аутентификации;
- политику управления доступом;
- матрицу доступа;
- политику ограничения программной среды;
- политику защиты машинных носителей и журнал учета;
- политику аудита безопасности;
- политику антивирусной защиты;
- политику компьютерных атак;
- политику обеспечения целостности;
- политику обеспечения доступности;
- политику защиты технических средств и систем;
- план контролируемой зоны;
- политику защиты информационной системы и ее компонентов;
- политику реагирования на компьютерные инциденты;
- политику управления конфигурацией информационной системы;
- технический паспорт ОКИИ;
- перечень разрешенного к использованию программного обеспечения;
- политику управления обновлениями программного обеспечения;
- политику планирования мероприятий по обеспечению защиты информации;
- план мероприятий по обеспечению безопасности значимых объектов;
- политику обеспечения действий в нештатных ситуациях;
- политику информирования и обучения персонала [2, 3].

Затем подразделение ИБ внедряет организационные и технические меры по обеспечению безопасности значимого объекта КИИ в организации, составляет приказ.

На этапе предварительных испытаний значимого объекта КИИ и его системы безопасности разрабатываются программа и методика, приказ о проведении, протокол проведения и акт приемки СБЗОКИИ в опытную эксплуатацию [2].

Далее подразделение ИБ предприятия проверяет функционирование системы безопасности, знания и умения пользователей и администраторов, которые необходимы для эксплуатации значимого объекта и его системы безопасности. В результате проверок составляются программа, методика и журнал опытной эксплуатации.

На основе оформленного анализа уязвимостей значимого объекта подразделение ИБ создает протокол, в котором должно быть подтверждение того,

что в значимом объекте отсутствуют, по крайней мере, уязвимости, содержащиеся в банке данных угроз безопасности информации ФСТЭК России.

Затем проводятся приемочные испытания значимого объекта КИИ и его системы безопасности, разрабатываются программа и методика, приказ о проведении испытаний, протокол проведения и акт приемки СБЗОКИИ в эксплуатацию [2].

Завершающий этап – аттестация значимого объекта КИИ, которую проводит лицензиат ФСТЭК России с аттестатом аккредитации, только в том случае, если значимый объект является государственной информационной системой и обрабатывает информацию, содержащую государственную тайну. На основании разработанной им программы и методики проводятся комплексные испытания значимого объекта КИИ в реальных условиях.

По усмотрению руководителя организации оценка соответствия объекта КИИ требованиям по ЗИ проводится в форме аттестации [Там же].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита важной для жизнедеятельности людей и безопасности страны информационной инфраструктуры больше не является личным делом ее владельцев. У субъектов КИИ должны быть подготовлены и переданы во ФСТЭК перечни объектов и их категорирование, а практика показывает, что далеко не все предприятия успели это сделать. Для приведения системы защиты необходимо провести обследование ИТ-инфраструктуры, сформировать перечень организационных и технических мероприятий. Время пока еще есть, но специалистам по ИБ стоит поспешить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 № 187-ФЗ.
2. Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
3. Приказ ФСТЭК России от 21 декабря 2017 г. № 235 «Об утверждении Требований к созданию систем безопасности значимых объектов КИИ РФ и обеспечению их функционирования».
4. Анализ требований законодательства по защите критической информационной инфраструктуры [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.security-code.ru/company/events/analiz-trebovaniy-zakonodatelstva-po-zashchite-kriticheskoy-informatsionnoy-infrastruktury-kii/> (дата обращения: 07.06.2019).

Заворина Любовь Денисовна, студентка кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: ljubasik-1234@mail.ru

Селифанов Валентин Валерьевич, старший преподаватель кафедры защиты информации. E-mail: sfo1@mail.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-123-131

Development of the system of protection of information of a significant object of critical infrastructure of the Russian Federation *

L.D. Zavorina¹, V.V. Selifanov²

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student of the information security department, AB-528 group. E-mail: ljubasik-1234@mail.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, Senior lecturer, department of information protection. E-mail: sfo1@mail.ru*

Two years ago, the safety of critical facilities was attributed only to the protection of industrial facilities, but now the situation has changed. From 1 January 2018, Federal law No. 187 of 26.07.2017 "On the safety of the critical information infrastructure of the Russian Federation" came into force, which established the concept of critical information infrastructure, which is important for the development of the information protection system. In our region, the issue of CII protection is extremely acute, as a significant number of leading enterprises and organizations falling under the law are concentrated in the Siberian Federal district. It is possible to identify the main objectives of the security system protection of a significant object of critical information infrastructure: prevention of unauthorized access to information, failure to influence the technical means of information processing, restoration of the functioning of significant objects of CII, continuous interaction with the state system of detection, prevention and elimination of the consequences of computer attacks on information resources of the Russian Federation. Before creating a security system, an enterprise should correctly compile a list of KII facilities and categorize them. To create a security system, it is necessary to examine the IT infrastructure, create a list of organizational and technical measures. At the first stage, the head of the organization needs to develop and approve an order to create a security system for significant facilities of the KII. At the second stage there is a need for the development of technical specifications. The third stage involves the formation of organizational and technical measures to ensure the safety of a significant CII facility: threat models, technical project documentation, a set of operational documentation. At the end, the licensee of the FSTEC conducts certification of a significant object of the CII (a prerequisite for state-impact information systems).

Keywords: critical information infrastructure (CII), object CUES, the Federal service for technical and export control of Russia (FSTEC), the state system of detection, prevention and elimination of consequences of computer attacks (GOSSIPY), security system significant object CUES (SBTCI), information security

* Received 30 October 2018.

REFERENCES

1. Federal law "On security of critical information infrastructure of the Russian Federation" dated 26.07.2017 N 187-FZ. (In Russian).
2. Order of FSTEC of Russia of December 25, 2017 N 239 "About the approval of requirements for safety of significant objects of critical information infrastructure of the Russian Federation». (In Russian).
3. Order of FSTEC of Russia of December 21, 2017 N 235 "About the approval of Requirements to creation of security systems of significant objects of КИИ of the Russian Federation and ensuring their functioning». (In Russian).
4. *Analiz trebovaniy zakonodatel'stva po zashchite kriticheskoi informatsionnoi infrastruktury* [Analysis of the requirements of legislation for the protection of critical infrastructure]. Available at: <https://www.securitycode.ru/company/events/analiz-trebovaniy-zakonodatelstva-po-zashchite-kriticheskoy-informatsionnoy-infrastruktury-kii/> (accessed 07.06.2019).

Для цитирования:

Заворина Л.Д., Селифанов В.В. Разработка системы защиты информации значимого объекта критической инфраструктуры Российской Федерации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 123–131. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-123-131.

For citation:

Zavorina L.D., Selifanov V.V. Razrabotka sistemy zashchity informatsii znachimogo ob"ekta kriticheskoi infrastruktury Rossiiskoi Federatsii [Development of the system of protection of information of a significant object of critical infrastructure of the Russian Federation]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 123–131. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-123-131.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Е.В. ЗЫРЯНОВА¹, В.М. БЕЛОВ², Д.Л. КОСОВ³

¹ 658207, РФ, Алтайский край, г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6, Рубцовский индустриальный институт, (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, старший научный сотрудник; 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент кафедры защиты информации, кандидат технических наук. E-mail: keyvezed@mail.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности и управления в телекоммуникациях. E-mail: vmbelov@mail.ru

³ 656049, РФ, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Димитрова 83-1, юридическая компания «Надежда», директор. E-mail: kosovdl@mail.ru

Осуществление мероприятий по обеспечению комплексной безопасности носит массовый характер. Успешное осуществление таких мероприятий при такой их масштабности возможно только при наличии хорошего инструментария в виде методов и средств решения соответствующих задач. В данной статье обоснована необходимость обеспечения комплексной безопасности объектов информатизации, приведены ее необходимые компоненты и принципы. При выборе необходимых направлений обеспечения КБ ОИ необходимо руководствоваться результатами анализа рисков, которым он может быть подвержен, а также анализом элементов защиты, представляющими наибольшую ценность для всего объекта. Выявлено, что юридическая компонента представляется первоочередной для обеспечения комплексной безопасности. В связи с этим в данной статье подробно рассмотрена именно юридическая компонента. Проведен анализ имеющихся нормативных правовых актов, регулирующих информационную безопасность как часть комплексной безопасности объектов информатизации; описана процедура оценки качества нормативных правовых актов, регулирующих информационную безопасность телекоммуникационных систем, с помощью алгоритма, использующего экспертный опрос и нечеткие математические модели с балльной шкалой. Составлен список критериев качества нормативных актов в области защиты информации, которые

* Статья получена 06 ноября 2018 г.

должны быть соблюдены для обеспечения безопасности в данной области. Приведены результаты проведения оценки качества данных нормативных актов, указаны недостатки, выявленные в процессе проведения оценки качества. Проведен анализ результатов опроса экспертов по каждому из критериев качества опросника. Сделаны выводы, что актуальные на данный момент ГОСТы не охватывают полностью все компоненты ИБ ТКС и требуют доработки в этом направлении.

Ключевые слова: комплексная безопасность, телекоммуникационные системы, защита информации, оценка качества, информационная безопасность, ГОСТы, нормативные правовые акты, качество нормативных правовых актов

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы защиты информации на текущем этапе развития современного общества становятся всё более актуальными для огромного количества социально значимых объектов различных размеров, направлений и принадлежности. Это объясняется тем, что резко расширяется разнообразие подлежащей защите информации (государственная, промышленная, коммерческая, персональная и т. п.), и обеспечение безопасности такой информации требует комплексного и всестороннего подхода.

Осуществление мероприятий по обеспечению комплексной безопасности (КБ) носит массовый характер, и успешное осуществление указанных мероприятий при такой их масштабности возможно только при наличии хорошего инструментария в виде методов и средств решения соответствующих задач.

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Определение характеристик уровня комплексной защищенности объектов информатизации (ОИ) в настоящее время затруднено, тем не менее разработка методов определения КБ ОИ не является неразрешимой задачей.

Составляющие обеспечения КБ ОИ и их основные принципы приведены на рисунке.

В табл. 1 подробно описаны компоненты КБ ОИ, позволяющие понять суть комплексного подхода к обеспечению КБ ОИ.

Основные принципы, соблюдение которых необходимо при формировании системы КБ ОИ, подробно описаны в работе [1].

Зарубежный и отечественный опыт обеспечения КБ свидетельствует, что для борьбы с потенциально возможными и реально возникающими угрозами необходима стройная и целенаправленная организация процесса противодействия. Причем реализация этого процесса должна включать использование

всех возможных сил и средств защиты с целью недопущения, пресечения и оперативной ликвидации последствий нештатных ситуаций и чрезвычайных происшествий. То есть процесс защиты от всевозможных угроз должен непременно иметь комплексный характер.

Предлагаемый перечень основных направлений обеспечения КБ ОИ наглядно демонстрирует, что если, например, пожарную, охранную, техногенную и другие виды безопасности можно обеспечить независимо друг от друга, то КБ можно надежно обеспечить только при условии реализации всех указанных в табл. 1 направлений.

При выборе необходимых направлений обеспечения КБ ОИ необходимо руководствоваться результатами анализа рисков, которым он может быть подвержен, а также анализом элементов защиты, представляющих наибольшую ценность для всего объекта.



Состав и основные принципы обеспечения КБ ОИ

Таблица 1

Классификация основных направлений КБ ОИ

Раздел КБ ОИ	Характеристика
Военная безопасность	Защита объектов от воздействия средств поражения, оружия массового поражения, диверсий, терроризма, локальных вооруженных конфликтов, обеспечение КБ в мирное время, в угрожаемый период и в военное время
Охранная безопасность	1. Защита стационарных объектов от проникновения посторонних лиц, краж, грабежей, разбойных нападений, террористических актов, массовых беспорядков и других криминальных воздействий. 2. Защита подвижных объектов от криминальных воздействий. 3. Защита физических лиц от криминальных воздействий
Пожарная безопасность	1. Обеспечение мер по предупреждению возгорания. 2. Обеспечение мер по обнаружению возгорания. 3. Обеспечение эвакуации и спасения людей при возникновении пожара. 4. Обеспечение пожаротушения
Информационная безопасность	Защита конфиденциальной информации, различных видов тайны и интеллектуальной собственности от угроз криминального и некриминального характера
Техногенная безопасность	1. Обеспечение безаварийной безотказной работы технологического оборудования. 2. Обеспечение безопасного протекания технологических процессов для людей и окружающей природной среды. 3. Обеспечение постоянного контроля технологического оборудования и технологических процессов. 4. Оперативное проведение аварийно-спасательных работ в период возникновения техногенных аварий и катастроф
Экономическая безопасность	Защита финансово-экономической деятельности объекта от различных видов угроз
Юридическая безопасность	Правовое обеспечение деятельности объекта в рамках действующего законодательства
Безопасность трудовой деятельности	Обеспечение безопасных условий трудовой деятельности персонала ОИ
Природно-климатическая безопасность	Защита объекта от угроз природного характера
Экологическая безопасность	Защита окружающей среды от вредных воздействий технологических процессов, осуществляемых на объекте; защита объектов от вредных воздействий окружающей среды
Санитарно-эпидемиологическая безопасность	Защита здоровья персонала объектов (обеспечение комплекса мер по соблюдению гигиены, санитарии, профилактики заболеваний, организации медицинского обслуживания и т. п.)

Таким образом, при проектировании системы обеспечения КБ ОИ необходимо провести выбор направлений и принципов ее реализации. Эти же направления и принципы необходимо заложить в концепцию обеспечения КБ ОИ, которая служит основой создания системы обеспечения КБ ОИ.

Любая подсистема КБ ОИ и любые действия в рамках обеспечения КБ регламентируются соответствующими нормативными правовыми актами (НПА), которые периодически изменяются и дополняются законодательными органами, разрабатываются новые и приводятся в соответствие уже имеющиеся. И от того, насколько полно и качественно данное законодательство представлено, зависит уровень обеспечения КБ.

Существенным фактором здесь призвана стать научно обоснованная правотворческая политика, задачами которой являются устранение дефектов НПА, обеспечение объективного взаимодействия всех НПА, имеющих влияние на развитие и совершенствование обеспечения КБ ОИ.

2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОСТов В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Огромное значение для правотворчества имеет технико-юридическое качество принимаемых нормативно-правовых актов. Трудности в практической реализации возникают в результате отсутствия смысловой завершенности и точности в изложении нормативного материала. Зачастую формулировки, которые использует законодатель, оказываются неоднозначными для толкования, не соблюдается единство терминологии.

В правовом государстве законодательство призвано не только выражать волю народа, но и соответствовать определенным требованиям и стандартам, правильно отражать регулируемые общественные отношения.

Измерение эффективности и качества НПА послужит важным средством для определения потребностей в совершенствовании правового регулирования, в том числе регулирования процесса обеспечения КБ ОИ. И, что представляется особенно важным, эффективность правотворчества поддается реальному измерению.

Авторами данной статьи были разработан алгоритм оценки качества НПА, описанный в работах [2, 3], который базируется на обработке результатов экспертных опросов с помощью нечетких математических моделей. С помощью данного алгоритма были исследованы имеющиеся на данный момент стандарты [4–8], регулирующие обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем (ИБ ТКС) как составляющей КБ ОИ в РФ.

Для проведения процедуры оценки качества рассматриваемых стандартов была сформирована экспертная группа из трех человек. Формирование экспертной группы проводилось по алгоритму оценки квалификации и профессиональной пригодности эксперта, описанному в работе [9], с использованием самооценки, взаимной оценки кандидатов и нечеткой математической модели с лингвистической шкалой, с помощью которой обрабатывались результаты оценок.

Экспертной группой был разработан список критериев качества стандартов (опросник), содержащий основные правила и требования к стандартам в РФ, основанный на ГОСТах [10–16]. Укрупненный список критериев качества содержит следующие пункты:

- правила проведения работ по обновлению национальных стандартов;
- внесение поправок в национальный стандарт;
- правила осуществления отмены национальных стандартов;
- правила построения стандартов и требования к содержанию их отдельных структурных элементов;
- правила изложения стандартов;
- правила оформления стандартов;
- требования к построению стандарта;
- правила оформления и изложения изменений к стандартам;
- правила обозначения стандартов;
- правила оформления и обозначения национальных стандартов, идентичных международным стандартам;
- требования из документов по стандартизации;
- полнота включения разделов по ИБ ТКС.

Коэффициенты важности критериев качества приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты важности критериев качества стандартов в области ИБ ТКС

Номер критерия качества	Коэффициент важности	Номер критерия качества	Коэффициент важности
1	0,081	7	0,07
2	0,08	8	0,085
3	0,07	9	0,079
4	0,1	10	0,07
5	0,08	11	0,08
6	0,085	12	0,12

Для указания экспертами соответствия стандартов критериям качества была выбрана пятибалльная шкала.

Лингвистическая переменная, характеризующая качество исследуемого стандарта, представлена семью нечеткими термами в следующем виде:

$T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7\} = \{\text{очень низкое качество, низкое качество, среднее качество, неизменное качество, нормальное качество, высокое качество, очень высокое качество}\}.$

Опрос проверяющих экспертов, а также обработка результатов опроса и вычисление оценок качества стандартов проводилась с помощью «Автоматизированной системы оценки качества НПА» [17, 18], которая была создана с целью проведения тестирования экспертов и обработки его результатов с помощью алгоритмов нечетких математических моделей с балльной и лингвистической шкалами, описанных в работах авторов данной статьи [2, 3].

Результат проведения оценки качества стандартов, регулирующих ИБ ТКС, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Оценки качества стандартов, регулирующих ИБ ТКС

Название ГОСТа	Оценка качества
ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006	Нормальное качество
ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012	Нормальное качество
ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2012	Нормальное качество
ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010	Нормальное качество
ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006-2008	Нормальное качество

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с получением оценки «Нормальное качество» всех ГОСТов был проведен анализ результатов опроса экспертов по каждому из критериев качества опросника. Было выявлено, что каждый эксперт указал на низкое соответствие ГОСТов критерию качества под № 12. Это позволяет нам сделать выводы, что актуальные на данный момент ГОСТы не охватывают полностью все компоненты ИБ ТКС и требуют доработки в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козьминых С.И.* Математическое моделирование обеспечения комплексной безопасности объектов информатизации кредитно-финансовой сферы // Вопросы кибербезопасности. – 2018. – № 1 (25). – С. 54–63.
2. *Косов Д.Л., Белов В.М., Зырянова Е.В.* Алгоритмы и методики в оценке качества нормативных правовых актов и их проектов // Современные проблемы телекоммуникаций: российская научно-техническая конференция: материалы конференции. – Новосибирск: СибГУТИ, 2018. – С. 107–113.
3. *Белов В.М., Зырянова Е.В., Косов Д.Л.* Особенности оценки качества нормативных правовых актов. Использование автоматизированной системы оценки качества нормативных правовых актов // Государство и право. – 2017. – № 10. – С. 105–110.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – Введ. 2008–02–01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 25 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002–2012. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности. – Взамен ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799–2005; введ. 2014–01–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 96 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003–2012. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Руководство по реализации системы менеджмента информационной безопасности. – Введ. 2013–12–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 54 с.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005–2010. Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. – Взамен ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 13335-3–2007, ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 13335-4–2007; введ. 2011–12–01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 45 с.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27006–2008. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Требования к органам, осуществляющим аудит и сертификацию систем менеджмента информационной безопасности. – Введ. 2009–10–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 35 с.
9. *Зырянова Е.В., Косов Д.Л., Белов В.М.* Оценка экспертов в области законодательства с использованием лингвистической шкалы в теории нечетких множеств // Современное состояние и перспективы развития правовой науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (20 октября 2014 г., г. Уфа). – Уфа: Аэтерна, 2014. – С. 18–19.

10. ГОСТ Р 1.2–2016. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления, внесения поправок, приостановки действия и отмены. – Взамен ГОСТ Р 1.2-2014. – Введ. 2016–07–18. – М.: Стандартинформ, 2016. – 27 с.

11. ГОСТ Р 1.5–2012. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения (с поправкой, с изменением № 1).

12. ГОСТ Р 1.7–2014. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила оформления и обозначения при разработке на основе применения международных стандартов (с изменением № 1).

13. ГОСТ Р 1.9–2004. Стандартизация в Российской Федерации. Знак соответствия национальным стандартам Российской Федерации. Изображение. Порядок применения. – Взамен ГОСТ Р 1.9–95; введ. 01.07.2005. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 16 с.

14. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 № 162-ФЗ.

15. ГОСТ 1.3–2014. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные. Правила разработки на основе международных и региональных стандартов. – Взамен ГОСТ 1.3–2008; введ. 2015–07–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 42 с.

16. ГОСТ 1.5–2001. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению. – Взамен ГОСТ 1.5–93; введ. 2002–09–01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 69 с.

17. *Косов Д.Л., Зырянова Е.В., Белов В.М.* Автоматизированная система оценки качества нормативного правового акта: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017662966 / заявитель и патентообладатель Косов Дмитрий Леонидович. – Заявка № 2017660015; заявл. 04.10.2017; зарег. 22.10.2017.

18. *Зырянова Е.В., Белов В.М., Косов Д.Л.* Автоматизированная система оценки качества нормативно-правовых актов и их проектов (АС ОК НПА) // Гражданское общество и правовое государство: материалы Международной научно-практической конференции, 10–11 октября 2014 г. – Барнаул, 2015. – Т. 1. – С. 106–107.

Зырянова Екатерина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – оценка качества комплексной безопасности объектов информатизации. Имеет более 40 публикаций. E-mail: keyvezed@mail.ru.

Белов Виктор Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности и управления в телекоммуникациях Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Основное направление научных исследований – комплексная безопасность объектов телекоммуникаций. Имеет более 200 публикаций. E-mail: vmbelov@mail.ru.

Косов Дмитрий Леонидович, директор юридической компании «Надежда», г. Барнаул. Основное направление научных исследований – оценка качества нормативных правовых актов. Имеет более 20 публикаций. E-mail: kosovdl@mail.ru.

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-132-144

Application of the algorithm for quality assessment of normative legal acts on the example of quality assessment of state standards in the field of information security of telecommunication systems*

E.V. Zyryanova¹, V.M. Belov², D.L. Kosov³

¹ *Industrial Institute, (branch) of the Altai State Technical University Polzunova, 2/6, Tractor-naya Street, Rubtsovsk, Altai Krai, 658207, Russian Federation, Senior Researcher; Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, associate professor of the department of information protection, candidate of technical sciences. E-mail: keyvezed@mail.ru*

² *Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 86, Kirova Street, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sn. (Eng), professor of the department security and management in telecommunications. E-mail: vmbelov@mail.ru*

³ *Law firm "Nadezhda", 83-1, Dimitrova Street, Barnaul, Altai Krai, 656049, Russian Federation, director. E-mail: kosovdl@mail.ru*

Implementation of measures to ensure integrated security is massive. The successful implementation of such activities with such their scale is possible only with the availability of good tools in the form of methods and means of solving relevant problems. This article substantiates the need to ensure the integrated security of information objects, gives its necessary components and principles. When choosing the necessary areas of ensuring the OI design bureaus, it is necessary to be guided by the results of the risk analysis to which it may be subject, as well as by the analysis of protection elements that are of the greatest value for the entire facility. It has been revealed that the legal component seems to be a priority for ensuring integrated security. In this regard, this article is a detailed consideration of the legal component. The analysis of the existing regulatory le-

* Received 06 November 2018.

gal acts regulating information security as part of the integrated security of information objects is carried out, the procedure for assessing the quality of regulatory legal acts regulating information security of telecommunication systems is described using an algorithm using an expert survey and fuzzy mathematical models with scoring scale. A list of the quality criteria of regulatory acts in the field of information security has been compiled that must be observed to ensure safety in this area. The results of the quality assessment of these regulatory acts are presented, the shortcomings identified during the quality assessment process are indicated. An analysis of the results of an expert survey was conducted for each of the questionnaire quality criteria. It was concluded that current GOSTs at the moment do not fully cover all the components of the IB TKS and need to be refined in this direction.

Keywords: integrated security, telecommunication systems, information protection, quality assessment, regulatory legal acts

REFERENCES

1. Kozminykh S.I. Matematicheskoe modelirovanie obespecheniya kompleksnoi bez-opasnosti ob"ektov informatizatsii kreditno-finansovoi sfery [Mathematical modeling of credit and finance complex security solutions]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity Issues*, 2018, no. 1 (25), pp. 54–63.
2. Kosov D.L., Belov V.M., Zyryanova E.V. [Algorithmic support of managerial decision-making in assessing the quality of regulatory legal acts]. *Sovremennye problemy telekommunikatsii: rossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Modern problems of telecommunications]. Novosibirsk, SibGUTI Publ., 2018, pp. 107–113. (In Russian).
3. Belov V.M., Zyryanova E.V., Kosov D.L. Osobennosti otsenki kachestva normativnykh pravovykh aktov. Ispol'zovanie avtomatizirovannoi sistemy otsenki kachestva norma-tivnykh pravovykh aktov [Features of an assessment of quality of the normative legal act. Use of the automated system of an assessment of quality of the normative legal act (AS AQ NLA)]. *Gosudarstvo i pravo – State and Law*, 2017, no. 10, pp. 105–110.
4. GOST R ISO/MEK 27001–2006. *Informatsionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti. Trebovaniya* [State standard R ISO/IEC 27001–2006. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 25 p.
5. GOST R ISO/MEK 27002–2012. *Informatsionnaya tekhnologiya (IT). Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Svod norm i pravil menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti* [State standard R ISO/IEC 27002–2012. Information technology. Security techniques. Code of practice for information security management]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 96 p.
6. GOST R ISO/IEC 27003–2012. *Informatsionnaya tekhnologiya (IT). Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti. Rukovodstvo po realizatsii sistemy menedzhmenta informatsionnoi*

bezopasnosti [State standard R ISO/IEC 27003–2012. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Implementation guidance of information security management system]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 54 p.

7. *GOST R ISO/MEK 27005–2010. Informatsionnaya tekhnologiya (IT). Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Menedzhment riska informatsionnoi bezopasnosti* [State standard R ISO/IEC 27005–2010. Information technology. Security techniques. Information security risk management]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 45 p.

8. *GOST R ISO/MEK 27006–2008. Informatsionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Trebovaniya k organam, osushchestvlyayushchim audit i ser-tifikatsiyu sistem menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti* [State standard R ISO/IEC 27006–2008. Information technology. Security techniques. Requirements for bodies providing audit and certification of information security management systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 35 p.

9. Zyryanova E.V., Kosov D.L., Belov V.M. [Evaluation of experts in the field of lawmaking using a linguistic scale in the theory of fuzzy sets]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya pravovoi nauki: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Current state and prospects for the development of legal science: a collection of articles of the International scientific and practical conference], October 20, 2014, Ufa, 2014, pp. 18–19. (In Russian).

10. *GOST R 1.2–2016. Standartizatsiya v Rossiiskoi Federatsii. Standarty natsional'nye Rossiiskoi Federatsii. Pravila razrabotki, utverzhdeniya, obnovleniya, vneseniya popravok, priostanovki deistviya i otmeny* [State standard R 1.2–2016. National standards of Russian Federation. Instructions for development, taking over, revision, correction, suspension and cancellation]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 27 p.

11. *GOST R 1.5–2012. Standartizatsiya v Rossiiskoi Federatsii. Standarty natsional'nye. Pravila postroyeniya, izlozheniya, oformleniya i oboznacheniya (s Popravkoi, s Izmeneniem № 1)* [State standard R 1.5–2012. Standardization in Russian Federation. National standards. Rules of structure, drafting, presentation and indication (with the amendment, with a change in N 1)].

12. *GOST R 1.7–2014. Standartizatsiya v Rossiiskoi Federatsii. Standarty natsional'nye. Pravila oformleniya i oboznacheniya pri razrabotke na osnove primeneniya mezhdunarodnykh standartov (s Izmeneniem № 1)* [State standard R 1.7–2014. Standardization in Russian Federation. National standards. Rules of presentation and indication by development on the basis of application of the international standards (with Amendment N 1)].

13. *GOST R 1.9–2004. Standartizatsiya v Rossiiskoi Federatsii. Znak sootvetstviya natsional'nyim standartam Rossiiskoi Federatsii. Izobrazhenie. Poryadok primeneniya* [State standard R 1.9–2004. Standardization in the Russian Federation.

Mark of conformity to national standards of the Russian Federation. Representation. Application order]. Moscow, Standards Publ., 2005. 16 p.

14. Federal Law "On Standardization in the Russian Federation" of 06/29/2015 N 162-FZ. (In Russian).

15. *GOST 1.3–2014. Mezhhgosudarstvennaya sistema standartizatsii. Standarty mezh-gosudarstvennyye. Pravila razrabotki na osnove mezhdunarodnykh i regional'nykh standartov* [State standard 1.3–2014. Interstate system for standardization. Interstate standards. Rules of development on the basis of the international and regional standards]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 42 p.

16. *GOST 1.5–2001. Mezhhgosudarstvennaya sistema standartizatsii. Standarty mezh-gosudarstvennyye, pravila i rekomendatsii po mezhhgosudarstvennoi standartizatsii. Obshchie trebovaniya k postroeniyu, izlozheniyu, oformleniyu, sodержaniyu i oboznache-niyu* [State standard 1.5–2001. Interstate system for standardization. Interstate standards, rules and recommendations on interstate standardization. General requirements for structure, drafting, presentation, content and indication]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 69 p.

17. Zyryanova E.V., Kosov D.L., Belov V.M. *Avtomatizirovannaya sistema otsenki kachestva normativnogo pravovogo akta* [Automated system for assessing the quality of a regulatory legal act]. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2017662966, 2017. (In Russian, unpublished).

18. Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L. [Computer-aided system of quality rating in legal regulation acts and their projects]. *Grazhdanskoe obshchestvo i pravovoe gosudarstvo: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Materials of the International scientific-practical conference "Civil society and the rule of law"], Barnaul, October 10–11, 2014. Barnaul, 2015, vol. 1, pp. 106–107. (In Russian).

Для цитирования:

Зырянова Е.В., Белов В.М., Косов Д.Л. Применение алгоритма оценки качества нормативных правовых актов на примере оценки качества государственных стандартов в области информационной безопасности телекоммуникационных систем // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 132–144. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-132-144.

For citation:

Zyryanova E.V., Belov V.M., Kosov D.L. Primenenie algoritma otsenki kachestva normativnykh pravovykh aktov na primere otsenki kachestva gosudarstvennykh standartov v oblasti informatsionnoi bezopasnosti telekommunikatsionnykh sistem [Application of the algorithm for quality assessment of normative legal acts on the example of quality assesment of state standards in the field of information security of telecommunication systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 132–144. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-132-144.

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

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.