

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

**Юго-Западного
государственного
университета**

**Том 22
№ 4 (79)
2018**

Курск



2018. Т. 22, № 4 (79)

Научный рецензируемый журнал

Основан в 1997 г.

Выходит один раз в два месяца

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций (ПИ №ФС77-42691 от 16.11.10).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного
университета» включен в перечень ведущих научных
журналов и изданий ВАК Минобрнауки России

01.12.2015 г. по группам научных специальностей:

05.02.00 – машиностроение и машиноведение

05.13.00 – информатика, вычислительная техника и
управление

05.23.00 – строительство и архитектура

08.00.00 – экономические науки

12.00.00 – юридические науки

Редакционный совет

С. Г. Емельянов (председатель, главный редактор),
д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

Л. М. Червяков (зам. председателя), д-р техн. наук,
профессор, ЮЗГУ;

Т. Бертрам, д-р техн. наук, профессор
(Германия);

К. П. Грабовый, д-р экон. наук, профессор;

С. Ю. Гриднев, д-р техн. наук, доцент;

И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;

А. Г. Ивахненко, д-р техн. наук, профессор;

В. С. Ежов, д-р техн. наук, профессор;

В. И. Колмыков, д-р техн. наук, профессор;

Вл. И. Колчунов, член РААСН, д-р техн.
наук, профессор;

Н. А. Корневский, д-р техн. наук, профессор;

Р. А. Латыпов, д-р техн. наук, профессор;

О. Г. Локтионова, д-р техн. наук, профессор;

В. Н. Сусликов, д-р юрид. наук, профессор;

Р. Шах, д-р техн. наук, профессор (Германия)

С.Ф. Яцун, д-р техн. наук, профессор

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ 6

Яцун С.Ф., Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Яцун А.С.
Исследование движения трехзвенного ползающего
робота по недетерминированной поверхности 6

Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Горохов А. А., Должиков Г.В.
Микротвердость аддитивных изделий
из электроэрозионных кобальтохромовых порошков 15

Куц В.В., Гридин Д.С., Разумов М.С., Зубкова О.С.
Моделирование производящих поверхностей
торцевых фрез с конструктивной осевой подачей
для обработки валов с равноосным контуром 24

Яцун С.Ф., Ян Найнг Со
Кинематический и Якобианский анализ
для четырехногого робота 32

Агеев Е.В., Переверзев А.С., Осьминина А.С., Григоров И. Ю.
Размерный анализ электроэрозионного порошка свинцовой
бронзы, полученного в дистиллированной воде 42

СТРОИТЕЛЬСТВО 50

Бакаева Н.В., Чайковская Л.В.
Функция города "Милосердие"
как градообразующий фактор 50

Цурик Т.О.
Современные тенденции и проблемы развития
городских парков 57

Василькин А.А.
Управление поведением вертикального
стального резервуара в период эксплуатации 66

ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА 75

Зинкин С.А., Мустафа Садек Джафар
Развитие информационно-коммуникационных
инфраструктур распределенных вычислительных систем
на основе концепции «сеть – это компьютер» 75

Редакционная коллегия:

С. Г. Емельянов (главный редактор),
д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;

Л. М. Червяков (заместитель главного редактора),
д-р техн. наук, профессор;

В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор;

Е. В. Агеев, д-р техн. наук, профессор;

Ю. В. Алексеев, д-р архитектуры, профессор;

М. В. Бобырь, д-р техн. наук, доцент;

В. В. Бредихин, советник РААСН, д-р экон. наук, доцент;

В. В. Богдан, д-р юрид. наук, доцент

Т. Бок, д-р техн. наук, профессор (Германия);

О. В. Брежнев, д-р юрид. наук, доцент;

Ю. В. Вертакова, д-р экон. наук, профессор;

В. М. Давыдов, д-р экон. наук, профессор,
член-корреспондент РАН;

С. В. Дегтярев, д-р техн. наук, профессор;

Л. В. Димитров, д-р техн. наук, профессор
(Болгария);

Ж. Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;

С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент;

Н. С. Кобелев, д-р техн. наук, профессор;

В. И. Колчунов, академик РААСН, д-р техн. наук, профессор;

В. В. Куц, д-р техн. наук, доцент;

И. Б. Лагутин, д-р юрид. наук, доцент;

В. Я. Мищенко, д-р техн. наук, профессор;

Х. Г. Надырова, д-р архитектуры, доцент;

Г. В. Назаренко, д-р юрид. наук, профессор;

Г. Я. Пановко, д-р техн. наук, профессор;

В. А. Плотников, д-р экон. наук, профессор;

А. С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;

А. И. Ситникова, д-р юрид. наук, доцент;

А. В. Турков, д-р техн. наук, профессор;

А. В. Харламов, д-р экон. наук, профессор;

А. А. Черникова, д-р экон. наук, профессор;

В. И. Щербаков, д-р техн. наук, доцент

Адрес редакции: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 22-25-26
Факс: (4712) 50-48-00. E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен Е.В. Мельник

Подписано в печать .18. Формат 60х84/8.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. .

Тираж 1000 экз. Заказ . Цена свободная.

Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия
Юго-Западного государственного университета»
41219 в объединенном каталоге
«Пресса России»

Акулов П.А., Петрешин Д.И.

Алгоритмическое обеспечение установки контроля сил
сочленения и расчленения электрических соединителей .. 94

Кабулова Е.Г.

Модель интеграции разнородной информации
при управлении сложными технологическими системами
в условиях неопределенности 104

Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г., Шаповалов И.О.

Синтез системы управления движением группы
мобильных роботов в условиях неопределенности 112

**Киселев А.В., Петрова Т.В., Дегтярев С.В., Рыбочкин А.Ф.,
Филист С.А., Шаталова О.В.**

Нейросетевые модули с виртуальными потоками
для классификации и прогнозирования
функционального состояния сложных систем 123

**Бобырь М.В., Архипов А.Е., Милостная Н.А.,
Абдулджаббар М.А.А.**

Устройство преобразования напряжения для нечеткой
системы управления охлаждением изделий 135

К сведению авторов 148



2018. V. 22, № 4 (79)

Scientific journal

Published once per two months

Founder: Southwest State University

Registered in the Registrar of the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media (Roskomnadzor) (Certificate of mass media registration № FS77-42691 of November 16, 2010).

Included in the official list of top scientific journals of the Higher Attestation Commission

of the RF Ministry of Science and Education of

01.12.2015. Scientific Specialities Groups:

05.02.00 – Mechanical Engineering and Engineering Science

05.13.00 – Informatics, Computer Engineering, and Control

05.23.00 – Construction and Architecture

08.00.00 – Economical Sciences

12.00.00 – Law Sciences

Editorial Board

S.G. Yemelianov, Doctor of Engineering, Professor, Rector of the Southwest State University (Chairman);

L.M.Chervyakov, Doctor of Engineering, Professor, (Deputy Editor-in-Chief);

T. Bertram, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

K. P. Grabow, Doctor of Engineering, Professor;

S. Yu. Gridnev, Doctor of Engineering, Associate Professor;

I. V. Zotov, Doctor of Engineering, Professor;

A. G. Ivakhnenko, Doctor of Engineering, Professor;

V. S. Ezhov, Doctor of Engineering, Professor;

V. I. Kolmykov, Doctor of Engineering, Professor;

Vi. I. Kolchunov, Doctor of Engineering, Professor;

H. A. Korenevsky, Doctor of Engineering, Professor;

R. A. Latypov, Doctor of Engineering, Professor;

O. G. Loktionova, Doctor of Engineering, Professor;

V.N. Suslikov, Doctor of Law, Professor;

R. Schah, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

S. F. Yatsun, Doctor of Engineering, Professor

PROCEEDINGS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY

CONTENT

MECHANICAL ENGINEERING 6

Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Malchikov A.V., Yatsun A.S.
Investigation of the Three-Link Crawling Robots Movement
on the Nondetermined Surface 6

Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., A Gorokhov.A., Dolzhikov G.V.
The Microhardness of the Additive Products of the Electrical
Discharge Machining of Cobalt Powders 15

Kuts V.V., Gridin D.S., Razumov M.S., Zubkova O.S.
Modeling Producing Surfaces of End Mills with a Design Axial
Direction for Shaft Machining with Equiaxed Circuit 24

Jatsun S.F., Yan Naing Soe
Kinematic and Jacobian Analysis Approach for
the Four-Legged Robot 32

Ageev E.V., Pereverzev A.S., Osminina A.S., Grigorov I.Yu.
Study Particle Size Distribution of Eroding Powder
Lead Bronzes Obtained in Distilled Water 42

CONSTRUCTION ENGINEERING 50

Bakaeva N.V., Chaykovskaya L.V.
The function of "Charity" city as the City-Forming Factor 50

Tsurik T.O.
Current Trends and Problems of Development of City Parks 57

Vasilkin A. A.
Control of Actions of Steel Tank in Working 66

INFORMATICS AND COMPUTER FACILITIES 75

Zinkin S.A., Mustafa Sadeq Jaafar
Development of Information and Communication Infrastructure
of Distributed Computing Systems Based on the Concept
"The Network Is the Computer" 75

Akulov P.A., Petreshin D.I.
Algorithmic Support of the Control System of Force of Joint
and Disjoint of Electrical Connectors 94

Editors

S. G. Yemelianov, Doctor of Engineering, Professor, Rector of Southwest State University (Editor-in-Chief);

L. M. Chervyakov, Doctor of Engineering, Professor, First Vice-Rector of Southwest State University (Deputy Editor-in-Chief);

V. S. Titov, Doctor of Engineering, Professor, Head of Computer Engineering Department (Executive Editor);

Y. V. Ageyev, Doctor of Engineering, Professor;

Yu. V. Alekseev, Doctor of Architecture, Professor;

M. V. Bobyr, Doctor of Engineering, Professor;

T. Bock, Doctor of Engineering, Professor (Germany);

V. V. Bogdan, Doctor of Law, Associate Professor;

O. V. Brezhnev, Doctor of Law, Associate Professor;

V. V. Bredikhin, Doctor of Engineering, Professor;

A. A. Chernikova, Doctor of Economics, Professor;

V. M. Davydov, Doctor of Economics, Professor;

S. V. Degtyaryov, Doctor of Engineering, Professor;

L. V. Dimitrov, Doctor of Engineering, Professor, (Bulgaria);

N. S. Kobelev, Doctor of Engineering, Professor;

S. N. Kuznetsov, Doctor of Engineering, Associate Professor;

V. I. Koltchunov, Doctor of Engineering, Professor;

V. V. Kuts, Doctor of Engineering, Associate Professor;

A. V. Kharlamov, Doctor of Economics, Professor;

I. B. Lagutin, Doctor of Law, Associate Professor;

V. Ya. Mishchenko, Doctor of Engineering, Professor;

H. G. Nadyrova, Doctor of Architecture, Associate Professor;

G. V. Nazarenko, Doctor of Law, Professor;

G. Y. Panovko, Doctor of Engineering, Professor;

V. A. Plotnikov, Doctor of Economics, Professor;

A. S. Sizov, Doctor of Engineering, Professor;

A. I. Sitnikova, Doctor of Law, Associate Professor;

A. V. Turkov, Doctor of Engineering, Professor;

Y. V. Vertakova, Doctor of Economics, Professor;

Zh. T. Zhusubaliyev, Doctor of Engineering, Professor;

V. I. Shcherbakov, Doctor of Engineering, Associate Professor

Kabulova E.G.

Adoption of Decisions for Control of Complex Multi-Stage Technological Systems under Conditions of Uncertainty 104

Gaiduk A.R., Kalyaev I. A., Kapustyan S.G., Shapovalov I.O.

Design of the Control System by Movement of Robots Mobile Group in Conditions of Uncertainty 112

Kiselev A.V., Petrova T.V., Degtyaryov S.V., Rybochkin A.F., Filist S.A., Shatalova O.V.

Hybrid Deciding Modules with Virtual Streams for Classification and Prediction of Functional State of Complex Systems 123

Bobyry M.V., Arkhipov A.E., Milostnaya N.A., Abdulldgabar M.A.

Device of Conversion Voltage for Control Cooling Details Based on the Fuzzy Logic 135

Information for Authors148

© Southwest State University, 2018

УДК 621.865

С.Ф. Яцун, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

Л.Ю. Ворочаева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mila180888@yandex.ru)

А.В. Мальчиков, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: zveroknnp@gmail.com)

А.С. Яцун, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ayatsun@yandex.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРЕХЗВЕННОГО ПОЛЗАЮЩЕГО РОБОТА ПО НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Бионические принципы движения являются наиболее перспективными для задач перемещения и транспортировки оборудования в наиболее тяжелых условиях. Походки, основанные на изменяемой форме робота, при которых взаимодействие с поверхностью осуществляется посредством частей корпуса, могут найти применение при движении по пересеченной местности, в ограниченном пространстве технологических и природных полостей, там, где использование колесно-гусеничного или шагающего принципа невозможно. В данной работе предлагается конструкция трехзвеного ползающего робота, оснащенного двухкоординатными шарнирами. Робот оснащен группой опорных элементов, в том числе с регулируемыми коэффициентами трения, что позволяет реализовать различные типы алгоритмов движения устройства.

В статье представлена математическая модель трехзвеного робота, позволяющая исследовать процесс движения робота в случае, когда коэффициенты трения поверхности под опорами не равны между собой. На практике поверхность чаще всего будет иметь неоднородную недетерминированную структуру, что будет приводить к отклонению курса при прямолинейном движении, обусловленному проскальзыванием или, наоборот, стопорением опор на поверхности. В работе предлагается алгоритм и схема системы автоматического управления, позволяющая роботу двигаться по заданной траектории несмотря на недетерминированность поверхности. Это достигается посредством использования дополнительных датчиков: цифрового электронного компаса, акселерометра, GPS-модуля.

В работе приведены как результаты вычислительных экспериментов, так и результаты, полученные в ходе натурных испытаний движения действующего прототипа трехзвеного робота. В завершении статьи приведен сравнительный анализ экспериментальных и теоретических результатов, подтвердивших адекватность разработанной математической модели и вычислительных алгоритмов.

Ключевые слова: ползающий робот; математическое моделирование; недетерминированная поверхность; система управления.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-6-14

Ссылка для цитирования: Исследование движения трехзвеного ползающего робота по недетерминированной поверхности / С.Ф. Яцун, Л.Ю. Ворочаева, А.В. Мальчиков, А.С. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 6-14.

Введение

На сегодняшний день изучению роботов, в основе движения которых лежат изменяемая форма корпуса и регулируемая сила трения, уделяется большое внимание [1-6]. Различные конструктивные

формы устройств позволяют добиваться уникальных параметров движения: высокой проходимости, энергоэффективности, дискретности шага [4-11]. Однако большое влияние на параметры движения оказывает однородность поверхности, по-

стоянство коэффициента трения между опорами робота и поверхностью. Как показывают экспериментальные исследования прототипа трехзвенного робота, рассматриваемого в работе, неравенство коэффициентов трения, обусловленное неоднородностью поверхности, приводит к изменению направления движения. Так как реальная поверхность практически всегда неоднородна, то актуальной является задача обеспечения прямолинейного движения робота или движения по определенной траектории. Данную задачу предлагается решать введением дополнительных датчиков и определенных алго-

ритмов системы управления ползающего робота.

Описание конструкции трехзвенного ползающего робота

На рис. 1, а показана конструктивная схема трехзвенного ползающего робота, оснащенного системой локальной навигации. Робот состоит из следующих основных элементов: центральное звено 1, оснащенное регулируемой опорой 4, активированной сервоприводом 6; боковые звенья 2 с нерегулируемыми опорами 5; центральный вычислительный модуль 7 и элементы питания 8.

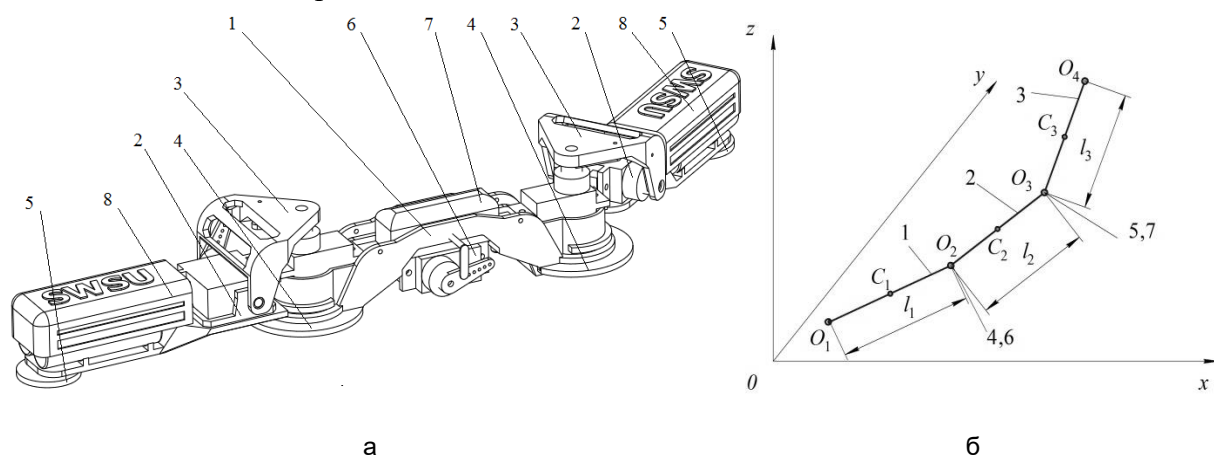


Рис. 1: а – конструктивная схема робота, б – расчетная схема робота

Особенностью данной конструкции является наличие активированных двухкоординатных шарниров 3, позволяющих перемещаться звеньям не только в горизонтальной плоскости, но и осуществлять подъем и опускание. За счет этой конструктивной особенности становится возможным преодоление препятствий и движение по неровной поверхности. Центральное звено робота оснащено регулируемым опорным элементом, позволяющим изменять тип поверхности центральной опоры, взаимодействующей с поверхностью [4-11].

Описание движения ползающего робота

Для разработки математической модели робота перейдем к расчетной схеме, показанной на рис. 1, б. Будем считать, что каждое звено робота $i=1-3$ является абсолютно твердым стержнем O_iO_{i+1} длиной l_i и массой m_i , центр масс которого совпадает с центром симметрии C_i . В шарнирах O_2 и O_3 установлены приводы, обеспечивающие повороты звеньев в горизонтальной (приводы 4 и 5) и вертикальных (приводы 6 и 7) плоскостях. В крайних точках звеньев расположены

контактные элементы, причем коэффициент трения опор O_2 и O_3 является управляемым, что будет рассмотрено ниже.

Движение устройства происходит в неподвижной абсолютной системе координат $Oxyz$. Для описания кинематики и динамики объекта с точками O_i , $i = 1-3$, звеньев связаны относительные системы координат $O_i x_i y_i z_i$, повернутые на углы φ_i относительно оси Ox в плоскости Oxy , и $O_i' x_i' y_i' z_i'$, повернутые на углы θ_i относительно осей $O_i x_i$ в плоскостях $O_i x_i z_i$. Положительные направления углов отсчитываются против часовой стрелки от осей Ox и $O_i x_i$ соответственно. Будем считать, что движение робота происходит по горизонтальной шерохо-

ватой поверхности. Взаимодействие робота с поверхностью описывается моделью, приведенной в работе [4].

Обобщенными координатами являются проекции положения центра масс звена 1 на оси абсолютной системы координат, а также углы φ_i , θ_i поворота звеньев:

$$\mathbf{q} = (x_{C1} \ y_{C1} \ z_{C1} \ \varphi_1 \ \theta_1 \ \varphi_2 \ \theta_2 \ \varphi_3 \ \theta_3)^T.$$

В работе предлагается один из вариантов движения робота, при котором можно выделить четыре этапа, на каждом из них поведение объекта описывается своими дифференциальными уравнениями с учетом накладываемых связей (рис. 2, рис. 3). Движение центрального звена происходит на первом этапе, а боковых – на втором, третьем и четвертом этапах.

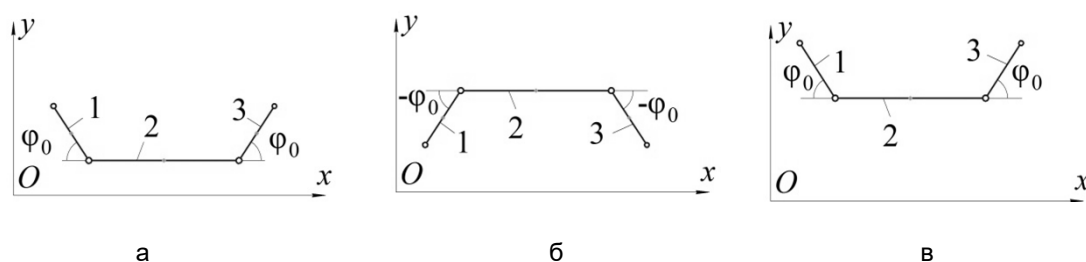


Рис. 2. Положения робота в горизонтальной плоскости: а – начало первого этапа, б – конец первого этапа, начало третьего этапа, в – конец третьего этапа

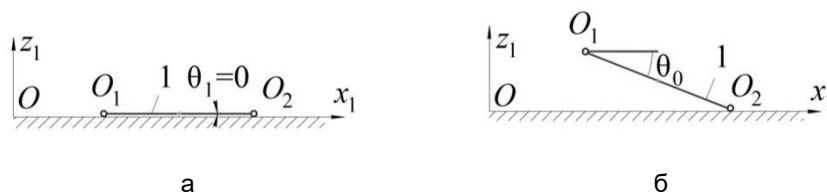


Рис. 3. Положения звена 1 в вертикальной плоскости: а – начало второго этапа, б – конец второго этапа, начало четвертого этапа

Пусть движение происходит из начального положения, при котором все звенья робота неподвижны и контакти-

руют с поверхностью, $\theta_{21} = -\theta_{23} = 0$, звенья 1 и 3 расположены относительно звена 2 в горизонтальной плоскости под

равными по модулю и противоположными по направлению углами $\varphi_{21} = -\varphi_{23} = \varphi_0$. Контакт центрального звена с поверхностью осуществляется опорами с малым коэффициентом трения $f_{2,3} = f_{\min}$.

На первом этапе движение происходит в горизонтальной плоскости, т.е. на систему наложены связи: $z_{C1} = 0$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$. Под действием моментов, генерируемых приводами 4 и 5, все звенья робота движутся до тех пор, пока не будет справедливо условие: $\varphi_{21} = -\varphi_{23} = -\varphi_0$. После этого происходит смена опорных элементов центрального звена и на всех последующих этапах движения $f_{2,3} = f_{\max}$.

Второй этап характеризуется поворотом звеньев 1 и 3 под действием моментов, создаваемых приводами 6 и 7, в вертикальных плоскостях относительно осей $O_i x_i$ на углы $\theta_{21} = -\theta_{23} = \theta_0$, где θ_0 – некоторое заданное значение. Звено 2 во время этого этапа зафиксировано на поверхности. На систему наложены связи: $x_{C2} = \text{const}$, $y_{C2} = \text{const}$, $z_{C2} = 0$, $\varphi_2 = \text{const}$, $\theta_2 = 0$, $\varphi_{21} = -\varphi_{23} = -\varphi_0$.

Во время третьего этапа звено 2 неподвижно лежит на поверхности, а звенья 1 и 3 поворачиваются за счет моментов приводов 4 и 5 до выполнения условия $\varphi_{21} = -\varphi_{23} = \varphi_0$. Движение робота ограничено связями: $x_{C2} = \text{const}$, $y_{C2} = \text{const}$, $z_{C2} = 0$, $\varphi_2 = \text{const}$, $\theta_2 = 0$, $\theta_{21} = -\theta_{23} = \theta_0$.

Четвертый этап происходит при неподвижно расположенном на поверхности звене 2 и заключается в повороте звеньев 1 и 3 относительно звена 2 в вертикальных плоскостях посредством моментов приводов 6 и 7 до тех пор, пока не будет выполняться условие $\theta_{21} = -\theta_{23} = 0$. При этом связи, накладываемые на робота, следующие: $x_{C2} = \text{const}$, $y_{C2} = \text{const}$, $z_{C2} = 0$, $\varphi_2 = \text{const}$, $\theta_2 = 0$, $\varphi_{21} = -\varphi_{23} = \varphi_0$.

На основании вышесказанного вектор обобщенных координат робота можно представить следующим образом:

$$\mathbf{q} = \begin{cases} (x_{C1}, y_{C1}, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)^T, & p = 1, \\ (\theta_1, \theta_3)^T, & p = 2, 4, \\ (\varphi_1, \varphi_3)^T, & p = 3, \end{cases}$$

где p – номер этапа.

Дифференциальные уравнения движения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi}_1 &= \begin{cases} p=1: [F_{\varphi 1}^{(1)} - a_{\varphi 1 \varphi 2}^{(1)} \ddot{\varphi}_2 - a_{\varphi 1 \varphi 3}^{(1)} \ddot{\varphi}_3 - a_{\varphi 1 x c 1}^{(1)} \ddot{x}_{C1} - a_{\varphi 1 y c 1}^{(1)} \ddot{y}_{C1} - b_{\varphi 1 \varphi 2}^{(1)} \dot{\varphi}_2^2 - a_{\varphi 1 \varphi 3}^{(1)} \dot{\varphi}_3^2] / k_{\varphi 1}^{(1)}, \\ p=3: F_{\varphi 1}^{(3)} / k_{\varphi 1}^{(3)}, \end{cases} \\ \ddot{\varphi}_2 &= [F_{\varphi 2}^{(1)} - a_{\varphi 2 \varphi 1}^{(1)} \ddot{\varphi}_1 - a_{\varphi 2 \varphi 3}^{(1)} \ddot{\varphi}_3 - a_{\varphi 2 x c 1}^{(1)} \ddot{x}_{C1} - a_{\varphi 2 y c 1}^{(1)} \ddot{y}_{C1} - b_{\varphi 2 \varphi 1}^{(1)} \dot{\varphi}_1^2 - b_{\varphi 2 \varphi 3}^{(1)} \dot{\varphi}_3^2] / k_{\varphi 2}^{(1)}, \\ \ddot{\varphi}_3 &= \begin{cases} p=1: [F_{\varphi 3}^{(1)} - a_{\varphi 3 \varphi 1}^{(1)} \ddot{\varphi}_1 - a_{\varphi 3 \varphi 2}^{(1)} \ddot{\varphi}_2 - a_{\varphi 3 x c 1}^{(1)} \ddot{x}_{C1} - a_{\varphi 3 y c 1}^{(1)} \ddot{y}_{C1} - b_{\varphi 3 \varphi 1}^{(1)} \dot{\varphi}_1^2 - b_{\varphi 3 \varphi 2}^{(1)} \dot{\varphi}_2^2] / k_{\varphi 3}^{(1)}, \\ p=3: F_{\varphi 3}^{(3)} / k_{\varphi 3}^{(3)}, \end{cases} \\ \ddot{x}_{C1} &= [F_{x c 1}^{(1)} - a_{x c 1 \varphi 1}^{(1)} \ddot{\varphi}_1 - a_{x c 1 \varphi 2}^{(1)} \ddot{\varphi}_2 - a_{x c 1 \varphi 3}^{(1)} \ddot{\varphi}_3 - b_{x c 1 \varphi 1}^{(1)} \dot{\varphi}_1^2 - b_{x c 1 \varphi 2}^{(1)} \dot{\varphi}_2^2 - b_{x c 1 \varphi 3}^{(1)} \dot{\varphi}_3^2] / k_{x c 1}^{(1)}, \\ \ddot{y}_{C1} &= [F_{y c 1}^{(1)} - a_{y c 1 \varphi 1}^{(1)} \ddot{\varphi}_1 - a_{y c 1 \varphi 2}^{(1)} \ddot{\varphi}_2 - a_{y c 1 \varphi 3}^{(1)} \ddot{\varphi}_3 - b_{y c 1 \varphi 1}^{(1)} \dot{\varphi}_1^2 - b_{y c 1 \varphi 2}^{(1)} \dot{\varphi}_2^2 - b_{y c 1 \varphi 3}^{(1)} \dot{\varphi}_3^2] / k_{y c 1}^{(1)}, \\ \ddot{\theta}_1 &= \begin{cases} p=2: F_{\theta 1}^{(2)} / k_{\theta 1}^{(2)}, \\ p=4: F_{\theta 1}^{(4)} / k_{\theta 1}^{(4)}, \end{cases} & \ddot{\theta}_3 = \begin{cases} p=2: F_{\theta 3}^{(2)} / k_{\theta 3}^{(2)}, \\ p=4: F_{\theta 3}^{(4)} / k_{\theta 3}^{(4)}. \end{cases} \end{aligned}$$

В формулах приняты следующие обозначения: F – обобщенная сила по координате q ; a – коэффициенты при обобщенных ускорениях; b – коэффициенты при квадратах обобщенных скоростей; k – коэффициенты при обобщенных ускорениях, для которых записываются дифференциальные уравнения, верхний индекс соответствует номеру этапа движения.

Результаты численного моделирования

На основании разработанной математической модели было проведено численное моделирование движения полза-

ющего робота, при котором коэффициенты трения в точках O_2 , O_3 и O_4 отличаются от коэффициента в точке O_1 . При исследовании был задан алгоритм прямолинейного движения и построены графики абсолютного угла поворота центрального звена. Результаты моделирования представлены на рис. 4. Как показали результаты моделирования, при увеличении разницы коэффициентов трения между опорами угол поворота корпуса робота относительно прямолинейной траектории возрастает.

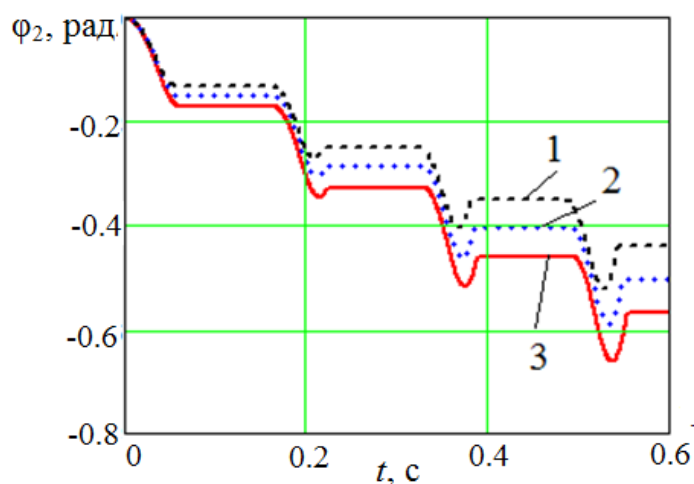


Рис. 4. Графики теоретических зависимостей $\varphi_2(t)$
при $f_{1-3} = 0.4$: 1 – $f_4 = 0.45$, 2 – $f_4 = 0.50$, 3 – $f_4 = 0.55$

Так при разнице коэффициентов в 20% за 4 шага робот разворачивается на 25° , при разнице в 30% – на 35° .

Экспериментальные исследования движения по неоднородной поверхности

Для определения точности разработанной математической модели был поставлен ряд экспериментов, в которых прототип 1 робота, изображенный на рис. 5, а, должен перемещаться по неоднородной поверхности. В качестве примера по-

верхностей были выбрана тканевая поверхность 2 ($f=0.67$) и бумажная 3 ($f=0.52$). Коэффициенты трения определялись экспериментально методом наклонной плоскости.

Суть эксперимента заключалась в следующем. Робот выполнял алгоритм прямолинейного движения, при этом три опоры из четырех перемещались по тканевой поверхности, а одна боковая – по бумажной поверхности, имеющей более низкий коэффициент трения.

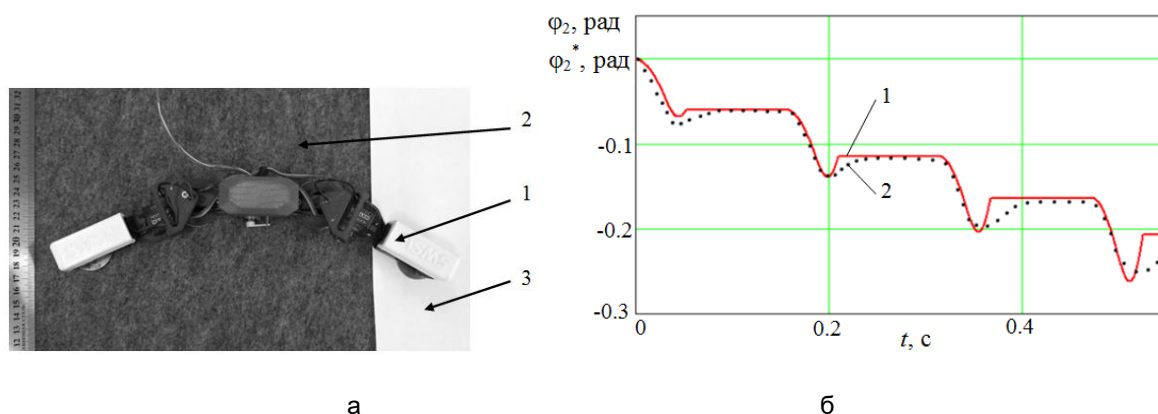


Рис. 5. а – фото прототипа ползающего робота; б – графики зависимостей угла поворота центрального звена: 1 – $\varphi_2(t)$ численное моделирование, 2 – $\varphi_2^*(t)$ натурные испытания

В процессе движения фиксировались положения точек робота с помощью видеооборудования. Далее покадровая обработка данных позволила получить траектории точек устройства.

Для сопоставления натурных и численных экспериментов был получен совмещенный график абсолютного угла поворота центрального звена, показанный на рис. 5, б. По этому графику видно, что характер изменения угла поворота одинаков в обоих случаях, однако наблюдаются расхождения в фазе возвратного движения звеньев, что может быть обусловлено наличием незначительных колебаний робота в вертикальной плоскости, не учитываемых в модели. Однако данный эффект не меняет картину движения, а значит, разработанная математическая

модель вполне корректно описывает процесс движения робота по недетерминированной неоднородной поверхности и может быть использована для дальнейших исследований.

Описание системы автоматического управления

Как показали результаты математического моделирования и натурных испытаний, при перемещении по неоднородной поверхности наблюдается разворот корпуса робота и отклонение от прямолинейного курса следования. Для компенсации данного эффекта предлагается использовать систему локальной навигации, включающей магнитометр (электронный компас) и GPS-модуль. Структурная схема показана на рисунке 6.

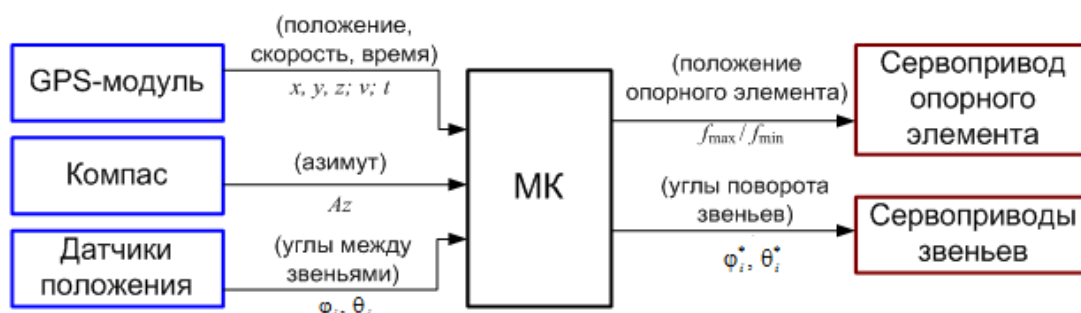


Рис. 6. Структурная схема системы управления ползающего робота

Система управления работает следующим образом. Если отклонения от курса $\Delta Az = (Az^* - Az)$ меньше, чем заданное значение ошибки курса ε_{Az} , то углы формируются согласно алгоритму прямолинейного движения, реализованного программой микроконтроллера. Если отклонение курса превышает величину ошибки $(Az^* - Az) > |\varepsilon_{Az}|$, то углы поворота звеньев формируются согласно алгоритму поворота робота, при этом учитывается знак ошибки для определения направления поворота.

Электронный компас является достаточно точным инструментом для измерения ошибки направления движения, однако дополнительно для отслеживания курса могут использоваться данные с GPS-модуля (x, y, z), но из-за невысокой точности GPS-модуля (порядка 20 м) использовать данные с GPS можно только при перемещении робота на большие расстояния. Датчики углов φ_{21} , φ_{23} , θ_{21} , θ_{23} между звеньями используются в составе сервоприводов для точной отработки требуемых углов поворота и подъема звеньев.

Предполагается, что введение дополнительных датчиков и настройка соответствующим образом алгоритмов системы автоматического управления позволит бороться с отклонениями курса и осуществлять движения по заданным траекториям.

Заключение

В настоящей работе рассмотрена конструкция трехзвенного ползающего робота, оснащенного двухкоординатными шарнирами, предложена математическая модель, позволяющая моделировать процессы движения робота по неодно-

родной поверхности. Для проверки адекватности полученной математической модели были поставлены эксперименты с прототипом ползающего робота. Сравнительный анализ результатов натурных и численных экспериментов показал схожий характер изменения контролируемых величин. По временной зависимости угла поворота центрального звена в случае, если одна из опор скользит по поверхности с отличными свойствами, видно, что происходит разворот робота в направлении меньшего коэффициента трения. Для компенсации эффекта отклонения от курса было предложено оснастить робота дополнительными датчиками, а именно цифровым компасом для обеспечения точности движения по заданной траектории даже при развороте из-за неоднородности поверхности под опорами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-51-12025).

Список литературы

1. Li G., Zhang H., Zhang J., Bye R. T. Development of Adaptive Locomotion of a Caterpillar-Like Robot Based on a Sensory Feedback CPG Model // *Advanced Robotics*. 2014. V. 28. № 6. P. 389-401.
2. Matsuo T., Ishii K. Adaptive Motion Control System of a Snake-Like Robot Using a Neural Oscillator Network // *2014 Joint 7th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th Int. Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, Kitakyushu, Japan. 2014.
3. Conkur E. S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots // *Information Technology And Control*. 2008. Vol. 37. № 2. P. 159-162.
4. Ворочаева Л.Ю., Наумов Г.С., Яцун С.Ф. Моделирование движения трехзвенного робота с управляемыми силами трения по горизонтальной шерохо-

ватор поверхности // Изв. РАН. ТИСУ. 2015. № 1. С. 156-170.

5. Ворочаева Л.Ю., Яцун А.С., Яцун С.Ф. Моделирование движения пятизвенного ползающего робота с управляемым трением по поверхности с препятствиями // Изв. РАН. ТИСУ. 2017. № 3. С. 191-216.

6. Яцун С.Ф., Мальчиков А.В., Жакин А.И. Динамические опорные элементы ползающих роботов для движения по наклонным поверхностям // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. №2 (41). С.89-95.

7. Jatsun S.F., Volkova L.Yu., Naumov G.S., Yatsun A.S. Modelling of movement of the three-link robot with operated friction forces on the horizontal surface // 16th Intern. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Sydney, Australia, 2013. P. 677-684.

8. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Savin S., Malchikov A. Bio-inspired adaptive control strategy for a snake-like robot // 19th

Intern. Conf. on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Cheile Gradistei - Fundata, Romania, 2015. P. 273-278.

9. Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Yatsun A.S., Savin S.I. Study of Caterpillar-like Motion of a Four-link Robot // 14th IFToMM World Congress. Taipei, Taiwan. 2015. P. 1-6.

10. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Malchikov A. Theoretical and Experimental Studies of Transverse Dimensional Gait of Five-Link Mobile Robot on Rough Surface // 10th Intern. Symposium on Mechatronics and its Applications ISMA, Sharjah, UAE, 2015. P. 1-6.

11. Jatsun S.F., Loktionova O.G., Vorochaeva L.Yu. Modeling of the operated movement to a caterpillar of the similar robot on a horizontal surface // Intern. J. of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8 (3). P. 15231-15239.

Поступила в редакцию 11.05.18

UDC 621.865

S.F. Jatsun, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

L.Yu. Vorochaeva, Candidate of Engineering Sciences Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mila180888@yandex.ru)

A.V. Malchikov, Candidate of Engineering Sciences Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: zveroknp@gmail.com)

A.S. Yatsun, Candidate of Engineering Sciences Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ayatsun@yandex.ru)

INVESTIGATION OF THE THREE-LINK CRAWLING ROBOTS MOVEMENT ON THE NONDETERMINATED SURFACE

Bionic principles of locomotion are the most promising for displacement and transporting equipment under the most difficult conditions. Robots gait based on the changing shape of the robots body and interaction with the surface by body parts, can find application when moving over rough terrain, in a closed space of technological and natural cavities, where the use of wheel-track or walking principle is not possible.

In this paper, we propose the design of a three-link crawling robot equipped with two-coordinate active joints. The robot is equipped by supporting elements. Some supporting elements has adjustable friction coefficients, which allows realize various types of movement algorithms of the device. The article presents a mathematical model of a three-link crawling robot, which allows to study the process of robot movement, including case when the coefficients of friction of the surface under the supports are not equal to each other. In practice, the surface will most often have an inhomogeneous nondeterministic structure, which will lead to a deviation in straight-line motion.

The paper proposes an algorithm and a diagram of an automatic control system that allows robot to move along a given path despite the indeterminate surface. This is achieved by using additional sensors: a digital electronic compass, an accelerometer, a GPS module. The paper presents the results of computational experiments and the results obtained during the full-scale tests of the prototype of a three-link robot motion. At the end of the article, a comparative analysis of the experimental and theoretical results confirming the adequacy of the developed mathematical model and computational algorithms is presented.

Key words: crawling robot; mathematical modeling; non-deterministic surface; control system.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-6-14

For citation: Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Malchikov A.V., Yatsun A.S. Investigation of the Three-Link Crawling Robots Movement on the Nondetermined Surface. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 6-14 (in Russ.).

Reference

1. Li G., Zhang H., Zhang J., Bye R. T. Development of Adaptive Locomotion of a Caterpillar-Like Robot Based on a Sensory Feedback CPG Model. *Advanced Robotics*. 2014, vol. 28, no. 6, pp. 389-401.
2. Matsuo T., Ishii K. Adaptive Motion Control System of a Snake-Like Robot Using a Neural Oscillator Network. 2014 Joint 7th Int. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th Int. Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), Kitakyushu, Japan, 2014.
3. Conkur E. S., Gurbuz R. Path Planning Algorithm For Snake-Like Robots. *Information Technology And Control*, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 159-162.
4. Vorochaeva L.Ju., Naumov G.S., Jacun S.F. Modelirovanie dvizhenija trehzvennogo robota s upravljajemyimi silami trenija po gorizontaľnoj sherohovatoj poverhnosti. *Izv. RAN. TiSU*, 2015, no. 1, pp. 156-170.
5. Vorochaeva L.Ju., Jacun A.S., Jacun S.F. Modelirovanie dvizhenija pjatizvennogo polzajushhego robota s upravljajemyim treniem po poverhnosti s prepjatstvijami. *Izv. RAN. TiSU*. 2017, no. 3, pp. 191-216.
6. Jacun S.F., Mal'chikov A.V., Zhakin A.I. Dinamicheskie opornye jelementy polzajushhih robotov dlja dvizhenija po naklonnym poverhnostjam. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no.2 (41), pp. 89-95.
7. Jatsun S.F., Volkova L.Yu., Naumov G.S., Yatsun A.S. Modelling of movement of the three-link robot with operated friction forces on the horizontal surface. 16th Intern. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, Sydney, Australia, 2013, pp. 677-684.
8. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Savin S., Malchikov A. Bio-inspired adaptive control strategy for a snake-like robot. 19th Intern. Conf. on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Cheile Gradistei - Fundata, Romania, 2015, pp. 273-278.
9. Jatsun S.F., Vorochaeva L.Yu., Yatsun A.S., Savin S.I. Study of Caterpillar-like Motion of a Four-link Robot. 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, 2015, pp. 1-6.
10. Jatsun S., Vorochaeva L., Yatsun A., Malchikov A. Theoretical and Experimental Studies of Transverse Dimensional Gait of Five-Link Mobile Robot on Rough Surface. 10th Intern. Symposium on Mechatronics and its Applications ISMA, Sharjah, UAE, 2015, pp. 1-6.
11. Jatsun S.F., Loktionova O.G., Vorochaeva L.Yu. Modeling of the operated movement to a caterpillar of the similar robot on a horizontal surface. *Intern. J. of Pharmacy & Technology*, 2016, vol. 8 (3), pp. 15231-15239.

УДК 621.762

Е.В. Агеева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

А.Ю. Алтухов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alt997@yandex.ru)

А. А. Горохов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: disclos@yandex.ru)

Г.В. Должиков, аспирант, ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова» (Курск, Россия) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

МИКРОТВЕРДОСТЬ АДДИТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ КОБАЛЬТОХРОМОВЫХ ПОРОШКОВ

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих).

Исходя из особенностей методов получения сферических порошков с целью получения сферических гранул регламентированной зернистости предлагается технология электроэрозионного диспергирования, отличающаяся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса.

Главным преимуществом предложенной технологии является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет применять порошки-сплавы.

Для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы: исследование микротвердости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЗД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

По результатам проведенных исследований экспериментально установлено, что микротвердость аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных порошков со средним размером частиц 52,5 мкм, составляет 5,7 ГПа.

Ключевые слова: кобальтохромовый сплав; отходы; электроэрозионное диспергирование; порошок; аддитивные изделия; микротвердость.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-15-23

Ссылка для цитирования: Микротвердость аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, А.А. Горохов, Г.В. Должиков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С.15-23.

Введение

Аддитивные технологии (АТ) производства изделий из материалов на основе металлов и сплавов на сегодняшний день одно из самых перспективных и активно развивающихся направлений производства.

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в

системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих) [1-8].

Исходя из особенностей методов получения сферических порошков с целью получения сферических гранул регламентированной зернистости предлагается технология электроэрозионного диспергирования, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [9-27].

Главным преимуществом предложенной технологии является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет порошки-сплавы.

Широкое использование метода ЭЭД для переработки металлоотходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы – исследование микротвердости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

Методика исследования размера частиц порошка (ФР 1.27.2009.06762 «Методика выполнения измерений размера частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях в нанометровом и коллоидном диапазонах с использованием эффекта динамического рассеяния света»). Пробоподготовка: диспергирование пробы в жидкости. Измерение фона – для того, чтобы снизить влияние измерительной жидкости перед каждым измерением проводят фоновое измерение. Любое загрязнение от предыдущих измерений измеряется и устраняется его влияние на текущий результат. Измерение распределения частиц по размеру: образец исследуемого объема около 1-5 г помещали в модуль для диспергирования в жидкости (объемом 500 мл). Измерение начиналось автоматически, как только значение абсорбции достигало указанной величины. Параметры измерения: Тип измерения – по методу Фраунгофера; диапазон измерения – 0,1 [мкм] – 1021,87 [мкм]; разрешение – 102 канала (20/383 мм); продолжительность измерения – 100 (сканов); регуляризация – средняя модель.

Проведено определение распределения по размерам микрочастиц порошка «CoCr» (в приложении 1 приведен стандартный отчет). Результаты измерения размера частиц представлены на рисунке 1.

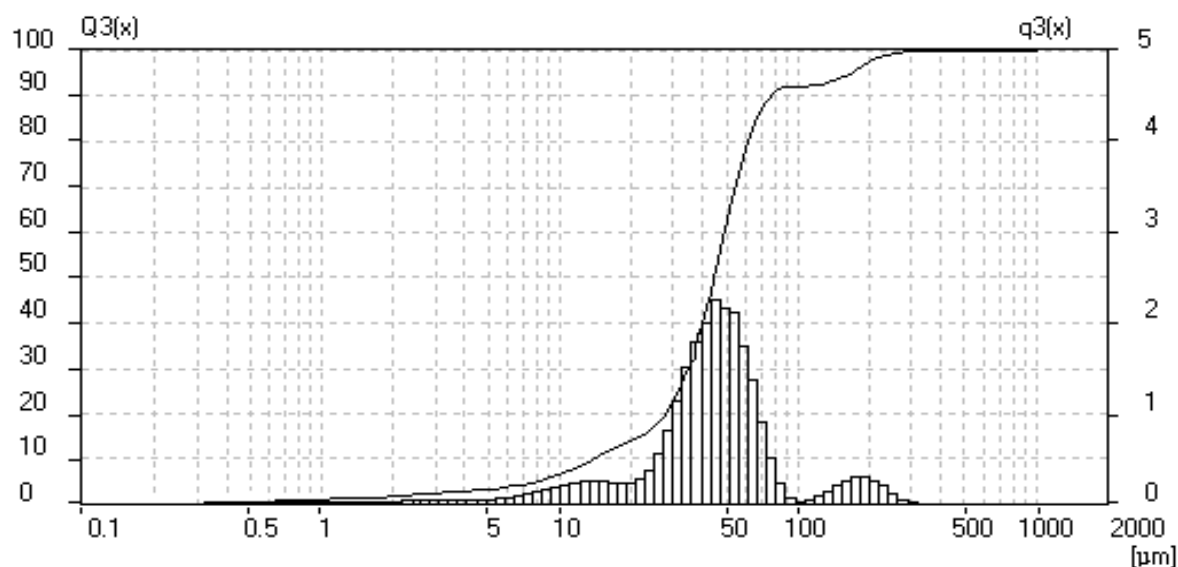


Рис. 1. Распределение по размерам микрочастиц порошка «CoCr» Интегральная кривая и гистограмма: интегральная кривая в координатах $Q3(x)=f(\mu\text{m})$ (левая шкала) - каждая точка на кривой, сколько % образца имеет размер частиц меньше либо равно данному. Гистограмма в координатах $q3(x)=f(\mu\text{m})$ (правая шкала) - количество образца с данным размером частиц

Установлено, что средний размер частиц составляет 52,5 мкм, арифметическое значение – 52,496 мкм.

Информация дифракционных картин может использоваться не только для определения размера частиц, но и для анализа их формы. Частицы несферической формы рассеивают излучение в их предпочтительных пространственных направлениях. Если в лазерный пучок попадает не слишком большое количество частиц, на основе получаемой информации может выполняться анализ их формы. За счет уникальной возможности перемещения в сходящемся лазерном пучке, при анализе формы частиц измерительная ячейка подводится ближе к детектору, благодаря чему первый дифракционный максимум излучения, рассеянного частицами среднего размера, попадает в зоны детектора, чувствительные к форме частиц. Поскольку диаметр сходящегося лазерного пучка уменьшается по мере приближения к детектору, в этом

месте в лазерном пучке находится точно то небольшое количество частиц, которое необходимо для анализа их формы. Азимутально (лучеобразно) расположенные элементы детектора регистрируют флуктуации рассеянного излучения, на основе которых компьютерной программой анализируется форма частиц. Программа позволяет определять отношение элонгации для значения $\times 50$ ранее измеренного распределения, а также судить о „гранности“ частиц. На рисунке 2 представлена форма микрочастиц порошка «CoCr».

Установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 44,128 мкм составляет 1,931.

Автоматизированный микротвердомер AFFRI DM-8 (по Виккерсу) обеспечивает проведение измерений микротвердости в автоматическом режиме с построением кривых распределения микротвердости ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

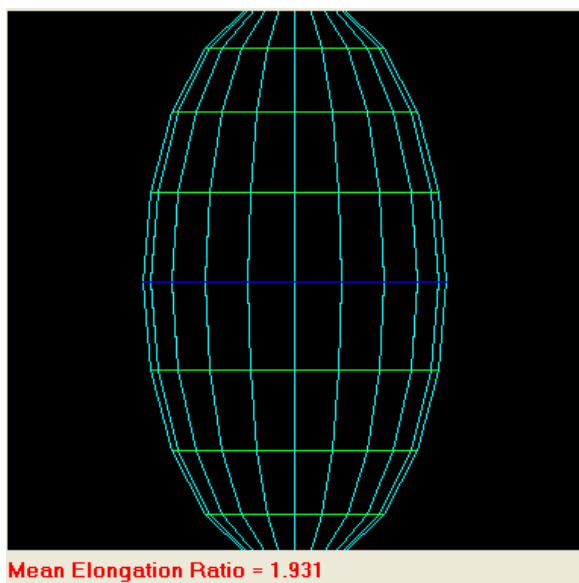


Рис. 2. Параметры формы микрочастиц порошка «CoCr»

Использование автоматической системы анализа изображения PRECIDUR® позволяет проводить измерения в ручном режиме или полностью автоматизировать процесс измерения микротвердости. Для данного прибора существует определенный набор команд, с помощью которых можно задавать параметры проведения микроиндентирования с учетом особенностей каждой конкретной задачи исследования. Например, можно задавать направление индентирования, указывать количество отпечатков, расстояние между ними, нагрузку на индентор, производить индентирование на сварном шве, используя метод интерполяции, проводить исследования многофазных материалов и т.д. Встроенная цифровая камера позволяет не только визуализировать на мониторе компьютера исследуемую поверхность образца, но и производить фотосъемку остаточных отпечатков после микроиндентирования. Технические характеристики и дополнительные опции:

индентор по Виккерсу, память рассчитана на 999 измерений, встроенная функция перевода единиц измерения, соответствует нормам ISO, JIS и ASTM, общие увеличения: 100х, 400х, автоматическая турель (облегчает работу оператора путем автоматического выбора индентора и объективов), функция автоматического возврата в заданную позицию по завершению рабочего цикла.

Испытания твердости образцов по поверхности и поперечному шлифу проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 200 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТом 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». Время нагружения индентора составило 15 с. Результаты измерений приведены в таблице.

Микротвердость по Виккерсу

Номер отпечатка	Значение
1	523
2	519
3	587
4	624
5	605
6	550
7	601
8	596
9	592
10	601
Среднее значение (единицы измерения)	580
HV	5684
ГПа	5,684

Выводы

По результатам проведенных исследований экспериментально установлено, что микротвердость аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных порошков со средним размером частиц 52,5 мкм, составляет 5,7 ГПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда. Номер проекта 17-79-20336.

Список литературы

1. Wang Z., Guana K., Gaoa M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting // Journal of Alloys and Compounds. 2012. Vol. 513. P. 518–523.
2. Safdar A., Wei L.Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti–6Al–4V // Materials Characterization. 2012. Vol. 65. P. 8–15.
3. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides // Conference paper of 22nd International symposium “Solid freeform fabrication proceedings”. University of Texas, Austin, 2011. P. 547–556.
4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V // Materials & Design. 2012. Vol. 35. P. 120–125.
5. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms // International Materials Reviews. 2012. Vol. 57 (3). P. 133–164.
6. Biamino S., Penna A., Ackelid U et al. Electron beam melting of Ti–48Al–2Cr–2Nb alloy: microstructure and mechanical properties investigation // Intermetallics. 2011. Vol. 19. P. 776–781.
7. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts // Surface and Coatings Technology. 2012. Vol. 206. P. 4704–4709.
8. Safdar A., He H.Z., Wei L.Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti–6Al–4V // Rapid Prototyping Journal. 2012. Vol. 18 (5). P. 401–408.
9. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol / E.V. Ageeva, A.Yu. Altukhov, S.V. Khardikov, S.S. Gulidin, A.N. Novikov // Journal of nano- and electronic physics. 2015. Vol. 7, № 4, Part 2. P. 04080(3).
10. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, S.V. Pikalov, E.A. Vorobiev, A.N. Novikov // Journal of nano- and electronic physics. 2015. Vol. 7, No 4, Part 2, P. 04058(2).
11. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, V.Yu. Karpenko, A.S. Osminina // Journal of nano- and electronic physics. 2014. Vol. 3. P. 03049-1– 03049-3.
12. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, N.M. Horyakova, V.S. Malukhov // Journal of nano- and electronic physics. 2014. Vol. 3. P. 03011-1 - 03011-3.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56, № 1. P. 52–62.
14. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения нанострук-

турных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. № 5. С. 39-42.

15. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е.В. Агеев, А.А. Горохов, А.Ю. Алтухов, А.В. Щербаков, С.В. Хардинов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 1 (64). С. 26-31.

16. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2011. № 1 (46). С. 78-80.

17. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники плазменно-порошковой наплавкой с использованием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов спеченных твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Ю.П. Гнездилова. Курск, 2010. 91 с.

18. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева. Курск, 2011. 122 с.

19. Исследование физико-технологических свойств порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, В.Б. Тригуб, В.В. Самой-

лов, Е.В. Агеева // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 12-2. С. 336-340.

20. Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Пикалов С.В. Исследование микротвердости синтезированной порошковой быстрорежущей стали из электроэрозионных порошков, полученных в водной среде // *Современные материалы, техника и технологии*. 2015. № 1 (1). С. 13-16.

21. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов // *Вестник машиностроения*. 2014. № 9. С. 63-64.

22. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М., 2011. 468 с.

23. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Хорьякова Н.М. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием. Курск, 2014. 144 с.

24. Агеева Е.В., Агеев Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. № 3. С. 503-509.

25. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2016. № 1 (18). С. 20-25.

26. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов - перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники / Е.В. Агеев, В.Н.

Гадалов, Е.В. Агеева, Р.В. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1 (40). С. 182-189.

27. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Чаплыгин, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 30-35.

28. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2-6.

Поступила в редакцию 25.06.18

UDC 621.762

E.V. Ageeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

A.Yu. Altukhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alt997@yandex.ru)

A.A. Gorokhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: disclos@yandex.ru)

G.V. Dolzhikov, Post-Graduate Student, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov" (Kursk, Russia) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

THE MICROHARDNESS OF THE ADDITIVE PRODUCTS OF THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF COBALT POWDERS

The main requirement for powders for additive 3d technologies is the spherical shape of the particles. Such particles are most compact in a certain volume and provide "fluidity" of the powder composition in the material supply systems with minimal resistance. In addition, the powder must contain a minimum amount of dissolved gas. The microstructure of the powder should be uniform and fine (with a uniform distribution of phase components).

Based on the features of methods for producing spherical powders to obtain spherical granules of regulated grain, the technology of electroerosion dispersion, characterized by relatively low energy costs and environmental cleanliness of the process, is proposed.

The main advantage of the proposed technology is the use of waste as raw materials, which is much cheaper than the pure components used in traditional technologies. In addition, this technology is powder, which allows powder-alloys.

To develop technologies for the reuse of electrical erosion powders and to evaluate the effectiveness of their use, complex theoretical and experimental studies are required.

The aim of this work to study the microhardness of the additive products of the electrical discharge machining of cobalt powders.

For the proposed studies selected waste cobalt alloy brand CHMS "CELLET". Butyl alcohol (butanol-1) was used as a working liquid. To obtain the cobalt powders used for the installation of AED dielectric materials. Dispersion parameters: voltage 100 V, capacity 48 UF, pulse repetition rate 120 Hz.

According to the results of the research, it was experimentally established that the microhardness of additive products obtained from electroerosion powders with an average particle size of 52.5 μm is 5.7 GPa.

Key words: cobalt-chrome alloy; waste; electroerosion dispersion; powder; additive products; microhardness.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-15-23

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Gorokhov A.A., Dolzhikov G.V. The Microhardness of the Additive Products of the Electrical Discharge Machining of Cobalt Powders. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 15-23 (in Russ.).

Reference

1. Wang Z., Guana K., Gao M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, Vol. 513, pp. 518–523.
2. Safdar A., Wei L.Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti–6Al–4V. *Materials Characterization*, 2012, vol. 65, pp. 8–15.
3. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides. Conference paper of 22nd International symposium “Solid freeform fabrication proceedings”, University of Texas, Austin, 2011, pp. 547–556.
4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V. *Materials & Design*, 2012, vol. 35, pp. 120–125.
5. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. *International Materials Reviews*, 2012, vol. 57 (3), pp. 133–164.
6. Biamino S., Penna A., Ackelid U. et al. Electron beam melting of Ti–48Al–2Cr–2Nb alloy: microstructure and mechanical properties investigation. *Intermetallics*, 2011, vol. 19, pp. 776–781.
7. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts. *Surface and Coatings Technology*, 2012, vol. 206, pp. 4704–4709.
8. Safdar A., He H.Z., Wei L.Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti–6Al–4V. *Rapid Prototyping Journal*, 2012, vol. 18 (5), pp. 401–408.
9. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Khardikov S.V., Gulidin S.S., Novikov A.N. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol. *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, p. 04080(3).
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pikalov S.V., Vorobiev E.A., Novikov A.N. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium. *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, p. 04058(2).
11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them. *Journal of nano- and electronic physics*, 2014, vol. 3, pp. 03049-1–03049-3.
12. Ageeva E.V., Ageev E.V., Horyakova N.M., Malukhov V.S. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium. *Journal of nano- and electronic physics*. 2014, vol. 3, pp. 03011-1 - 03011-3.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2015, vol. 56, no. 1, pp. 52–62.
14. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanosrukturnyx poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2010, no. 5, pp. 39–42.
15. Ageev E.V., Goroxov A.A., Altukhov A.Yu., Shherbakov A.V., Khardikov S.V. Rentgenospektralnyj mikroanaliz nixromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v srede kerosina. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, T. 22, № 4(79).

darstvennogo universiteta, 2016, no. 1 (64), pp. 26-31.

16. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina*, 2011, no. 1 (46), pp. 78-80.

17. Ageev E.V., Serebrovskij V.I., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnezdilova Yu.P. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtotraktornoj tekhniki plazmenno-poroshkovoj naplavkoj s ispolzovaniem poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otxodov spechennykh tverdyyh splavov. Kursk, 2010, 91 p.

18. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenixin B.A., Ageeva E.V. Sostav i svoystva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otxodov tverdyyh splavov. Kursk, 2011. 122 p.

19. Ageev E.V., Gadlov V.N., Romanenko D.N., Trigub V.B., Samojlov V.V., Ageeva E.V. Issledovanie fiziko-tekhnologicheskix svoystv poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2011. no. 12-2, pp. 336-340.

20. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Pikalov S.V. Issledovanie mikrotverdosti sintezirovannoj poroshkovoj bystrorezhushhej stali iz elektroerozionnykh poroshkov, poluchennykh v vodnoj srede. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2015, no. 1 (1), pp. 13-16.

21. Ageeva E.V., Xoryakova N.M., Ageev E.V. Issledovanie raspredeleniya mikrochastich po razmeram v poroshkax, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem mednykh otxodov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 9, pp. 63-64.

22. Gadlov V.N., Salnikov V.G., Ageev E.V., Romanenko D.N. Metallografiya metallov, poroshkovykh materialov i pokrytij, poluchennykh elektroiskrovymi sposobami. Moscow, 2011, 468 p.

23. Ageev E.V., Ageeva E.V., Xoryakova N.M. Sostav i svoystva mednykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem. Kursk, 2014, 144 p.

24. Ageeva E.V., Ageev E.V. Povyshenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennykh transportnykh sistem. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 3, pp. 503-509.

25. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Gulidin S.S., Ageev E.V., Goroxov A.A. Fazovyy sostav chastich poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25.

26. Ageev E.V., Gadlov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Poroshki, poluchennyye elektroerozionnym dispergirovaniem otxodov tverdyyh splavov - perspektivnyj material dlya vosstanovleniya detalej avtotraktornoj tekhniki. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189.

27. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Goroxov A.A. Razmernyye xarakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35.

28. Latypov R.A., Korostelev A.B., Ageev E.V., Semenixin B.A. Svoystva poroshkov iz otxodov tverdyyh splavov VK8 i T15K6, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik*, 2010, no. 7, pp. 2-6.

УДК 621.9.06.001.63

В.В. Куц, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kuc-vadim@yandex.ru)

Д.С. Гридин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: swsu.st@inbox.ru)

М.С. Разумов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mika_1984_@mail.ru)

О.С. Зубкова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: zubkova-oksana@bk.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОРЦЕВЫХ ФРЕЗ С КОНСТРУКТИВНОЙ ОСЕВОЙ ПОДАЧЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ С РАВНООСНЫМ КОНТУРОМ

В узлах машин одними из наиболее ответственных соединений являются разъемные соединения для передачи крутящего момента. К ним предъявляются высокие требования по усталостной прочности и долговечности. Однако существующие методы обработки имеют ряд недостатков. В связи с чем, было предложено использовать торцевую фрезу с конструктивной осевой подачей, что позволило исключить возвратно-поступательные движения инструмента и/или заготовки. Предполагалось, что частота вращения фрезы и вала имеют одинаковые значения и профиль вала обрабатывается за один оборот инструмента, и что соответственно при высоких требованиях к качеству поверхности приводит к увеличению габаритных размеров инструмента (увеличению металлоемкости) и соответственно увеличению себестоимости обработки. В статье показаны результаты решения прямой задачи проектирования, связанные с определением производящей поверхности торцевой фрезы для обработки валов с равноосным контуром, полученные с применением геометрической теории формирования поверхностей режущими инструментами. Рассмотрены случаи, когда оси фрезы и детали пересекаются под прямым углом и меньшими углами. Показаны результаты расчета и геометрического моделирования производящих поверхностей подобных фрез для РК-профильного вала заданного размера. Применение торцевой фрезы с конструктивной осевой подачей позволит обрабатывать участок вала шириной, равной ширине фрезерования, исключая возвратно-поступательные движения и не используя специальные приспособления, достичь высокой точности обработки наиболее важных участков валов с равноосным контуром (оптимальной шероховатости и правильной геометрической формы обрабатываемой поверхности валов), а также высокой производительности обработки, вследствие упрощения схемы формообразования валов данного типа.

Ключевые слова: фреза; производящая поверхность; конструктивная осевая подача; равноосный контур; геометрическая модель; формообразование.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-24-31

Ссылка для цитирования: Моделирование производящих поверхностей торцевых фрез с конструктивной осевой подачей для обработки валов с равноосным контуром / В.В. Куц, Д.С. Гридин, М.С. Разумов, О.С. Зубкова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 24-31.

В узлах машин одними из наиболее ответственных соединений являются разъемные соединения для передачи крутящего момента. К ним предъявляются высокие требования по усталостной прочности, долговечности и др. В настоящее время в машинах разного функционального назначения для передачи крутящего момента наибольшее применение находят шлицевые и шпоночные соеди-

нения. Профильные соединения, известные еще давно, находят ограниченное применение в отечественном машиностроении вследствие недостаточной технологичности, что связано с отсутствием необходимого для их производства технологического оборудования, которое имеет сложную кинематическую структуру и обладает высокой стоимостью [1-8].

Так, например, в работе [9] предложен способ обработки валов с равноосным контуром торцевой фрезой, расположенной перпендикулярно оси детали, ширина которой постоянна по всей производящей поверхности, т.е. подъем на зуб отсутствует, при котором для получения РК-профиля фрезе и заготовке сообщают возвратно-поступательное перемещение с амплитудой, равной величине эксцентриситета профиля и частотой, зависящей от количества граней РК-профиля. Недостатком указанного способа является то, что этот способ не обеспечивает высокой производительности и обработки.

Для устранения недостатков данного способа было предложено использовать торцевую фрезу с конструктивной осевой подачей [10,11], что позволило исключить возвратно-поступательные движения инструмента и/или заготовки. Предполагалось, что частота вращения фрезы и вала имеет одинаковые значения и профиль вала обрабатывается за один

оборот инструмента, что соответственно при высоких требованиях к качеству поверхности приводит к увеличению габаритных размеров инструмента (увеличению металлоемкости) и соответственно увеличению себестоимости обработки.

Для решения данной проблемы авторами предлагается за один оборот фрезы выполнять обработку одного типового участка вала (РК-профильной кривой). Соответственно частота вращения фрезы будет в N -раз больше вращения вала, где N – число граней РК-профильного вала. Реализация данного способа предполагает создание новой конструкции торцевой фрезы с конструктивной осевой подачей, производящая поверхность которой может быть найдена следующим образом.

Зададим основное уравнение формообразования РК-профильного вала, соответствующее рассматриваемому способу обработки

$$\bar{r}_0 = A_{0,4} \cdot \bar{r}_4, \quad (1)$$

где $\bar{r}_0$ – уравнения обрабатываемой поверхности РК профильного вала

$$\bar{r}_0 = \begin{bmatrix} (R - e \cdot \cos(N\theta) \cos(\theta) - Ne \cdot \sin(N\theta) \sin(\theta)) \\ (R - e \cdot \cos(N\theta) \sin(\theta) + Ne \cdot \sin(N\theta) \cos(\theta)) \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где R – средний радиус РК-профиля; e – эксцентриситет РК-профиля; θ – параметрический угол ($0 \leq \theta \leq 2\pi$); $A_{0,4}$ – матрица преобразования формообразующей системы (рис.1).

$$A_{0,4} = A_{0,1}^6(\theta_1) A_{1,2}^1(x) A_{2,3}^3(z) A_{3,4}^4(\theta_2), \quad (3)$$

где $A_{0,1}^6(\theta_1)$ – матрица, учитывающая поворот заготовки вокруг оси Z на величину угла поворота вала θ_1 (табл.1); $A_{1,2}^1(x)$ – матрица, учитывающая смещение фрезы вдоль оси X ; $A_{2,3}^3(z)$ – матрица, учитывающая смещение фрезы вдоль оси Z на величину z ; $A_{3,4}^4(\theta_2)$ – матрица поворота фрезы вокруг оси X на угол θ_2 (табл.); $\bar{r}_4$ – искомое уравнение производящей поверхности торцевой фрезы.

Исходя из того, что за один оборот фрезы будет обрабатываться $1/N$ -я часть профиля вала, задавая связи в формообразующей системе (см. рис.1)

$$\theta_2 = -\theta_1 \cdot N, x = R + B, z = R_f - H, \quad (4)$$

где H – ширина фрезерования; B – толщина среднего радиуса фрезы; R_f – средний радиус фрезы, в результате перемножения матриц обобщенных движений, матрица преобразований (3) примет вид

$$A_{0,4} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) \sin(\theta_1) \cos(\theta_1 N) \sin(\theta_1) \sin(\theta_1 N) (R+B) \cos(\theta_1) \\ -\cos(\theta_1) \cos(\theta_1) \cos(\theta_1 N) \cos(\theta_1) \sin(\theta_1 N) (R+B) \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & -\sin(\theta_1 N) \cos(\theta_1 N) R_f + H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

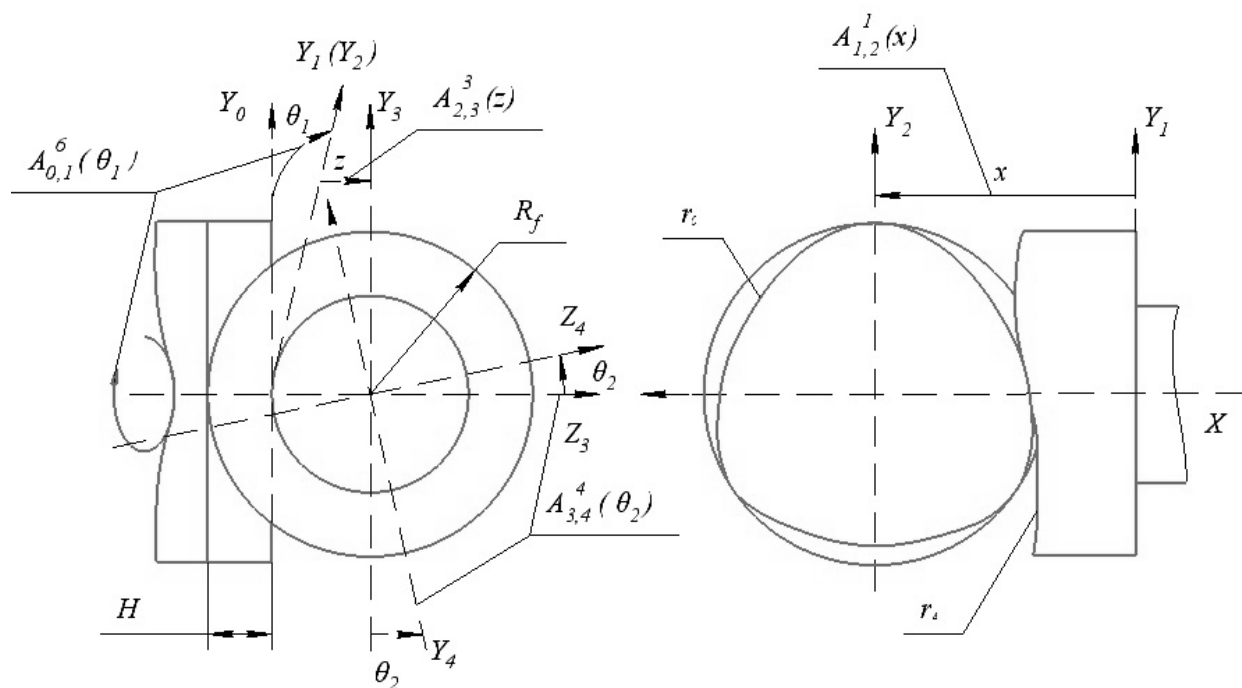


Рис. 1. Схема обработки валов с равноосным контуром торцевой фрезой с осевой конструктивной подачей

Матрицы обобщенных перемещений

Вид движения	Матрицы, моделирующие движение относительно оси		
	X	Y	Z
Поступательное вдоль оси	$A^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Вращательное вокруг оси	$A^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^5 = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^6 = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Искомое уравнение производящей поверхности $\bar{r}_4$ найдем как

$$\bar{r}_4 = (A_{0,4})^{-1} \bar{r}_0.$$

Для построения уравнения производящей поверхности определим связь огибания в формообразующей системе (ФС) путем решения относительно параметра θ_1 уравнения

$$\det(B) = 0, \quad (5)$$

где B – матрица частных производных вектора $\bar{r}_4$ по параметрам θ, θ_1, z

$$B = \begin{bmatrix} \bar{l}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta} & \bar{j}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta} & \bar{k}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta} \\ \bar{l}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial z} & \bar{j}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial z} & \bar{k}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial z} \\ \bar{l}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta_1} & \bar{j}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta_1} & \bar{k}_4 \cdot \frac{\partial \bar{r}_4}{\partial \theta_1} \end{bmatrix},$$

где $\bar{l}_4, \bar{j}_4, \bar{k}_4$ – определяющие орты системы координат инструмента.

Так как уравнение (5) имеет 2 решения

$$\theta_{1,1} = \arctan \left(\frac{\cos(\theta) \sin(N\theta) e - \sin(\theta) \cdot t}{\sin(N\theta) \sin(\theta) e + \cos(\theta) \cdot t} \right),$$

и

$$\theta_{1,2} = \arctan \left(\frac{\cos(\theta) \sin(N\theta) e + \sin(\theta) \cdot t}{\sin(N\theta) \sin(\theta) e + \cos(\theta) \cdot t} \right),$$

где

$$t = \sqrt{(R_f + z)^2 - e^2 \sin^2(N\theta) + H^2 - 2H(R_f - z)},$$

и

$$\theta_{2,1} = \arctan \left(\frac{e \cos(\theta) \sin(N\theta) (N \sin(\beta) - t)}{e \sin(N\theta) \sin(\theta) (N^2 - t)} \right)$$

$$\theta_{2,2} = \arctan \left(\frac{e \cos(\theta) \sin(N\theta) (N \sin(\beta) - t)}{e \sin(N\theta) \sin(\theta) (N^2 + t)} \right),$$

$$\text{где } t = \sqrt{\cos(\beta)^2 z^2 + 2Ne^2 \sin(\beta) + 2R_f z \cos(\beta) + R_f^2 - 2HR_f - 2Hz \cos(\beta)},$$

где N – число граней РК-профильного вала;

то связь огибания будет определяться по формуле

$$\theta_1 = \max(\theta_{1,1}, \theta_{1,2}). \quad (6)$$

На рисунке 2 показан результат геометрического моделирования производящей поверхности торцевой фрезы с конструктивной осевой подачей для обработки РК-профильного вала со следующими параметрами: $H = 20$ мм; $R_f = 100$ мм; $N = 3$; $e = 1$ мм; $R = 50$ мм; $B = 20$ мм.

Геометрия моделирования производящей поверхности торцевой фрезы.

В случае, если обработка вала с равноосным контуром будет выполняться торцевой фрезой под некоторым углом β относительно исходного положения оси инструмента, то матрица преобразования ФС будет иметь вид

$$A_{0,5} = A_{0,1}^6(\theta_1) A_{1,2}^1(x) A_{2,3}^5(\beta) \times A_{3,4}^3(z) A_{4,5}^4(\theta_2), \quad (7)$$

где $A_{0,1}^6(\theta_1)$ – матрица, учитывающая поворот заготовки вокруг оси Z на угол θ_1 ; $A_{1,2}^1(x)$ – матрица, учитывающая смещение фрезы вдоль оси X ; $A_{2,3}^5(\beta)$ – матрица, поворота фрезы вокруг оси Y под углом β ; $A_{3,4}^3(z)$ – матрица, учитывающая смещение фрезы вдоль оси Z ; $A_{4,5}^4(\theta_2)$ – матрица поворота фрезы вокруг оси X на угол θ_2 (см.табл.).

Выполняя расчет аналогично, как и в первом случае получаем для уравнения (5) с учетом (7) следующие решения:

На рисунке 3 показан результат моделирования профиля поверхности торцевой фрезы для обработки РК-профильных соединений при различных

значениях угла β при $H = 20$ мм, $R_f = 20$ мм, $N = 3$, $e = 1$ мм, $R = 50$ мм, $B = 20$ мм.

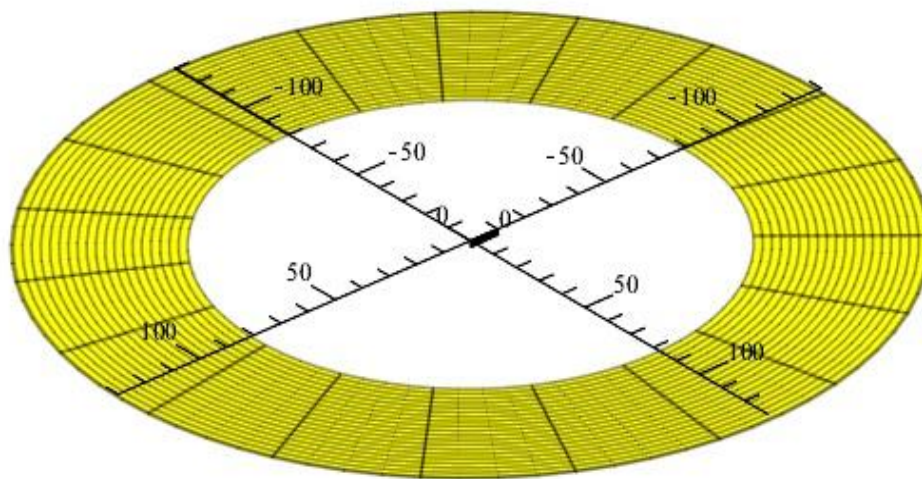
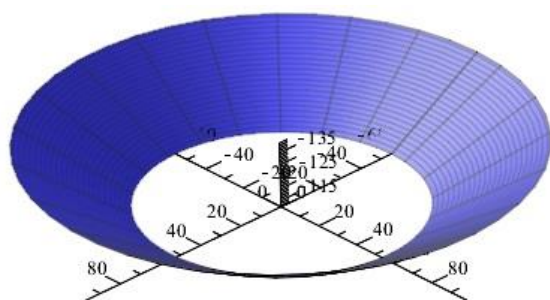
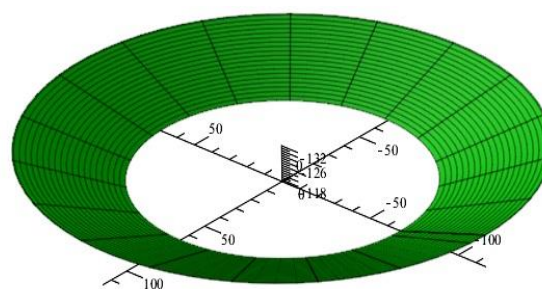


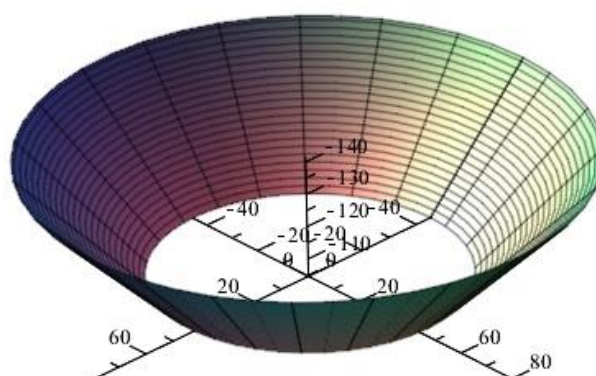
Рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 3. Моделирование поверхности торцевой фрезы. Расположение поверхности фрезы под углом: а – $\beta = 15^\circ$, б – $\beta = 30^\circ$, в – $\beta = 45^\circ$

Применение торцевой фрезы с конструктивной осевой подачей позволит обрабатывать участок вала шириной, равной ширине фрезерования, исключая возвратно-поступательные движения и не используя специальные приспособления, достичь высокой точности обработки наиболее важных участков валов с равноосным контуром (оптимальной шероховатости и правильной геометрической формы обрабатываемой поверхности валов), а также высокой производительности обработки, вследствие упрощения схемы формообразования валов данного типа [12].

В дальнейшем основной задачей следующего исследования станет определение метода моделирования зубьев торцевой фрезы, а также определение требуемых режимов обработки на станке.

Работа выполнена в рамках финансирования Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2018-2020 годы СП-591.2018.1.

Список литературы

1. Разумов М.С. Повышение производительности формообразования многогранных наружных поверхностей посредством планетарного механизма: автореф. дис.. канд. техн. наук. Курск, 2011. 18 с.
2. Барботько А.И., Разумов М.С., Гладышкин А.О. Определение погрешности формы при обработке многогранников на токарном станке // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. №3 (36). С. 130 -135.

3. Кузьменко А.П., Куц В.В., Максименко Ю.А. Построение модели режущих кромок дисковой фрезы для обработки валов с равноосным контуром // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1 (40). С. 116-120.

4. Разумов М.С., Гречухин А.Н., Пыхтин А.И. Определение погрешности формы при полигональном точении многогранников с нечетным количеством граней // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых. Новосибирск, 2014. С. 137 -140.

5. Razumov M.S., Gladyshevskiy A.O., Pykhtin A.I. Evaluation of rational quantity of profile moment-transferring joints sides // Source of the Document Tehnicki Vjesnik. 2016. № 23 (2). P. 575 -577.

6. Формообразование многогранных наружных поверхностей с переменным профилем / С.Г. Емельянов, М.С. Разумов, А.Н., Гречухин А.О. Гладышкин, А.И. Пыхтин. Курск, 2015.

7. Формообразование гранных поверхностей тел вращения посредством планетарного механизма построителя / С.Г. Емельянов, А.И. Барботько, М.С. Разумов, А.О. Гладышкин, А.Н. Гречухин, А.И. Пыхтин. Курск, 2014, 188 с.

8. Ивахненко А.Г. Методология структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем. Комсомольск-на-Амуре, 2015. 282 с.

9. А.с. 1599158 А I СССР В 23 С 3/08, В 24 в 19/08 Способ обработки валов с профилем типа равноосный контур / А.И. Тимченко, А.Г. Схиртладзе. Оpubл. 15.10.90. Бюлл. №38.

10. Ивахненко А.Г., Куц В.В. Структурно-параметрический синтез технологических систем, Курск, 2010. 153 с.

11. Куц В.В., Ивахненко А.Г., Сторублев М.Л. Моделирование производящих поверхностей фрез-протяжек для обработки валов с равноосным контуром. Курск, 2011. 7 с.

12. А.с. 103317 В 23 С 5/06 Фреза торцевая для обработки валов с равноосным контуром / В.В. Куц, А.Г. Ивахненко, М.Л. Сторублев. Опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10.

Поступила в редакцию 15.07.18

UDC 621.9.06.001.63

V.V. Kuts, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kuc-vadim@yandex.ru)

D.S. Gridin, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: swsu.st@inbox.ru(kursk, swsu))

M.S. Razumov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mika_1984_@mail.ru(kursk, swsu))

O.S. Zubkova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: zubkova-oksana@bk.ru(kursk, swsu))

MODELING PRODUCING SURFACES OF END MILLS WITH A DESIGN AXIAL DIRECTION FOR SHAFT MACHINING WITH EQUIAXED CIRCUIT

The article shows the results of the solution of the direct design problem associated with the definition of the producing surface of the end mill for processing shafts with an equiaxed contour, obtained using the geometric theory of surface formation by cutting tools. The cases when the axis of the cutter and the parts intersect at a right angle and smaller angles. The results of calculation and geometric modeling of producing surfaces of such mills for the RC-profile shaft of a given size are shown.

The work was carried out as part of the funding of the Grant of the President of the Russian Federation to young scientists and graduate students engaged in promising research and development in priority areas of modernization of the Russian economy, for 2018-2020 SP-591.2018.1

Key words: milling cutter; producing surface; structural axial feed; equiaxed contour; geometric model; forming.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-24-31

For citation: Kuts V.V., Gridin D.S., Razumov M.S., Zubkova O.S. Modeling Producing Surfaces of End Mills with a Design Axial Direction for Shaft Machining with Equiaxed Circuit. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 24-31 (in Russ.).

Reference

1. Razumov M.S. Povyshenie proizvoditel'nosti formoobrazovaniya mnogo-

grannyh naruzhnyh poverhnostej posredstvom planetarnogo mehanizma. Avtoref. diss. kand. tehn. nauk. Kursk, 2011, 18 p.

2. Barbot'ko A.I., Razumov M.S., Gladyshevskiy A.O. Opredelenie pogreshnosti formy pri obrabotke mnogogrannikov na tokarnom stanke. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no.3 (36), pp. 130 -135.
3. Kuz'menko A.P., Kuc V.V., Maksimenko Ju.A. Postroenie modeli rezhushhih kro-mok diskovoy frezy dlja obrabotki valov s ravnoosnym konturom. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 116-120.
4. Razumov M.S., Grechuhin A.N., Pyhtin A.I. Opredelenie pogreshnosti formy pri poligonal'nom tochenii mnogogrannikov s nechetnym kolichestvom granej. *Jel-ektrotehnika. Jenergetika. Mashinostroenie.: sbornik nauchnyh trudov I Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molodyh uchenykh*, Novosibirsk, 2014, pp. 137 -140.
5. Razumov M.S., Gladyshevskiy A.O., Pykhtin A.I. Evaluation of rational quantity of profile moment-transferring joints sides Source of the Document *Tekhniki Vjesnik*, 2016, no. 23 (2), pp. 575 -577.
6. Emel'janov S.G., Razumov M.S., Grechuhin A.N., Gladyshevskiy A.O., Pyhtin A.I. Formoobrazovanie mnogogrannykh naruzhnykh poverhnostey s peremennym profilem. Kursk, 2015.
7. Emel'janov S.G., Barbot'ko A.I., Razumov M.S., Gladyshevskiy A.O., Grechuhin A.N., Pyhtin A.I. Formoobrazovanie grannykh poverhnostey tel vrashheniya posredstvom planetarnogo mehanizma postroitelja. Kursk, 2014, 188 p.
8. Ivahnenko A.G. Metodologiya strukturno-parametricheskogo sinteza metallorehushhih sistem. Komsomol'sk-na-Amure, 2015, 282 p.
9. A.s. 1599158 A I SSSR V 23 S 3/08, V 24 v 19/08 Sposob obrabotki valov s profilem tipa ravnoosnyj kontur. A.I. Timchenko, A.G. Shirladze. Opublikovano 15.10.90. *Bjulleten'* no. 38.
10. Ivahnenko A.G., Kuc V.V. Strukturno-parametricheskij sintez tehnologicheskikh sistem. Kursk, 2010, 153 p.
11. Kuc V.V., Ivahnenko A.G., Storublev M.L. Modelirovanie proizvodjashhih poverhnostey frezprotjazhek dlja obrabotki valov s ravnoosnym konturom, Kursk, 2011, 7 p.
12. A.s. 103317 V 23 S 5/06 Freza torcevaja dlja obrabotki valov s ravnoosnym konturom. V.V. Kuc, A.G. Ivahnenko, M.L. Storublev. Opublikovano 10.04.2011, *Bjulleten'* no. 10.

С.Ф. Яцун, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: teormeh@inbox.ru)

Ян Найнг Со, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: boyan.243@gmail.com)

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ЯКОБИАНСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ЧЕТЫРЕХНОГО РОБОТА

В работе представлены методы прямой кинематики, обратной кинематики и Якобианский анализ четырехногих роботов. Кинематический анализ – основная проблема шагающего робота. В этом исследовании для каждой ноги четырехногого робота прямая задача кинематики решается с использованием метода Денавита-Хартенберга (D-H), а для решения обратной кинематической задачи используются геометрический и математический методы. Кинематика делится на две категории: прямая Кинематическая и обратная Кинематика. Прямая кинематика, как мы знаем, позволяет установить конечную точку угла (θ_1, θ_2 и θ_3). Обратная кинематика используется для вычисления относительных углов, которые достигают желаемого положения и ориентации концевой эффектора относительно базовой рамы. Метод Якобиана является одним из наиболее важных анализов для управления плавностью траектории и вывода динамического уравнения движения робота. Для расчета используется программное обеспечение MATLAB, а для моделирования робота используется Simulink toolbox в программном обеспечении MATLAB. При моделировании в пакете MATLAB рассматривалась одна нога модели, проводился расчет угловой скорости и относительных углов. Функциональная программа MATLAB состоит из различных алгоритмов в зависимости от требований к работам. Получена программа, рассчитывающая угловые скорости звеньев и относительные углы при перемещении из заданного положения в конечное. В данном исследовании приведены различные угловые скорости и углы конечной точки ноги. Основное внимание в работе уделяется механическому дизайну, расчету кинематического анализа, функции Якобиана и экспериментальным данным четырехногих роботов в среде моделирования MATLAB.

Ключевые слова: прямая кинематика; обратная кинематика; якобианский анализ; четвероногие роботы; параметр D-H; MATLAB; моделирование.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-32-41

Ссылка для цитирования: Яцун С.Ф., Ян Найнг Со. Кинематический и якобианский анализ для четырехногого робота // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 32-41.

Введение

За последние десятилетия мировая робототехника и технологии, связанные с ними, развиваются стремительными темпами, приобретая все большую возможность использования мобильных роботов в различных областях человеческой деятельности. Для решения такого рода задач были разработаны несколько различных типов мобильных роботов, в том числе колесные роботы, гусеничные роботы, шагающие роботы, беспилотные летательные аппараты. В данной работе рассматривается мобильный шагающий робот с четырьмя ногами [1].

Робот с четырьмя ногами обладает множеством преимуществ перед колесными роботами, в том числе большей адаптируемостью к пересеченной местности и превосходной проходимостью [2]. Колесные роботы могут двигаться быстрее четырехногих роботов, но для этого они требуют более плоской поверхности. Таким роботам сложнее дать перемещение по неоднородной и по пересеченной местности. Поэтому область робототехники активно исследуется и развивается. Развитие четырехногих роботов – очень важная и широкая область научных исследований. В настоящее время

четырехногие роботы пользуются популярностью, их структура очень сложна, а так же сложно производить контроль над ходьбой и бегом. Меньше энергопотребление, хорошая стабильность, и движение по неровной и пересеченной местности – главные преимущества четвероногих роботов. Низкая скорость, сложность в построении и управлении, требуют бортовой мощности – это ограничения четырехногих роботов [3].

В последние годы было разработано очень мало четвероногих механизмов [4]. Было выполнено множество усовершенствований с момента появления первого, полностью управляемого компьютером робота “Phoneu Pony”, сделанного в университете Южной Калифорнии в 1966 году [5]. С тех пор дизайн шагающего робота, который использовался в Boston Dynamics, изменился и были выпущены прототипы вездеходных роботов BigDog [6], AlphaDog [7], с конечностями с двумя и тремя степенями свободы, которые были использованы в SCOUT I & II robots [8]. Среди них такие роботы, как BISAM [9], WARP1 [10] и т.д. Четырехногие роботы начали разрабатываться во всем мире. Самая продвинутая нога робота-BidDog была сделана в Boston Dynamics 27 марта 2008 года.

Важнейшими механическими характеристиками робота с четырьмя ногами являются фундаментальная компоновка ноги, контроль положения и ориентации каждой ноги. Поэтому положение и ориентация каждой ноги могут быть определены методами кинематики. Кинематика – это отношения между положениями, скоростями и ускорениями звеньев робота [11]. В четырехногих роботах должна быть стабильность и хорошая кинематическая модель [3].

При создании кинематической модели принимаются следующие допущения:

- а) поверхность соприкасается с чередующейся парой ног;
- б) тело удерживается на постоянной высоте и параллельно плоскости земли во время движения;
- с) предполагается, что центр тяжести тела находится в геометрическом центре тела [12].

Кинематическая модель может создаваться с использованием методов прямой и обратной кинематики системы четырехногих роботов. Этот инструмент использует методы Денавита - Хартенберга (ДН) и Эйлера-Лагранжа, а так же функцию Якобиана для расчета кинематических характеристик четвероногих роботов. Кроме того, он автоматически генерирует полезный код для этих моделей, таких как М-файлы, модель Simulink и C/C++ код, что позволяет легко интегрировать его с другими популярными наборами инструментов MATLAB или средами C/C++ [13].

Кинематическая модель

Кинематическая задача связана с движением роботов. Она не учитывает силы, которые вызывают движение. Она разделяется на две категории:

- Прямая кинематика.
- Обратная кинематика.

Прямая задача кинематики позволяет вычислить конечную эффекторную координату, зная достигнутые углы в шарнирах. Наиболее часто используемыми методами кинематического моделирования являются методы Денавита-Хартенберга (D-H) и последовательного смещения винтов. В подходе D-H формулируются

первые параметры D-H. Имея эти параметры, кинематическую модель можно

описать для любого робота. Напротив, обратная кинематика вычисляет требуемые углы для заданных координат и является более сложной, чем прямая кинематика [14, 17, 18, 19].

Параметры Д-Н для четырехлинейной роботизированной системы, определенной для назначенных кадров, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр ДН для модели четырехногого робота

Порядковый номер	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	L_2	90	d	θ_2
3	L_3	90	0	θ_3

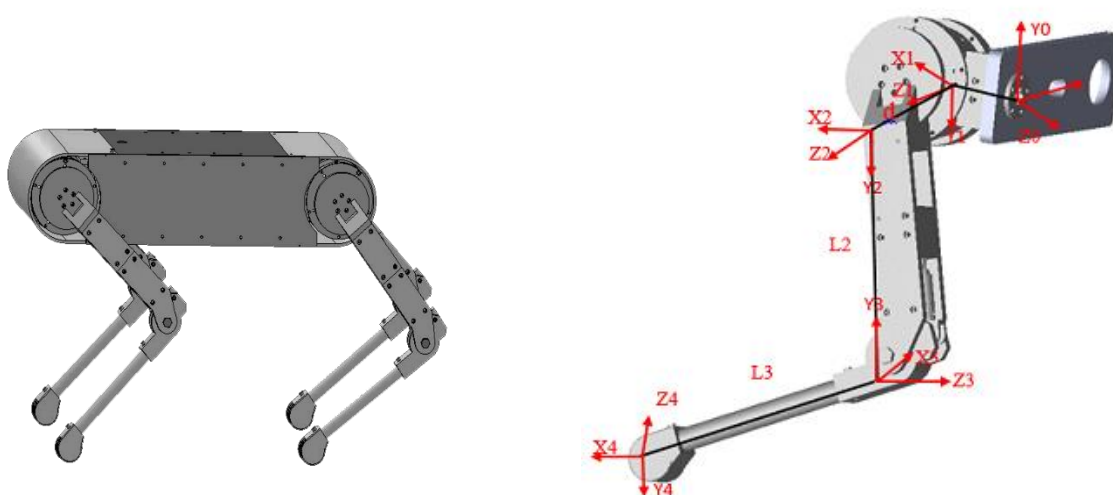


Рис. 1. 3D модель и координаты ноги

Каждая матрица преобразования (T_1^0, T_2^1, T_3^2) взята из таблицы 1: параметр ДН.

$$T_1^0 = \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$T_2^1 = \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & l_2 \cdot \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & l_2 \cdot \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$T_3^2 = \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & \sin(\theta_3) & 0 & l_3 \cdot \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & -\cos(\theta_3) & 0 & l_3 \cdot \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Нам нужно найти матрицу преобразования T_3^0 системы координат ноги робота относительно базовой системы координат, заданной следующим образом:

$$T_3^0 = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Таблица 2

Элементы Прямой Кинематической Матрицы

$r11=c\theta1(c\theta2c\theta3- s\theta1s\theta3)$
$r12=c\theta1(c\theta2s\theta3+ c\theta3s\theta2)-s\theta1$
$r13=0$
$px=- ds\theta1+ l2c\theta2c\theta1+ l3c\theta1c(\theta2+\theta3)$
$r21= s\theta1(c\theta2c\theta3- s\theta1s\theta3)$
$r22= c\theta1+s\theta1(c\theta2s\theta3+ c\theta3s\theta2)$
$r23=0$
$py= dc\theta1+ l2s\theta1c\theta2+ l3s\theta1c(\theta2+\theta3)$
$r31=-c\theta2s\theta3- c\theta3s\theta2$
$r32=c\theta2c\theta3-s\theta2s\theta3$
$r33=0$
$pz=- l2s\theta2- l3s(\theta2+\theta3)$

Общий вектор положения одной ноги для модели робота с четырьмя ногами задается

$$\begin{bmatrix} px \\ py \\ pz \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ds\theta1 + l2c\theta2c\theta1 + l3c\theta1c(\theta2 + \theta3) \\ dc\theta1 + l2s\theta1c\theta2 + l3s\theta1c(\theta2 + \theta3) \\ -l2s\theta2 - l3s(\theta2 + \theta3) \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $s\theta = \sin(\theta)$, $c\theta = \cos(\theta)$,
 $c(\theta2 + \theta3) = \cos(\theta2) \cos(\theta3) - \sin(\theta2) \sin(\theta3)$ and $s(\theta2 + \theta3) = \sin(\theta2) \cos(\theta3) + \cos(\theta2) \sin(\theta3)$.

Поскольку четыре ноги робота симметричны, мы можем вычислить прямую и обратную кинематическую модель для одной ноги, а затем применить ее к оставшимся 3 ногам. Каждая нога имеет 3 степени свободы, поэтому на четыре ноги имеется 12 степеней свободы [12].

Обратная кинематическая модель

Прямая кинематика, как известно, вычисляет положение конечной точки угла ($\theta1, \theta2$ и $\theta3$). В данной работе метод Обратной кинематики реализуется в аналитической форме. Обратная кинематика используется для вычисления углов соединения, которые достигают желаемого

положения и ориентации конечного эф-фектора относительно базовой рамы. Оба исследованных робота имеют два осевых смещения (по оси X и Z). Задача обратной кинематики приводит к наборам совместных углов в зависимости от конфигурации робота [15]. Для каждого рассчитанного, математического выражения, может не быть физического решения. Кроме того, может быть более одного решения для конечной точки для ног в желаемом положении. По этой причине ноги робота (1 и 3) и ноги робота (2 и 4) реализованы в одной и той же кинематической структуре, но в разных конфигурациях [3].

$$\theta_1 = \text{Atan}(px, py) + \text{Atan}(\sqrt{px^2 + py^2 - d^2}, d). \quad (6)$$

$$\theta_2 = \text{Atan}(\sqrt{px^2 + py^2 - d^2}, pz) - \text{Atan}(l2 + l3c3, l3s3). \quad (7)$$

$$\theta_3 = \text{Atan}(D, \sqrt{1 - D^2}) \times \times(\text{Legs for 2 and 4}). \quad (8)$$

$$\theta_3 = \text{Atan}(D, -\sqrt{1 - D^2}) \times \times(\text{Legs for 1 and 3}). \quad (9)$$

$$D = (px^2 + py^2 - d^2 + pz^2 - l2^2 - l3^2) / (2 l2 l3). \quad (10)$$

Якобианская обратная кинематика

Задача обратной кинематики для стационарных или мобильных манипуляторов заключается в вычислении конфигурации манипулятора, соответствующей заданному расположению конечного эффектора в координатном пространстве задач. Как правило, эта проблема решается численно с помощью алгоритмов инверсной кинематики Якобиана, из которых наиболее широко используется алгоритм псевдо-обратного Якобиана [16]. Якобиан является одним из наиболее важных анализов для управления плавностью траектории и выполнения в выводе динамического уравнения движения робота. При управлении роботом для перехода ноги из одного положения в целевое не достаточно просто определить стык и конечную точку ноги по координатам. Поэтому возникает по-

требность высчитать скорость положения конечной точки и угловые скорости рассчитываемой конечности. Матрица Якобиана вычисляется на основе прямого кинематического анализа. По уравнению матрицы Якобиана даны прямые кинематические.

$$\dot{X} = J \dot{\theta} \quad (11)$$

Нога вектора конечной скорости (X) линейно пропорциональна элементам совместного вектора скорости, где матрица пропорциональности $6 \times n$ $J(q)$ называется матрицей Якоби робота.

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$J(q) = \begin{bmatrix} J_v \\ J_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0^0(d_3^0 - d_0^0) & R_1^0(d_3^0 - d_1^0) & R_2^0(d_3^0 - d_2^0) \\ R_0^0 & R_1^0 & R_2^0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$J(q) = [J1 \quad J2 \quad J3] \quad (15)$$

$$J1 = \begin{pmatrix} dc(\theta_1) - l2s(\theta_1)c(\theta_2) - l3s(\theta_1)c(\theta_1 + \theta_2) \\ -ds(\theta_1) + l2c(\theta_1)c(\theta_2) + l3c(\theta_1)c(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$J2 = \begin{pmatrix} -l2s(\theta_2)c(\theta_1) - l3c(\theta_1)s(\theta_1 + \theta_2) \\ -l2s(\theta_1)s(\theta_2) - l3s(\theta_1)s(\theta_1 + \theta_2) \\ -l2c(\theta_2) - l3c(\theta_1 + \theta_2) \\ -s(\theta_1) \\ c(\theta_1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$J3 = \begin{pmatrix} -l3c(\theta_1)s(\theta_1 + \theta_2) \\ -l3s(\theta_1)s(\theta_1 + \theta_2) \\ -l3c(\theta_1 + \theta_2) \\ -s(\theta_1) \\ c(\theta_1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Моделирование четырехногого робота и данные эксперимента

При моделировании в пакете MATLAB рассматривалась одна нога модели, проводился расчет угловой скорости и относительных углов. Функциональная программа MATLAB состоит из различ-

ных алгоритмов в зависимости от требований к работам. Теперь эта функциональная программа выводит угловую скорость и относительный угол для ноги робота с помощью кинематического анализа и метода обратной кинематики Якоби. На рисунке 2 показано моделирование.

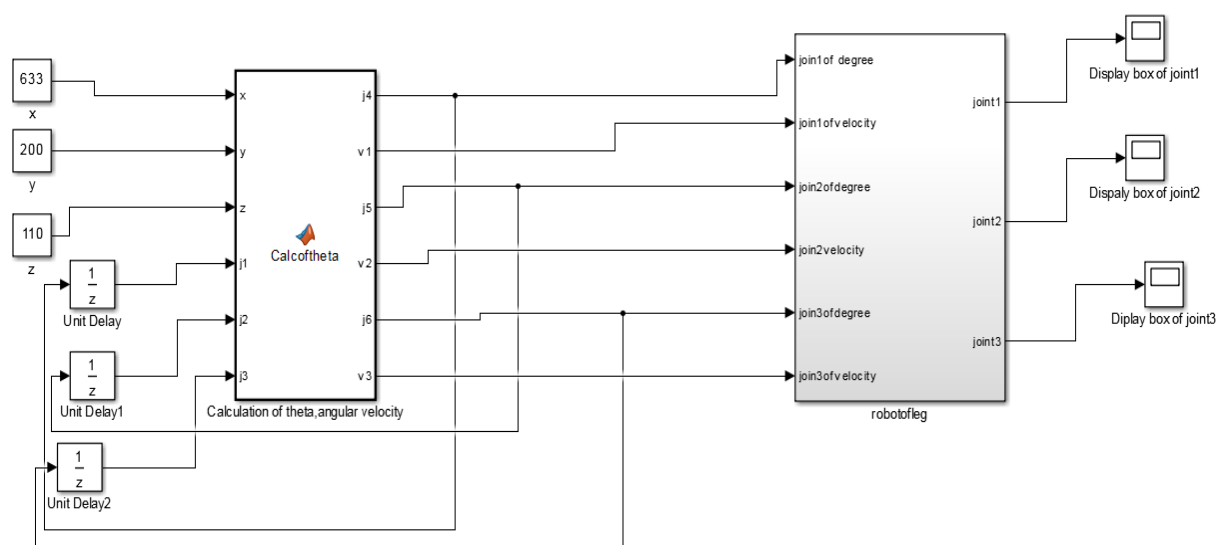
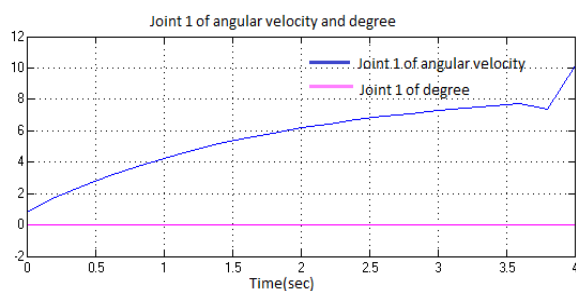
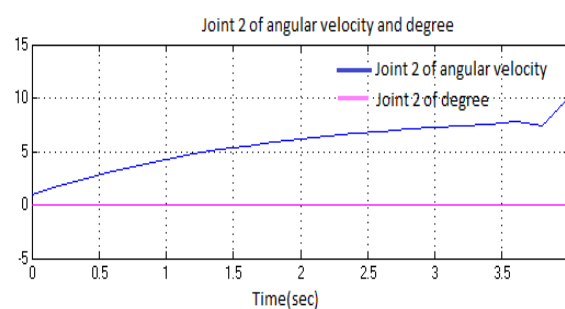


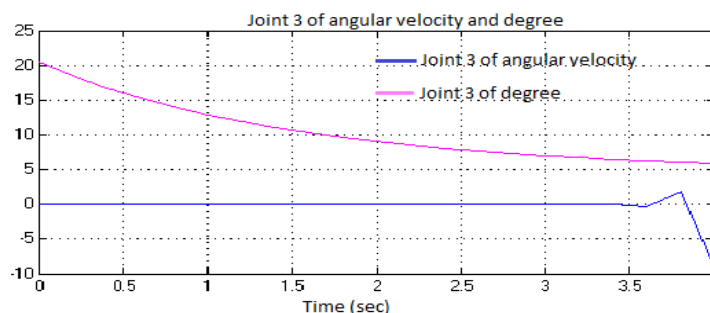
Рис. 2. Моделирование четырехногого робота



а)



б)



в)

Рис. 3. а – угловая скорость и относительный угол 1-й результат; б – угловая скорость и относительный угол 2-й результат; в – угловая скорость и относительный угол 3-й результат

По результатам данного эксперимента, вычислена угловая скорость и относительный угол рассматриваемой конечности в положении конечной точки [628,0,110] и при перемещении в требуемое положение [633,200,110]. На рисунке 3 показаны угловая скорость и относительный угол, измеренные для каждого из звеньев.

Выводы

В этом исследовании рассмотрены прямая кинематика, обратная кинематика и Якобианский анализ робота с четырьмя ногами. Метод Денавита-Хартенберга используется при решении прямой кинематической задачи, аналитическим способом решена обратная кинематическая задача. Якобианский анализ используется для определения конечных положений, скоростей и угловых скоростей звеньев. Кинематический и якобианский анализ проведены с использованием Simulink в программном пакете MATLAB. Программа разработана, чтобы получить значение угловой скорости звеньев и их положений. Результаты представлены в графической форме. В результате программа, представленная в этом исследовании, эффективно выполняет кинематический анализ и звеньев положения конечной точки и угловые скорости звеньев ноги робота. Далее будет проведен динамический анализ, четырехного робота при ходьбе.

Список литературы

1. Математическое моделирование мобильного гусеничного робота / С.Ф. Яцун, Чжо Пью Вей, А.В. Мальчиков, Е.С. Тарасова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.

2. Gor M. M., Pathak P. M. and J-M Yang., Dynamic Modeling and Simulation of Compliant Legged Quadruped Robot // Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20 2013, pp 7 – 11.

3. Muhammed Arif Sen, Veli Bakircioglu, and Mete Kalyoncu., Inverse Kinematic Analysis Of A Quadruped Robot // International journal of scientific & technology research. September 2017. Volume 6, issue 09, 2277-8616, Pp. 285 – 289.

4. Zielinska T., John Heng ., Mechanical design of multifunctional quadruped // Mechanism and Machine Theory. 2003. № 38. P. 463 - 478.

5. Song S. M., Waldron K. J., *Machines that walk: The adaptive suspension vehicle*, MIT Press, Cambridge (1989).

6. Mary Anne Simpson., Boston Dynamics: Quadruped Rough Terrain Robot Prototype (2008, March 27). 2017, pp. 1 – 2. URL: <https://phys.org/news/2008-03-boston-dynamics-quadruped-rough-terrain.html>.

7. Nancy Owano ., Boston Dynamics unwraps military robot AlphaDog (w/ video) (2011, October 3). 2017, pp 1 – 2. URL: <https://phys.org/news/2011-10-boston-dynamics-unwraps-military-robot.html>.

8. Robert F. Battaglia., Design of the SCOUT II Quadruped with Preliminary Stair-Climbing // M.E. Thesis, Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Canada, May 1999.

9. K. Berns and W. Ilg ., Mechanical construction and computer architecture of the four-legged walking machine BISAM //

ASME Transactions on Mechatronics, 4 (1) (1999) 32-38.

10. C. Ridderstom and J. Ingvast ., Quadraped posture control based on simple force distribution-a notion and a trial // *IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems*. Mad, Hawaii, USA (2001). P. 2326-2331.

11. Wai Mar Myint, Theingi., Kinematic Control of Pick and Place Robot Arm // *International Journal of Engineering and Techniques*. July – Aug 2015. Vol. 1. Is. 4. P. 63 – 70.

12. Smita A. Ganjare, V S Narwane and Ujwal Deole., Kinematic Modeling of Quadraped Robot // *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*. 2013. Vol. 2, is. 4. P. 21 – 26.

13. Emmanuel Dean-Leon, Suraj Nair and Alois Knoll., User friendly MatLab-toolbox for symbolic robot dynamic modeling used for control design 2013. URL: // <http://ieeexplore.ieee.org/document/6491292/>

14. Ahmed Kharidege, Ding Jianbiao, Yajun Zhang., Performance Study of PID and Fuzzy Controllers for Position Control of 6 DOF arm Manipulator with Various Defuzzification Strategies // *MATEC Web of Conferences* 77, 01011 (2016),pp 1 - 6.

15. Adrian-Florin NICOLESCU, Florentin-Marian ILIE and Tudor-George ALEXANDRU., forward and inverse kinematics study of industrial robots taking into account constructive and functional parameter's modeling // *Proceedings in Manufacturing Systems*. 2015. Vol. 10, is. 4. P. 157–164.

16. Krzysztof Tcho'n, *Member IEEE.*, Optimal Extended Jacobian Inverse Kinematics Algorithms for Robotic Manipulators // *IEEE Transactions on robotics*. 2008. Vol. 24, № 6. P. 1440 - 1552.

17. Анализ конструкций, принципы создания, основы моделирования / С.Ф. Яцун, С.И. Савин, О.В. Емельянова, А.С. Яцун, Р.Н. Турлапов. Курск, 2015. С. 32 – 37.

18. Яцун С. Ф. Савин С. И., Кинематический анализ многозвенного робота для перемещения в трубопроводах // *Управляемые вибрационные технологии и машины: сб. науч. ст. Ч. 2. Курск, 2014. С. 256–266.*

19. Яцун С.Ф., Тарасова Е.С., Кинематический анализ движения руки в локтевом суставе при реабилитации методами механотерапии // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13, №4(4). С. 1215-1220.

Поступила в редакцию 25.07.18

UDC 531.1

S.F. Jatsun, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: teormeh@inbox.ru)

Yan Naing Soe, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: boyan.243@gmail.com)

KINEMATIC AND JACOBIAN ANALYSIS APPROACH FOR THE FOUR-LEGGED ROBOT

This paper presents forward kinematics, inverse kinematics and Jacobian analysis of four-legged robot research. The kinematics analysis is the main problem of the legged robot. The four-legged robots are very complex more than wheeled robots. In this study, the four-legged robot of each leg calculates Denavit-Hartenberg (D-H) method, that is used for forward kinematics and the inverse is used the geometrical and mathematical methods. The Kinematic divided into two categories Forward Kinematic and Inverse Kinematics. The forward kinematic is calculated we knew the leg of endpoint position for the angles (θ_1, θ_2 and θ_3). . Inverse kinematics is used to compute the joint angles which will achieve a desired position and orientation of the end-effector relative to the base frame. The Jacobian is one of the most important analyses for controlling smooth trajectory planning and execution in the derivation of the dynamic equation of robot motion. For calculation is used MATLAB software and robot modeling is used Simulink toolbox in MATLAB software. A program is obtained that calculate joint of angular velocity and angles to move from the desired position to target position. In this study are given different angular velocity and angle of the endpoint of the leg. The work mainly focuses on mechanical design, calculation of kinematic analysis, Jacobian function and experiment data of four-legged robots in MATLAB simulation.

Key words: Forward kinematics; Inverse kinematics; Jacobian analysis; four-legged robots; D-H parameter, MATLAB, Simulation and Simulink.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-32-41

For citation: Jatsun S.F., Yan Naing Soe. Kinematic and Jacobian Analysis Approach for the Four-Legged Robot. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 32-41 (in Russ.).

Reference

1. Jacun S.F., Chzho P'o Vej, Mal'chikov A.V., Tarasova E.S. Matematicheskoe modelirovanie mobil'nogo gusenichnogo robota. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6.
2. Gor M. M., Pathak P. M., Yang J.-M., Dynamic Modeling and Simulation of Compliant Legged Quadruped Robot. Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20 2013, pp 7 – 11.
3. Muhammed Arif Sen, Veli Bakircioglu, and Mete Kalyoncu., Inverse Kinematic Analysis Of A Quadruped Robot. *International journal of scientific & technology research*, september 2017, vol. 6, is. 09, pp. 285 – 289.

4. Zielinska T., John Heng. Mechanical design of multifunctional quadruped. *Mechanism and Machine Theory*, 2003, 38, pp. 463 - 478.
5. Song S. M., Waldron K. J., *Machines that walk: The adaptive suspension vehicle*, MIT Press, Cambridge, 1989.
6. Mary Anne Simpson., Boston Dynamics: Quadruped Rough Terrain Robot Prototype (2008, March 27). 2017, pp 1 – 2. URL: <https://phys.org/news/2008-03-boston-dynamics-quadruped-rough-terrain.html>.
7. Nancy Owano, Boston Dynamics unwraps military robot AlphaDog (w/ video) (2011, October 3). 2017, pp 1 – 2. URL: <https://phys.org/news/2011-10-boston-dynamics-unwraps-military-robot.html>.
8. Robert F. Battaglia. Design of the SCOUT II Quadruped with Preliminary

Stair-Climbing. M.E. Thesis, Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Canada, May 1999.

9. Berns K., Ilg W. Mechanical construction and computer architecture of the four-legged walking machine BISAM. ASME Transactions on Mechatronics, 1999, no. 4 (1), pp. 32-38.

10. Ridderstom C., Ingvast J. Quadruped posture control based on simple force distribution—a notion and a trial. IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems, Mad, Hawaii, USA, 2001, pp. 2326-2331.

11. Wai Mar Myint, Theingi., Kinematic Control of Pick and Place Robot Arm. International Journal of Engineering and Techniques, July – Aug 2015, vol. 1, is. 4, pp. 63 – 70.

12. Smita A. Ganjare, V S Narwane and Ujwal Deole., Kinematic Modeling of Quardruped Robot. International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME), 2013, vol. 2, iss. 4, pp. 21 – 26.

13. Emmanuel Dean-Leon, Suraj Nair and Alois Knoll., User friendly MatLab-toolbox for symbolic robot dynamic modeling used for control design 2013. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6491292/>.

14. Ahmed Kharidege , Ding Jianbiao, Yajun Zhang ., Performance Study of PID and Fuzzy Controllers for Position Control

of 6 DOF arm Manipulator with Various Defuzzification Strategies. MATEC Web of Conferences 77, 01011 (2016), pp. 1 - 6.

15. Adrian-Florin NICOLESCU, Florentin-Marian ILIE and Tudor-George ALEXANDRU., forward and inverse kinematics study of industrial robots taking into account constructive and functional parameter's modeling. Proceedings in Manufacturing Systems, 2015, vol. 10, is. 4, pp. 157–164.

16. Krzysztof Tcho'n, Member IEEE., Optimal Extended Jacobian Inverse Kinematics Algorithms for Robotic Manipulators. IEEE transactions on robotics, december 2008, vol. 24, no. 6, pp. 1440 - 1552.

17. Jacun S.F., Savin S.I., Emel'janova O.V. Jacun A.S., Turlapov R.N. Analiz konstrukcij, principy sozdaniya, osnovy modelirovaniya. Kursk, 2015, pp. 32 – 37.

18. Jacun S. F. Savin S. I., Kinematicheskij analiz mnogozvennogo robota dlja peremeshheniya v truboprovodah. Upravlyaemye vibracionnye tehnologii i mashiny. Cb. nauch. st. Ch. 2. Kursk, 2014, pp. 256–266.

19. Jacun, S.F. Tarasova E.S., Kinematicheskij analiz dvizheniya ruki v loktevom sustave pri reabilitacii metodami mehanoterapii. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2011, vol. 13, no. 4(4), pp. 1215-1220.

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

А.С. Переверзев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: chaser-93@yandex.ru)

А.С. Осьминина, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

И. Ю. Григоров, аспирант, ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова» (Курск, Россия) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ПОРОШКА СВИНЦОВОЙ БРОНЗЫ, ПОЛУЧЕННОГО В ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ

Статья посвящена актуальной в настоящее время проблеме переработки отходов токопроводящих материалов, в частности свинцовой бронзы, в больших количествах скапливающейся на предприятиях. Перспективным на сегодняшний день методом переработки любого токопроводящего материала, отличающимся безотходностью, экологической чистотой процесса, малыми энергозатратами, является метод электроэрозионного диспергирования.

Сущность метода электроэрозионного диспергирования заключается в разрушении токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. В зоне разряда под действием высоких температур происходит нагрев, расплавление и частичное испарение материала, в результате чего образуются мелкодисперсные частицы порошка. При этом на производительность процесса получения порошковых материалов будут влиять электрические параметры установки: напряжение на электродах, емкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов.

В статье представлены результаты анализа частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде из отходов, с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Analysette 22 NanoТес». Экспериментально установлено, что средний размер частиц порошковой свинцовой бронзы составляет 9,73 мкм, арифметическое значение – 9,731 мкм. Также установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 7,188 мкм составляет 1,50.

Ключевые слова: свинцовая бронза; производительность; диспергирование; напряжение; частота; емкость.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-42-49

Ссылка для цитирования: Размерный анализ электроэрозионного порошка свинцовой бронзы, полученного в дистиллированной воде / Е.В. Агеев, А.С. Переверзев, А.С. Осьминина, И. Ю. Григоров // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 42-49.

Введение

Свинцовая бронза нашла широкое применение в машиностроении. Свинцовая бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, хорошо противостоит ударным нагрузкам, а также отличается высокой прочностью и тугоплавкостью. Бронза используется в ракетной технике, авиации, судостроении и других отраслях промышленности. Бла-

годаря устойчивости к механическому истиранию и высокой коррозионной стойкости бронзовая продукция применяется для изготовления деталей машин и приборов, участвующих в подвижных узлах в процессе трения. Актуальной на сегодняшний момент проблемой является переработка отходов свинцовой бронзы в порошки.

Существует несколько способов получения порошковых материалов на ос-

нове медных сплавов. Известен способ изготовления порошкового материала на основе меди (Патент РФ №2458166), в частности способ изготовления порошковых оловянистых бронз при утилизации отходов порошковых формовок. В высокоэнергетической мельнице активируют предварительно измельченные до размера менее 5 мм и пропитанные керосином отходы порошковых формовок на основе меди с помощью размольных шаров, покрытых ферромарганцем в количестве 10 мас.%, в среде, содержащей 10 мас.% керосина. Недостатком известного способа являются высокая энергоемкость процесса получения порошковых материалов, низкая экологичность, высокая себестоимость.

Известен способ получения порошка распылением расплава бронзы водой, воздухом или водо-воздушной смесью.

В этом ряду особый интерес представляет метод переработки практически любого токопроводящего материала, в том числе и отходов свинцовой бронзы, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса – метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1-11].

Для разработки технологий практического применения порошковой свинцовой бронзы, полученной из отходов, и оценки эффективности её использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью работы являлось исследование гранулометрического состава частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной методом электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки БрС30 в дистиллированной воде.

Материалы и методы исследования

Для реализации намеченных исследований были выбраны отходы свинцовой бронзы марки БрС30 (ГОСТ 493-79). В качестве рабочей жидкости – дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72). Для получения нанодисперсного порошка на экспериментальной установке методом электроэрозионного диспергирования использовали отходы свинцовой бронзы (ГОСТ 493-79) в виде стружки.

Отходы загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой. При этом использовали следующие электрические параметры установки:

- частота следования импульсов 95...105 Гц;
- напряжение на электродах 190...200 В;
- емкость конденсаторов 65,5 мкФ.

В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Частицы порошковой свинцовой бронзы были проанализированы с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Analysette 22 NanoTec».

Лазерный анализатор размеров частиц «Analysette 22 NanoTec» определяет распределение по размерам частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях. По сравнению с „классическими“ методами измерения – рассевом, седиментацией либо анализом по изображению, – лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ, таких, как краткое время анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений и высокая универсальность. Диапазон измерений «Analysette 22

NanoТес» составляет от 0,01 до 2000 мкм. В анализаторах, определяющих распределение частиц по размерам посредством лазерной дифракции, используется физический принцип рассеяния электромагнитных волн. Конструкция состоит из лазера, через измерительную ячейку направленного на детектор. При помощи диспергирующего устройства частицы подают в измерительную ячейку и проходят сквозь лазерный луч. Свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор. По распределению рассеянного света при помощи комплексной математики рассчитывают распределение частиц по их размерам. В результате получают объемные доли, соответствующие эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции. Благодаря встроенной ультразвуковой ванне (объем около 500 мл, энергия и частота ультразвука 80 Вт/36 кГц), даже труднодиспергируемые пробы могут анализироваться без применения дополнительного оборудования. Цифровой ультразвуковой генератор всегда поддерживает установленную мощность на оптимальном и постоянном уровне. Нижний предел чувствительности при малых количествах мелких и крупных частиц в распределениях их по размерам (в пределах диапазона измерений) - 3 %. Воспроизводимость согласно ISO 13320-1 $d_{50} \leq 1 \%$.

Методика исследования (ФР 1.27.2009.06762 «Методика выполнения измерений размера частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях в нанометровом и коллоидном диапазонах с использованием эффекта динамического рассеяния света»). Пробоподготовка: диспергирование пробы в жидкости. Измерение фона – для того, чтобы снизить влияние измерительной жидкости перед каждым измере-

нием проводят фоновое измерение. Любое загрязнение от предыдущих измерений измеряется и устраняется его влияние на текущий результат. Измерение распределение частиц по размеру: образец исследуемого объемом около 1-5 г помещали в модуль для диспергирования в жидкости (объемом 500 мл). Измерение начиналось автоматически, как только значение абсорбции достигало указанной величины. Параметры измерения: Тип измерения – по методу Фраунгофера; диапазон измерения – 0,1 [мкм] – 1021,87 [мкм]; разрешение – 102 канала (20/383 мм); продолжительность измерения – 100 (сканов); регуляризация – средняя модель [12-17].

Результаты исследования и обсуждение

Результаты измерения размера частиц представлены на рисунке 1 и в таблицах 1,2.

На рисунке 1 представлена интегральная кривая и гистограмма: интегральная кривая в координатах $Q3(x) = f(\mu m)$ (левая шкала) - каждая точка на кривой, сколько % образца имеет размер частиц меньше либо равно данному. Гистограмма в координатах $q3(x) = f(\mu m)$ (правая шкала) – количество образца с данным размером частиц.

Установлено, что средний размер частиц составляет 9,73 мкм, арифметическое значение – 9,731 мкм.

Информация дифракционных картин может использоваться не только для определения размера частиц, но и для анализа их формы. Частицы несферической формы рассеивают излучение в их предпочтительных пространственных направлениях. Если в лазерный пучок попадает не слишком большое количество частиц, на основе получаемой информации может выполняться анализ их формы.

Таблица 1

Результаты исследования распределения по размерам частиц

Фракционный состав, %	Размер частиц меньший или равный указанному, мкм
10	0,898
20	1,614
30	2,431
40	4,096
50	7,188
60	10,158
70	13,72
80	16,831
90	20,519
95	24,832

Таблица 2

Результаты исследования диаметральных показателей частиц

Средние показатели	Размер, мкм
Объемный средний диаметр	9,73
Средний диаметр по площади поверхности	2,27
Средний диаметр по отношению к объему	0,77
Средний диаметр по отношению к площади	0,45
Средний диаметр по отношению к длине	0,33

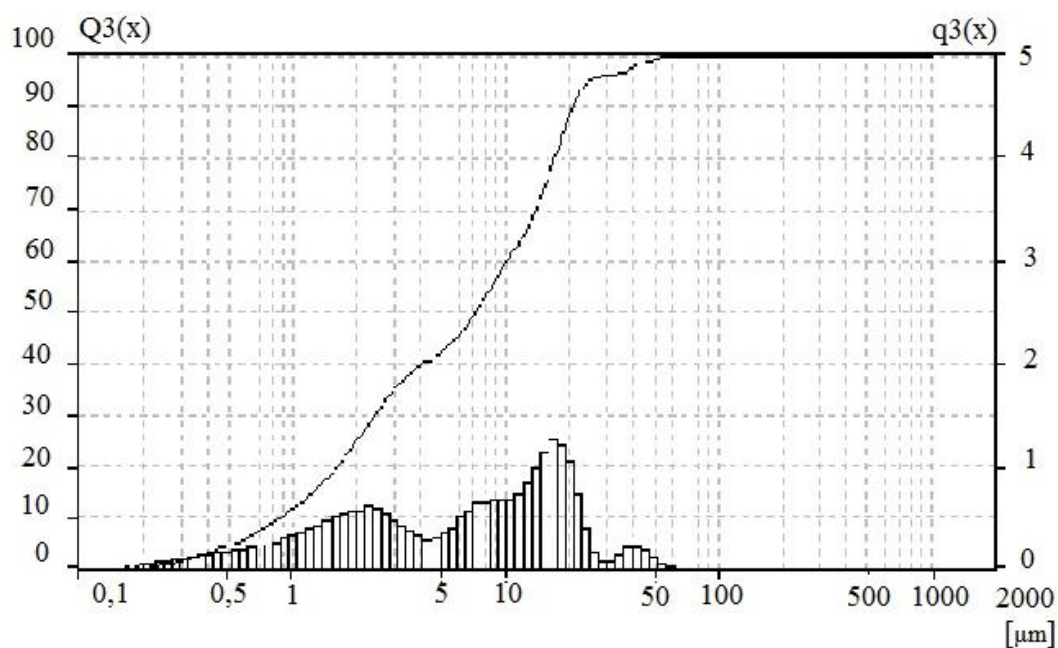


Рис. 1. Распределение по размерам частиц порошковой свинцовой бронзы

За счет уникальной возможности перемещения в сходящемся лазерном пучке, при анализе формы частиц измерительная ячейка подводится ближе к детектору, благодаря чему первый дифракционный максимум излучения, рассеянного частицами среднего размера, попадает в зоны детектора, чувствительные к форме частиц. Поскольку диаметр сходящегося лазерного пучка уменьшается по мере приближения к детектору, в этом месте в лазерном пучке находится точно то небольшое количество частиц, которое необходимо для анализа их формы. Азимутально (лучеобразно) расположенные элементы детектора регистрируют флуктуации рассеянного излучения, на основе которых компьютерной программой анализируется форма частиц. Программа позволяет определять отношение элонгации для значения $\times 50$ ранее измеренного распределения, а также судить о «гранености» частиц. На рисунке 2 представлена форма микрочастиц порошка свинцовой бронзы.

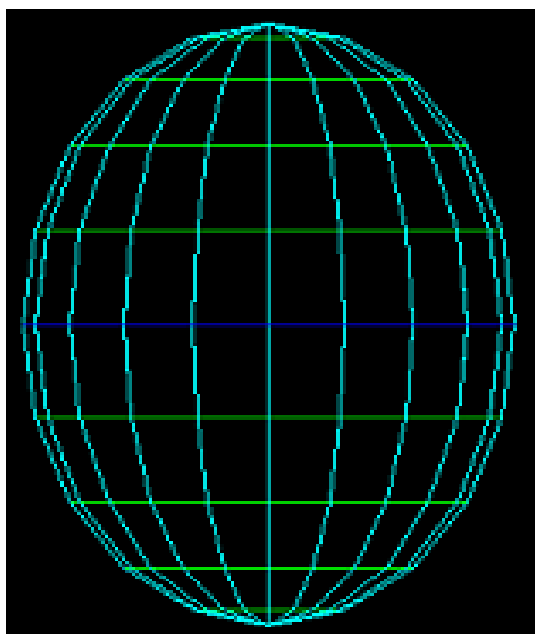


Рис. 2. Параметры формы микрочастиц порошка

Установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 7,188 мкм составляет 1,50.

Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на исследование гранулометрического состава частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной электроэрозионным диспергированием отходов свинцовой бронзы марки БрС30 в дистиллированной воде при следующих электрических параметрах: частота следования импульсов 95...105 Гц; напряжение на электродах 190...200 В; емкость конденсаторов 65,5 мкФ определены: средний размер частиц, удельная площадь поверхности и коэффициент элонгации (удлинения) частиц, которые позволят определить рациональную область их практического применения. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при разработке перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения изношенных деталей машин [12-14].

Список литературы

1. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5-2. С. 238-240.
2. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Воробьев Е.А. Рентгеноспектральный микроанализ порошка, полученного из отходов быстрорежущей стали электроэрозионным диспергированием в керосине // Вестник машиностроения. 2014. № 11. С. 71-72.

3. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов // Вестник машиностроения. 2014. № 9. С. 63-64.

4. Применение порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении деталей авто-тракторной техники композиционными гальваническими покрытиями / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, В.И. Серебровский // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 73-75.

5. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Твердосплавные электроэрозионные порошки: получение, характеристики и применение. Курск, 2014.

6. Studing tungsten-containing electro-erosion powders and alloys synthesized from them / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, V.Yu. Karpenko, A.S. Osminina // Журнал нано-и электронной физики. 2014. Т. 6. № 3. С. 03049-1-03049-3.

7. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2014. № 5. С. 50-53.

8. Получение заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Е.В. Агеев,

Е.В. Агеева, В.Ю. Карпенко, А.С. Осминина // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 24-27.

9. Определение основных закономерностей процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, А.С. Чернов, Г.С. Маслов, Е.И. Паршина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1 (46). С. 85-90.

10. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44.

11. Латыпов Р.А., Денисов В.А., Агеев Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2 (5). С. 141-146.

12. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск, 2008.

13. Агеев Е.В. Управление производством и материально-техническое обеспечение на автомобильном транспорте. Курск, 2008.

14. Агеев Е.В., Сальков М.Е. Особенности технологии восстановления шеек коленчатых валов двигателей камаз-740 с использованием твердосплавных порошков // Технология металлов. 2008. № 3. С. 41-46.

Поступила в редакцию 14.05.18

UDC 621.762

E.V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: ageev_ev@mail.ru)

A.S. Pereverzev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: chaser-93@yandex.ru)

A.S. Osminina, Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: osminina-as@yandex.ru)

I.Yu. Grigorov, Post-Graduate Student, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov"
(Kursk, Russia) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

STUDY PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF ERODING POWDER LEAD BRONZES OBTAINED IN DISTILLED WATER

The article is devoted to the current problem of processing waste of conductive materials, in particular lead bronze, which accumulates in large quantities at enterprises. A promising method for processing any conductive material, characterized by wastelessness, ecological purity of the process, and low energy costs, is the method of electroerosive dispersion.

The essence of the method of electroerosive dispersion is the destruction of current-conducting material as a result of local exposure to short-term electrical discharges between the electrodes. In the discharge zone, under high temperatures, heating, melting and partial evaporation of the material occurs, resulting in the formation of finely dispersed powder particles. At the same time, the electrical parameters of the installation will affect the productivity of the process for obtaining powder materials: the voltage at the electrodes, the capacitance of the discharge capacitors, and the repetition rate.

The article presents the results of the analysis of particles of powdered lead bronze obtained by the method of electroerosive dispersion in distilled water from wastes, using the laser analyzer of particle sizes "Analysette 22 NanoTec". It has been experimentally established that the average particle size of powdered lead bronze is $9.73 \mu\text{m}$, the arithmetic value is $9.731 \mu\text{m}$. It was also found that the elongation coefficient (elongation) of particles with a size of $7.188 \mu\text{m}$ is 1.50.

Key words: cobalt alloy; electroerosion dispersion; powder; spark plasma sintering; porosity; additive technology.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-42-49

For citation: Ageev E.V., Pereverzev A.S., Osminina A.S., Grigorov I.Yu. Study Particle Size Distribution of Eroding Powder Lead Bronzes Obtained in Distilled Water. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 42-49 (in Russ.).

Reference

1. Ageev E.V., Semenixin B.A., Laty'pov R.A. Issledovanie vliyaniya e'lektricheskix parametrov ustanovki na process poroshkoobrazovaniya pri e'lektroe'rozionnom dispergirovanii otxodov tverdogo splava. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 5-2, pp. 238-240.

2. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorob'ev E.A. Rentgenospektral'ny'j mikroanaliz poroshka, poluchennogo iz otxodov by'stro-rezhushhej stali e'lektroe'rozionny'm dispergirovaniem v kerosine. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 11, pp. 71-72.

3. Ageeva E.V., Xor'yakova N.M., Ageev E.V. Issledovanie raspredeleniya mikrochastic po razmeram v poroshkax, poluchenny'x e'lektroe'rozionny'm dispergi-

rovaniem medny'x otxodov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 9, pp. 63-64.

4. Ageev E.V., Gadlov V.N., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Serebrovskij V.I. Primenenie poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roziionny'm dispergirovaniem otxodov tverd'x splavov, pri vostanovlenii i uprochnenii detalej avtotraktornoj tekhniki kompozicionny'mi gal'vanicheskimi pokry'tiyami. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2010, no. 4, pp. 73-75.

5. Ageeva E.V., Ageev E.V., Latypov R.A. Tverdosplavny'e e'lektroe'roziionny'e poroshki: poluchenie, xarakteristiki i primeneniye, Kursk, 2014.

6. Ageev E.V., Ageeva E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing tungsten-containing electroerosion powders and alloys synthesized from them. *Zhurnal nano- i e'lektronnoj fiziki*, 2014, vol. 6, no. 3, pp. 03049-1-03049-3.

7. Ageev E.V., Latypov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roziionny'm dispergirovaniem vol'framsoderzhashhix otxodov. *Izvestiya vysshix uchebny'x zavedenij. Cvetnaya metallurgiya*, 2014, no. 5, pp. 50-53.

8. Ageev E.V., Ageeva E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Poluchenie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roziionny'm dispergirovaniem vol'framsoderzhashhix otxodov. *Up-*

rochnyayushhie tekhnologii i pokry'tiya, 2014, no. 4 (112), pp. 24-27.

9. Ageev E.V., Ageeva E.V., Chernov A.S., Maslov G.S., Parshina E.I. Opredeleniye osnovny'x zakonomernostej processa polucheniya poroshkov metodom e'lektroe'roziionnogo dispergirovaniya. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 1 (46), pp. 085-090.

10. Ageev E.V., Gadlov V.N., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Poluchenie iznosostojkix poroshkov iz otxodov tverd'x splavov. *Zagotovitel'ny'e proizvodstva v mashinostroenii*, 2010, no. 12, pp. 39-44.

11. Latypov R.A., Denisov V.A., Ageev E.V. Issledovanie i razrabotka tekhnologii vosstanovleniya vala rotora turbokompressora e'lektroiskrovoj obrabotkoj e'lektroe'roziionny'mi nanomaterialami. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 2 (5), pp. 141-146.

12. Ageev E.V. Osoby'e usloviya tekhnicheskoy e'kspluatatsii i e'kologicheskaya bezopasnost' avtomobilej. Kursk, 2008.

13. Ageev E.V. Upravleniye proizvodstvom i material'no-tekhnicheskoe obespecheniye na avtomobil'nom transporte. Kursk, 2008.

14. Ageev E.V., Sal'kov M.E. Osobennosti tekhnologii vosstanovleniya sheek kolenchaty'x valov dvigatelej KAMAZ-740 s ispol'zovaniem tverdosplavny'x poroshkov. *Texnologiya metallov*, 2008, no. 3, pp. 41-46.

УДК 504.06:711.4

Н.В. Бакаева, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: natbak@mail.ru)

Л.В. Чайковская, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: lili-zubkova@mail.ru)

ФУНКЦИЯ ГОРОДА "МИЛОСЕРДИЕ" КАК ГРАДООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР

Одним из фундаментальных принципов концепции биосферной совместимости городов и поселений является принцип удовлетворения рациональных потребностей их жителей через свои функции. Наиболее уязвимой группой городского населения являются инвалиды, люди с колясками, дети, относимые к маломобильной группе населения, т.е. это люди, испытывающие затруднения при перемещении в пространстве, получении услуг и информации. Важно, что численность маломобильной группы населения в последнее время стабильно возрастает, поэтому создание комфортных условий проживания людей, относящихся к данной группе, становится одной из приоритетных задач современности.

В последние 15-20 лет неоднократно предпринимались попытки решения задачи вовлечения маломобильной группы населения во все жизненные сферы, однако на сегодняшний день проблема ограниченности возможностей инвалидов и иных лиц, относящихся к маломобильной группе, остается по-прежнему актуальной.

Функцией города, отражающей степень удовлетворения потребностей маломобильной группы населения, является «Милосердие», занимающая центральную позицию среди всех функций поселения, практически не реализуемая на территории современных городов и поселений. В статье произведена оценка реализуемости функции города «Милосердие» на территории современного жилого микрорайона города Курска, произведен анализ полученных результатов, описаны предложения, направленные на решение проблемы обеспечения доступности и комфортности городской среды для инвалидов, детей, людей с колясками и т.д. Результаты исследования могут служить основой для разработки предложений и рекомендаций по строительству и реконструкции городской застройки.

Ключевые слова: концепция биосферной совместимости; маломобильная группа населения; функции города; удовлетворение рациональных потребностей человека; милосердие; жилой микрорайон.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-50-56

Ссылка для цитирования: Бакаева Н.В., Чайковская Л.В. Функция города "Милосердие" как градообразующий фактор // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 50-56.

Потребительское изъятие природных ресурсов на протяжении столетий повлекло за собой необратимые изменения параметров состояния окружающей природной среды. В связи с этим одной из острых проблем современного человечества является формирование безопасной и комфортной среды проживания на урбанизированных территориях.

«В городах расположен источник деградации Биосферы, здесь же наиболее сильно проявляется ее следствие – дегра-

дация людей...» [1]. В настоящее время урбанизированные территории превращаются из центров развития общества в источники дестабилизации, что проявляется снижением рождаемости, возрастанием числа инвалидов, увеличением количества психических расстройств у городского населения и, в свою очередь, увеличением численности маломобильной группы населения.

К маломобильной группе населения относятся лица старшей возрастной

группы, 60 лет и старше, инвалиды трудоспособного возраста 16 - 60 лет, дети-инвалиды до 16 лет, дети до 8 - 10 лет, пешеходы с детскими колясками, временно нетрудоспособные, т.е. это люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве [2]. В настоящий момент люди, относящиеся к маломобильной группе, составляют треть населения, что требует считать ее статистически значимой социальной группой [3]: по данным Росстата на 1 января 2018 года количество инвалидов составило 82,5 на 1000 человек населения, 37362 тыс. чел. – население в возрасте старше трудоспособного, 18220 тыс. чел. – дети в возрасте до 8-10 лет.

Основной задачей современного градостроительства является создание благоприятной, комфортной, социально-ориентированной городской среды, предоставляющей равные возможности для всех групп населения, в том числе, относящихся к маломобильной группе и являющихся наиболее уязвимыми, имеющими возможность получать услуги только в ограниченном диапазоне [4].

С позиции социальной справедливости экологические требования к территориям с высокой плотностью маломобильного населения должны быть более «жесткими» [3]. Мобильность человека с ограниченными возможностями на городских территориях не должна ограничиваться никакими внешними физическими и моральными барьерами, для чего необходимо не только оборудование специальных пандусов, навесов, мест отдыха и т.п., но и создание условий, позволяющих людям с ограниченными возможностями участвовать в движении «обычно-

го» потока для отсутствия дискриминационного восприятия [5].

Попытки решения проблем, связанных с вовлечением маломобильной группы населения во все жизненные сферы, начали предприниматься в середине 90-х годов через введение в действие Градостроительных кодексов РФ 1998 и 2005 гг., Федерального закона «О социальной защите инвалидов в РФ», Указа Президента РФ «О мерах по формированию доступной для инвалидов среды жизнедеятельности», Постановления Правительства РФ «О мерах по обеспечению беспрепятственного доступа инвалидов к информации и объектам социальной инфраструктуры» и других нормативно-правовых актов. Изучению принципов и норм формирования жилой среды, учитывающих специфические особенности людей с ограниченными возможностями, посвящены работы таких исследователей, как Ильичев В.А., Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Брума Е.В., Наберушкина Э.К., Семенова С.А. [6-12], однако на сегодняшний день проблема доступности объектов городской инфраструктуры для маломобильной группы населения остается по-прежнему актуальной.

В настоящий момент требования разработки проектных решений общественных, жилых и производственных зданий, которые должны обеспечивать для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения равные условия жизнедеятельности с другими категориями населения, закреплены в СП 59.13330.2016 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001».

Город, как сложная, многоуровневая социально-экономическая территориаль-

ная система, служит механизмом для удовлетворения разнообразных потребностей жителей через свои семь функций [13]. Степень удовлетворения потребностей маломобильной группы населения отражается, прежде всего, в значении уровня реализации функции города «Милосердие», включающей в себя воспитание подрастающего поколения (детские сады, школы), заботу о престарелых, инвалидах и других социально не защищенных слоях населения. Важно, что в современных городах данная функция является наименее проработанной, мероприятия по созданию комфортной городской среды для наиболее уязвимой группы населения (детей, престарелых, инвалидов и т.д.) зачастую носят лишь формальный характер. В то же время высокий уровень реализации указанной функции является индикатором развития современного общества.

В работе [14] предложена методика оценки реализуемости функций биосферосовместимого города. Используя указанную методику, произведем оценку реализуемости функции города «Милосердие» на территории Юго-Западного микрорайона г. Курска (проспект Вячеслава Клыкова), при этом перечень составляющих функции города «Милосердие» для оценки ее реализации (рис. 1) установим с учетом требований СП 59.13330.2016.

В рамках используемой методики нормируемые значения параметров реализуемости $\beta_{i,n}^*$ для всех составляющих функции города «Милосердие» равны 1. Полагая, что все i -е составляющие каждой Φ_n -й функции биосферосовместимого города равнозначны и равны значению, определяющему развитие человеческого потенциала: $a_{in}^* = a_{in} = 1/i_n$, рассчитаем показатель реализации Φ_n -й функции города по формуле:

$$\xi_{\Phi_n} = \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in} \beta_{in} / \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^* \beta_{in}^* = \frac{(0,3308 * 0,3416) + (0,094 * 0,038) + 0 + (0,2125 * 0,198)}{0,2 * 1 + 1 * 1 + 0,5 * 1 + 0,333 * 1} = 0,08. \quad (1)$$

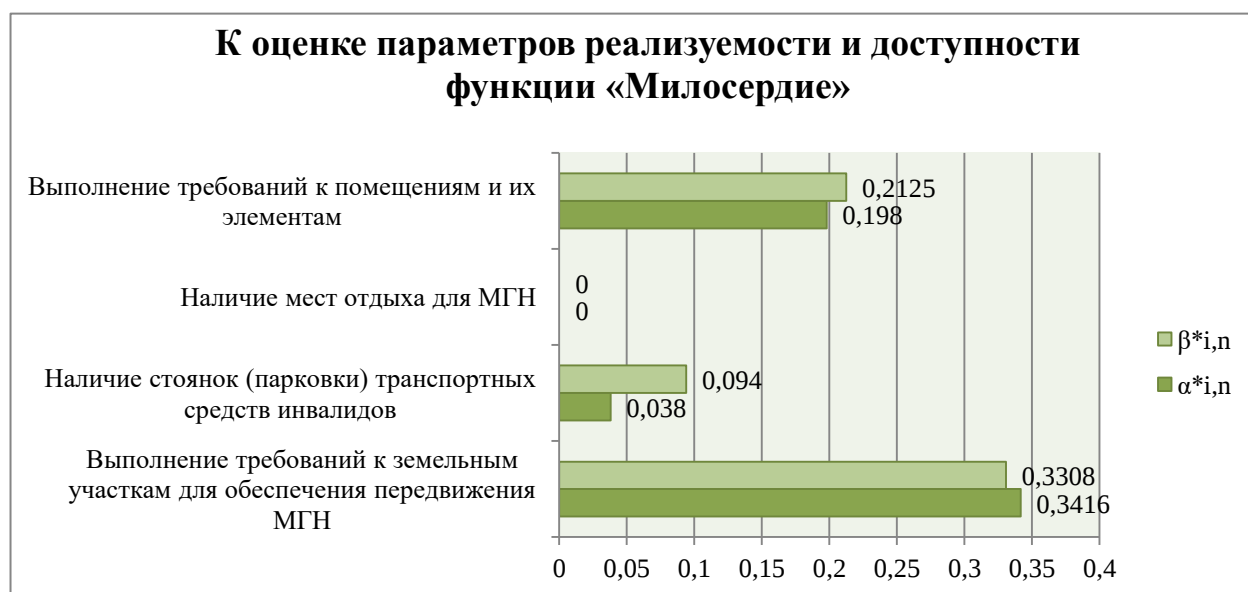


Рис. 1. Перечень составляющих функции «Милосердие» и значения параметров реализуемости и доступности

Нормируемые в рамках количественной оценки значения параметра доступности $\alpha_{i,n}^*$ функции города «Милосердие»

Составляющая	Обозначение	Значение
Выполнение требований к земельным участкам для обеспечения передвижения МГН (C_1)	$\alpha_{1,4}^*$	0,2
Наличие стоянок (парковки) транспортных средств инвалидов (C_2)	$\alpha_{2,4}^*$	1
Наличие мест отдыха для МГН (C_3)	$\alpha_{3,4}^*$	0,5
Выполнение требований к помещениям и их элементам (C_4)	$\alpha_{4,4}^*$	0,333

Анализ результатов оценки реализуемости функции города «Милосердие» на территории Юго-Западного микрорайона города Курска показал, что уровень реализации составляет 8 % от максимально возможного, что является низким показателем и свидетельствует о наличии необходимости проведения мероприятий, направленных на повышение комфортности городской среды для маломобильной группы населения.

В сложившихся условиях для многих жителей рассматриваемого микрорайона становится невозможным либо затруднительным передвижение: на территории микрорайона съездами на проезжую часть оборудованы не все тротуары, в результате инвалиды-колясочники оказы-

ваются в тупике, люди с колясками испытывают затруднения; пандусы перед входом в дом не оборудованы защитными навесами и водоотводами; угол наклона и ширина пандусов не соответствует требованиям СП 59.13330.2016, отсутствуют места отдыха и т.п. (рис. 2,3).

Важно, что проспект Вячеслава Клыкова является относительно «новым» микрорайоном города, в котором уже должны были быть учтены требования к обеспечению равных условий жизнедеятельности для маломобильных групп населения, таким образом, в микрорайонах города, строительство которых завершено ранее, ситуация может быть еще более негативной.



Рис. 2. Пример тротуаров, не оборудованных съездами



Рис. 3. Отсутствие козырьков и водоотводов над пандусами, несоответствующая ширина пандуса

В настоящее время проектная документация объекта недвижимости, необходимая для получения разрешения на строительство и дальнейшее возведение объекта, должна включать раздел «Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов». После завершения строительства зданий и сооружений получают разрешение на ввод объекта в эксплуатацию, которое представляет собой документ, удостоверяющий выполнение строительства, реконструкции объекта капитального строительства в полном объеме в соответствии с разрешением на строительство, проектной документацией. Одним из путей решения проблемы обеспечения доступной и комфортной городской среды для маломобильной группы населения может быть ужесточение требований к проведению проверки соответствия возведенного объекта действующим нормативам в соответствующей области, а также разделу проекта «Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов».

Другим вариантом решения проблемы может являться проведение реконструкции существующих зданий и сооружений, направленной на приведение в соответствие построенных объектов требованиям СП 59.13330.2016: устройство съездов с бордюров, обеспечение зданий и сооружений средствами тактильного

считывания информации, организация площадок отдыха и т.п. Следует отметить, что при ремонте дороги по проспекту Вячеслава Клыкова в 2017 году съезды на проезжую часть все же были устроены, что положительно сказывается на результатах оценки.

Кроме того, в сложившейся ситуации становится необходимым осознание строителями, градостроителями, региональными и местными органами власти тенденции городского строительства, формально учитывающего интересы наиболее уязвимой группы населения города. Основным трендом современного градостроительства должны стать инновационные действия, направленные на постоянное совершенствование мероприятий по созданию комфортной городской среды, прежде всего, для маломобильной группы населения.

Список литературы

1. Ильичев В. А. Биосферная совместимость природы и человека – путь к системному решению глобальных проблем // Стратегические приоритеты. 2014. № 1. С. 42-58.

2. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)

cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=20739#03274897337597097

3. Брума Е.В. Технологии обеспечения экологически безопасной и доступной среды биосферно-совместимого города для маломобильных групп населения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2014. 20 с.

4. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 23.04.2018) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/935a657a2b5f7c7a6436cb756694bb2d649c7a00/

5. Енина Е.И. Определение параметров пешеходных путей с учетом потребностей различных групп населения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2016. №5. С. 102-104.

6. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Брума Е.В. Методика расчета показателя доступности общественных зданий и сооружений маломобильным группам населения // Строительство и реконструкция. 2013. № 4 (48). С. 60-67.

7. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Скобелева Е.А. Анализ концепции и нормативных требований к проектированию зданий образовательных учреждений с учетом потребностей маломобильных групп населения в неразрывной связи со «стандартно» здоровыми людьми // Жилищное строительство. 2013. №1. С. 5-9.

8. Сафронов К.Э. Доступность как градостроительная проблема. М.: Academia, 2009. №3. С. 74-77.

9. Сафронов К.Э. Градостроительные методы формирования безбарьерной среды. М.: Academia, 2011. №1. С. 88-91.

10. Наберушкина Э.К. Доступность городской среды для инвалидов // Социологические исследования. 2010. №9. С. 58-65.

11. Наберушкина Э.К. Перспективы создания доступной среды // Вестник СГТУ. 2012. №1(63). Вып. 1. С. 205-209.

12. Семенова С.А., Шрейбер А.А. Комплексная оценка городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов // Строительство и реконструкция. 2011. №5(37). С. 73-78.

13. Принципы преобразования города в биосферсовместимый и развивающий человека / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. М.: Изд-во АСВ, 2015. 184 с.

14. Бакаева Н.В., Шишкина И.В. Оценка реализуемости функций биосферсовместимого города в современных жилых микрорайонах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 1(14). С. 43-54.

Поступила в редакцию 08.06.18

UDC 504.06:711.4

N.V. Bakaeva, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: natbak@mail.ru)

L.V. Chaykovskaya, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: lili-zubkova@mail.ru)

THE FUNCTION OF "CHARITY" CITY AS THE CITY-FORMING FACTOR

One of the fundamental principle of the biosphere compatibility conception of cities and settlements is the principle of inhabitants' satisfaction of rational needs. The most vulnerable group of the city population is invalids, people with carriages, children, who are referred to the disabled population, so these are people, who move and get services and information with difficulties.

It is important, that the number of the disabled population grows stably in the recent period. That is why the creation of the comfortable conditions for the disabled population is the main aim of the contemporaneity. During the last 15-20 years the attempts of drawing the disabled population in all the living sphere were undertaken more than once.

But nowadays the problem of restriction possibility of disabled oopulation is relevant. "Charity" is the function of the city which reflects the disabled population's extent of satisfactions needs. "Charity" , which takes the main place among all the functions of the settlements , is not fulfilled practically on the territory of the modern cities and settlements. There is an evatuation of the function realization of "Charity" city in the aticle. The function were taken up the territory of the dwelling microdistrict of Kursk city. Also the results of the analysis have been made, the proposals have been shown and directed to solve the problem of the providing the disabled population with the convenience of the city life. The results can be served as the base for the realization of the proposals and recommendations.

Key words: conception of the biosphere compatibility; disabled population; function of the city; satisfaction of rational needs; charity; dwelling microdistrict.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-50-56

For citation: Bakaeva N.V., Chaykovskaya L.V. The Function of "Charity" City as the City-Forming Factor. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 50-56 (in Russ.).

Reference

1. Il'ichev V. A. Biosfernaja sovme-
stimost' prirody i cheloveka – put' k sistem-
nomu resheniju global'nyh problem. *Strate-
gicheskie prioritety*, 2014, no. 1, pp. 42-58.
2. SP 59.13330.2016 Dostupnost' zdaniy i
sooruzhenij dlja malomobil'nyh grupp naseleni-
ja. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 35-01-
2001. URL: [http://www.consultant.ru/cons/
cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=2073
9#03274897337597097](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=20739#03274897337597097)
3. Bruma E.V. Tehnologii obespeche-
nija jekologicheskij bezopasnoj i dostupnoj
sredy biosferno-sovmestimogo goroda dlja
malomobil'nyh grupp naselenija. Avtoref.
diss. kand. tehn. nauk. Kursk, 2014, 20 p.
4. "Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj
Federacii" ot 29.12.2004 N 190-FZ (red. ot
23.04.2018). URL: [http://www.consultant.ru/
document/cons_doc_LAW_51040/ 935a65
7a2b5f7c7a6436cb756694bb2d649c7a00/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/935a657a2b5f7c7a6436cb756694bb2d649c7a00/)
5. Enina E.I. Opredelenie parametrov
peshehodnyh putej s uchetom potrebnostej
razlichnyh grupp naselenija. *Intellekt. Inno-
vacii. Investicii*, 2016, no.5, pp. 102-104.
6. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A.,
Bruma E.V. Metodika rascheta pokazatelja
dostupnosti obshhestvennyh zdaniy i sooru-
zhenij malomobil'nyh gruppam naselenija.
Stroitel'stvo i rekonstrukcija, 2013, no. 4
(48), pp. 60-67.
7. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I.,
Skobeleva E.A. Analiz koncepcii i norma-
tivnyh trebovanij k proektirovaniju zdaniy
obrazovatel'nyh uchrezhdenij s uchetom po-
trebnostej malomobil'nyh grupp naselenija v
nerazryvnoj svjazi so «standartno» zdo-
rovymi ljud'mi. *Zhilishhnoe stroitel'stvo*,
2013, no.1, pp. 5-9.
8. Safronov K.Je. Dostupnost' kak
gradostroitel'naja problema. Moscow, Aca-
demia Publ., 2009, no. 3, pp. 74-77.
9. Safronov K.Je. Gradostroitel'nye meto-
dy formirovanija bezbar'ernoj sredy Moscow,
Academia Publ., 2011, no.1, pp. 88-91.
10. Naberushkina Je.K. Dostupnost' go-
rodskoj sredy dlja invalidov. *Sociologicheskie
issledovaniya*, 2010, no.9, pp. 58-65.
11. Naberushkina Je.K. Perspektivy
sozdaniya dostupnoj sredy. *Vestnik SGTU*,
2012, no. 1(63), is. 1, pp. 205-209.
12. Semenova S.A., Shrejber A.A.
Kompleksnaja ocenka gorodskoj sredy s
uchetom potrebnostej malomobil'nyh grupp
naselenija i invalidov. *Stroitel'stvo i rekon-
strukcija*, 2011, no.5(37), pp. 73-78.
13. Il'ichev V.A., Emel'janov S.G., Kol-
chunov V.I., Gordon V.A., Bakaeva N.V.
Principy preobrazovaniya goroda v biosfer-
sovmestimyj i razvivajushhij cheloveka.
Moscow, 2015, 184 p.
14. Bakaeva N.V., Shishkina I.V. Ocenka
realizuemosti funkcij biosfersovmestimogo go-
roda v sovremennyh zhilyh mikrorajonah.
*Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo
universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii*, 2015,
no. 1(14), pp. 43-54.

УДК 712.3+008

Т.О. Цурик, кандидат культурологии, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: tsurikto@yandex.ru)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ

Озелененные общественные пространства, к которым относятся городские парки, трансформируются под влиянием растущей потребности населения в качественных, наполненных смыслом, местах с разнообразными функциями. Для современных европейских городов актуальным становится новое понимание парков, которые создаются на, непригодных для строительства территориях, пустырях, зонах бывшего промышленного использования.

В статье рассматриваются тенденции мирового паркостроения, анализируются инновационные парки с нетрадиционной интерпретацией природных материалов и новым наполнением парковых зон. На основе сравнительного анализа парковых пространств исследуются основные проблемы развития городских парков России, среди которых автор выделяет стандартность подхода к формированию среды, недостаточные удобство и функциональность, низкий технический уровень обустройства, отсутствие эмоциональной составляющей в композиции. Наряду с недостатками, отмечаются преимущества российских парков: доступность, возможность проведения городских мероприятий, отдых на природе в черте города. Исследуются принципы и особенности экологических парков, которые приобретают всю большую популярность в зарубежной и отечественной градостроительной практике. Раскрывается понятие экологического парка, максимально сохраняющего естественный ландшафт, использующего неприхотливые растения, современные технологии ресурсопотребления. Доказывается, что проектирование и строительство экологического парка оптимально для природных систем в городской среде. Приводится анализ состояния общественных озелененных пространств г. Курска, намечаются пути решения проблемы повышения комфортности городской среды, обосновывается необходимость включения приречных территорий города в перечень зон благоустройства Муниципальной программы «Формирование комфортной городской среды» на 2018-2022 годы.

Ключевые слова: озелененные общественные пространства; городской парк; экологические принципы; экологический парк; комфортная городская среда.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-3-57-65

Ссылка для цитирования: Цурик Т.О. Современные тенденции и проблемы развития городских парков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 57-65.

Начиная со второй половины XX века, озелененные общественные пространства, к которым относятся городские сады и парки, трансформируются под влиянием ряда факторов развития городов. Наиболее значимые из них, по нашему мнению, затрагивают социальные, функционально-планировочные, ландшафтно-экологические аспекты развития городской среды. Современная градостроительная ситуация ставит задачи удовлетворения различных культурных запросов населения, соответствия парковых пространств потребностям различных социальных групп, поиска средств художественной выразительности объектов го-

родских озелененных пространств и их экологичности.

В современном обществе главное место принадлежит публичным, общественным паркам. Эволюция ландшафтной архитектуры XX столетия определила типологию общественных парковых пространств, которые стали подразделяться на парки общего пользования, специального назначения и ограниченного пользования [1, с. 131]. В парках ограниченного пользования доступность определяется принадлежностью к определенной группе населения. Это насаждения на территориях детских и учебных заведений, при клубах и дворцах культуры, а также на

прилегающих промышленных территориях. На территориях специального назначения разбиваются ботанические и зоологические сады, устраиваются выставки, питомники, оранжерейные хозяйства. К этой же группе относятся насаждения кладбищ и крематориев [1, с. 132]. Парки общего пользования (общегородские, районные парки, парки культуры и отдыха, детские, спортивные парки, а также скверы и бульвары) предназначены для горожан всех возрастов.

Рост и развитие городов сопровождается растущей потребностью в устройении качественных, наполненных смыслом парков общего пользования. По словам В.А. Нефедова, «для европейской практики последних десятилетий характерно изменение ориентации паркостроительной деятельности. Создаются гибкие модели развивающегося пространства с возможностью последующего обновления и дополнения парковых территорий. Свободные трансформации преобладают над жёсткой регламентацией функций. Это отражается в подходах к планировочной организации парков, учитывающих естественную эволюцию представлений о приёмах гармонизации парковой среды» [2]. В данном отношении российская ландшафтная архитектура и паркостроение значительно уступают зарубежным аналогам.

Традиционные типы парковых пространств (скверы, бульвары, районные парки и др.) широко представлены в российских городах, однако инновационные парки с нетрадиционной интерпретацией природных материалов и новым функциональным наполнением парковых зон достаточно редки. Даже для крупнейших городов характерно отставание системы паркового строительства по сравнению с европейскими аналогами. Так, В.А. Не-

федов, анализируя примеры организации новых парковых пространств в Санкт-Петербурге, отмечает «кризис жанра» озеленения общественных пространств. Среди основных проблем создания современных парков он выделяет «стандартный набор из аллей, площадей, бассейнов, редко способствующих созданию запоминающегося образа среды. При всей необходимости формирования удобных, функционально и технически грамотно обустроенных фрагментов парковой среды именно отсутствие эмоциональной составляющей в композиции парков заставляет задуматься о путях выхода из этой рационально-бездушной "зелёной архитектуры"» [2].

Современные городские парки большинства российских городов формировались и создавались на территории нашей страны в основном в советский период, чем объясняется их общедоступный характер, и вместе с тем, недостатки, свойственные многим объектам, находящимся в государственной собственности. Парки выполняли основную функцию, связанную с обеспечением продолжительного, в течение дня, отдыха населения в природном окружении [1, с. 369].

Среди преимуществ отечественных парков следует отметить возможность времяпрепровождения в городской черте, доступность рекреационных возможностей для горожан различных возрастных категорий, использование парков для проведения городских праздников и мероприятий. Вместе с тем, недостатки городских парковых территорий являются следствием слабо развитой материально-технической базы и услуг сервиса. Основные преимущества и недостатки современных российских парков представлены в таблице.

Преимущества и недостатки современных российских парков

Преимущества		
Возможность отдыха в городской черте	Доступность	Приобщение к культуре и спорту
Разнообразие видов досуга	Дополнительное образование и просвещение	Общение с природой
Недостатки		
Слабая материально-техническая база и инфраструктура	Небольшое разнообразие услуг	Отсутствие своеобразия и индивидуальной трактовки природных компонентов
Нехватка функционально-обустроенных фрагментов парковой среды	Неполное использование возможностей ландшафтного дизайна	Отсутствие эмоциональной составляющей в композиции парков
Типовая функциональная программа	Отсутствие велодорожек, беговых и прогулочных маршрутов	Отсутствие и низкое качество навигации

В 90-х гг. политические и экономические трансформации повлияли на все сферы жизни общества, в том числе и на создание и существование парков. Так, сначала в 90-х гг. был ликвидирован отдел парков в Министерстве культуры. Постепенно парки теряли основные функции, застраивались посторонними объектами, теряли архитектурно-ландшафтное единство. Недостаточный надзор за собственностью и состоянием городских парков привел к заброшенности и разграблению. К началу 2000 г. количество городских парков значительно сократилось. «Так, если в 1994 г. на территории России насчитывалось 625, то в 1995 – уже 603 парка, а в 1996 г. – 578. В справочнике «Учреждения культурно-досугового типа Российской Федерации» за 2004 г. содержатся данные только о 482 парках» [3].

Выходом из данной ситуации могли стать попытки ведения хозрасчетной деятельности, а затем и поиск частных инвесторов, заинтересованных в прибыльности паркового хозяйства. Наибольший инвестиционный интерес представляли парки развлечений, которые приобретали

владельцев сначала в Москве, а затем и в крупных городах и курортах России. Частные инвесторы переходили к созданию полноценных парков с благоустроенной территорией и необходимой инфраструктурой, при этом наиболее приемлемым для инвесторов становилось вложение средств в аттракционы и распространение именно данного типа рекреационной функции парков.

По-прежнему, российские парки нуждаются в обновлении и переосмыслении функций пространства. Практика европейских стран показывает, что обновление эстетического, рекреационного, просветительского содержания городских парков – одна из перспективных областей развития градостроительства. Выделим перспективные направления развития парковых пространств, учитывающих тенденции в изменении городской среды в целом.

Одна из современных тенденций европейской практики создания и организации парковых пространств – увеличение их разнообразия, что можно объяснить увеличением видов рекреационной деятельности городского населения. При этом усиление антропогенной нагрузки

на город во многом изменило привычное понимание парковых пространств, которые в большом количестве создаются на территориях, непригодных для строительства. В парки превращаются пустыри, территории бывшего промышленного использования, карьеры, отвалы, свалки строительного мусора и отработанных отходов предприятий.

В процессе создания парков на культивируемых территориях (карьерах, оврагах и т.п.), озеленения магистралей, инженерных коммуникаций, развязок дорог архитекторы стремятся к сохранению природных компонентов ландшафта. Массивы деревьев в сочетании с геометризованными фрагментами искусственной среды создают выразительные образы парковых пространств. Например, искусственный ландшафт «Парк воспоминаний» с сохранением растительности и отдельных исторических зданий создан на месте бывшей деревни виноделов в Берси (Париж, Франция). Он демонстрирует возможности выявления нового потенциала, придания нового художественного смысла территории, не представляющей интереса с архитектурной точки зрения.

Один из самых ярких примеров преобразования крупной промышленной территории – создание парка Эмшер в районе Рура (Германия). Авторы концепции парка решили сохранить историческое прошлое местности, используя оставшиеся промышленные объекты в новом качестве. По словам Т.Ю. Быстровой, «ландшафт Рура – точка теснейшего взаимодействия природы, техники и человека – выходит на новый качественный уровень» [4, с. 12].

В настоящее время в мировой градостроительной и ландшафтной практике

все большее распространение получает новая модель городского парка, или экологический парк. Название «экологический» не означает, что парк исключает вмешательство человека и представляет собой участок дикой природы. Напротив, сама идея парка основывается на оппозиции природы и культуры. Природные ландшафты видоизменяются под влиянием общей концепции парка, задач проектирования, видов рекреационной деятельности. Особенностью экологических парков является максимальное сохранение естественного ландшафта, посадка малоуходных растений, не требующих затрат, использование современных технологий ресурсопотребления. Экологический компонент играет все более значимую роль в проектировании градообразующих структур, а в профессиональном сообществе формируется понимание необходимости соотнесения природного ландшафта с городской средой как частей глобальной экосистемы [5, с. 7].

Примеры всемирно известных экологических парков в городах свидетельствуют о том, что их созданию предшествует глубокий анализ территории, ее потенциала, долгая и тщательная работа проектировщиков, архитекторов, градостроителей. Фредрик Олмстед разработал проект Центрального парка Нью-Йорка (New York Central Park), чтобы воплотить эстетику природы как противоположность урбанизму, а не создавать экологическую ценность. Центральный парк – не реликтовый фрагмент дикой природы в окружении городской жизни. Его создание потребовало больших усилий и затрат, включая переселение нескольких общин, перемещение шести миллионов кубических ярдов земли и камней, посадку тысяч деревьев. Его строительство

превратило каменистый, не представляющий интереса для развития города участок сельскохозяйственных земель в середине Манхэттена в главное место отдыха горожан, где ежегодно бывает около 25 млн. посетителей [6]. Сегодня Центральный парк устойчиво ассоциируется с природой и экологией.

Классик советского паркостроения А.П. Вергунов отмечал, что наряду с потреблением природных ценностей, основными видами рекреационной деятельности в городском парке являются физические занятия, потребление культурных ценностей и развлечений, любительские занятия искусством, наукой, техникой и т.д. [7, с.11]. Переход от созерцательной к активной рекреационной деятельности привел к преобладанию «открытого плана» в парковых пространствах, что означает отказ от жесткой структуры парка и возможность ее пространственной трансформации. Степень свободы перемещения посетителей вне контуров дорожно-тропиночной сети расширяет систему зонирования, создавая возможность для различной рекреационной деятельности. Экологические парки, наряду с выполнением рекреационных функций, реализуют основные принципы экологии. Основой проектирования и строительства парков в данном случае становится существующее в экологии правило преобразования природных систем, поддерживающее допустимые пределы эксплуатации в целях сохранения ими самоподдержания. Сформированные биологом и экологом Б. Коммонером в начале 70-х годов XX века утверждения, названные «Законами экологии Коммонера», принципы отражают экологическую составляющую теории устойчивого развития, которая может

быть положена в основу создания парков данного типа [8, с. 180]:

- «Все связано со всем остальным» (Everything is connected to everything else);
- «Все должно куда-то деваться» (Everything must go somewhere);
- «Природа знает лучше» (Nature knows best);
- «Ничто не дается даром» (There is no such thing as free lunch, дословно «нет такой вещи, как бесплатный обед»).

Каждый из перечисленных принципов может быть применен по отношению к паркостроению. Так, например, первый принцип взаимосвязи выражает экологическое правило холизма (целостности) между живыми организмами и природным окружением. Любое изменение качества природной среды влияет на биогеоценозы. Это означает необходимость взвешенных решений в отношении воздействия на отдельные части экосистем, то есть требует максимального сохранения существующих природных условий, рельефа, типичных и уникальных природных комплексов и объектов в зоне проектирования и строительства парка. В противном случае изменение биосферы приводит к непредвиденным последствиям (например, осушение болот приводит к обмелению рек). Напротив, использование водно-болотистых угодий для строительства парков широко используется в современной мировой практике. Например, Houtan Park в Китае был создан на бывшей промышленной зоне, на болоте, служившем долгое время свалкой для строительного и промышленного мусора. Проект был направлен на восстановление нарушенного экобаланса окружающей среды и трансформации пейзажа на окраине города в популярное общественное пространство. Кроме создания

парковой зоны авторы проекта ставили задачу защиты от наводнений. Различные виды водно-болотных растений использовались для поглощения загрязняющих веществ из воды, с сохранением круглогодичной декоративности, а очищенная вода использовалась для нужд парка. Для сохранения экобаланса здания на территории Houtan Park были построены на сваях. В 2010 году на Всемирном Архитектурном Фестивале (Барселона) Houtan Park стал победителем в номинации «ландшафтная архитектура» [9].

Проблема реконструкции и ввода в эксплуатацию новых парковых пространств актуальна для многих областных центров России. Одна из основных проблем заключается в создании и обновлении крупных парков площадью от 10 га. По-прежнему, актуальна задача использования под парковые пространства территории промзон и участков, непригодных для строительства. Реализация подобных проектов под силу только крупнейшим городам и инвесторам, поэтому в крупнейших и крупных городах развитие общественных пространств сводится к благоустройству бульваров и скверов. Муниципальная программа «Формирование комфортной городской среды» на 2018-2022 годы, утвержденная в Курске, после проведения общественных обсуждений, включает в перечень территорий, подлежащих благоустройству, придворовые пространства, скверы и только два небольших парка: парк им. Дзержинского (4 га), парк КЗТЗ (9,5 га) [10].

Для сравнения: площадь территории, выделенная для городского парка Лавилет в Париже, составляет 55 га. Примеры создания инновационных парков в России немногочисленны, среди последних примеров - «Зарядье» в центре Моск-

вы, который занимает площадь 13 га. В российском парке, сданном в эксплуатацию в сентябре 2017 г., пространство организовано по принципам природного урбанизма (wild urbanism), согласно которому на территории парка природа плавно сменяется хай-тек постройками городской среды. На примере проекта «Зарядье» сложно говорить об экологичности созданного паркового пространства, так как реализованное решение американских проектировщиков (бюро Diller Scofidio + Renfro) значительно изменило существующий рельеф, без учета исторических ландшафтно-визуальных связей градостроительного узла в центре Москвы, а поддержание искусственно созданного климата расположенных на территории парка четырех ландшафтных зон потребует громадного бюджета. Стоимость, «неэкологичность» проекта подверглась критике со стороны некоторых представителей архитектурного сообщества. Р. Рахматуллин отмечает, что «речь идет о невиданном в истории города вторжении в ландшафт, о создании гор там, где раньше были долина и луг» [11]. Вместе с тем, «Зарядье» спроектировано и построено как центр активной деятельности для проведения мероприятий различного уровня, с концертным залом, Парящим мостом, гибридными общественными зонами для осуществления образовательных и развлекательных программ и другими достопримечательностями, поразительными по масштабам строительства и средствам, вложенным в реализацию архитектурного замысла. В то же время уровень оснащения парковых пространств большинства российских городов, в том числе и г. Курска, в основном, ограничивается прокатом спортивного оборудования, а эстетическая выра-

зительность городских парков сводится к традиционным аллеям и цветникам.

В Курске, особенно в центральной части города, общественные озелененные пространства – это благоустроенные скверы вокруг общественных зданий. Площадь зеленых насаждений общего пользования (парки, скверы, бульвары) в Курске составляет в настоящее время 221,0 га (5,8 м² на человека), не обладая свойствами равномерности размещения, непрерывности и структурной целостности. С учетом урочища «Гусиное болото» и лесопарковой зоны «Боева дача», которые в дальнейшем будут переведены в особо охраняемые территории, площадь озелененной территории достигает 390,4 га. Городские леса (2127,1 га) увеличивают обеспеченность населения насаждениями данной категории - 8,9 м² на человека, но они требуют благоустройства.

Малые Курские реки, такие, как Тускарь, Кур являются структурными элементами экологического каркаса, но в настоящее время они почти не используются в создании пейзажей города, т.к. их русла загрязнены мусором, а подходы к воде затруднены. Создание зеленых артерий вдоль речных долин - одна из главных задач благоустройства Курска. Основные положения «Генерального плана МО «город Курск» и «Проект внесения изменений в корректуру генерального плана города» заявляют перспективные меры по формированию зон рекреационного назначения и экологического каркаса г. Курска, касающиеся приречных территорий: «В предложениях действующего генерального плана от реки Кур до ул. 50-лет Октября дано решение по созданию продольного бульвара вдоль ул. Верхняя Луговая и системе озелененных пространств между жилыми комплексами

с выходом к реке Кур. Вдоль р. Кур и бровки р. Тускарь предлагается создать пешеходные зоны с бульварами для прогулочного отдыха с освобождением озелененной зоны данных территорий от гаражей и ветхого малоэтажного жилого фонда, расположенных практически у воды. При реализации проектных предложений в районах выборочной реконструкции возможна организация территорий под парки, бульвары и скверы. Парковую и лесопарковую зону на р. Тускарь действующим генеральным планом предлагается привести в порядок с организацией участков активного и тихого отдыха» [12]. Вместе с тем, в перечень зон, подлежащих благоустройству, не были внесены приречные территории.

Архитектурно-ландшафтная организация парков в поймах рек на территории Курска, благоустроенная и оборудованная, повысит привлекательность прилегающих к рекам пространств, сможет решить проблему обеспечения нормативных показателей, создаст коммерческую привлекательность недвижимости в созданных зонах. Использование современных экоориентированных форм в парковых зонах на неудобных для застройки территориях логов и оврагов дадут горожанам возможность применить парковое строительство для формирования комфортного городского пространства и обеспечения устойчивого развития.

Таким образом, развитие парковых пространств в нашей стране может быть возможным при желании обеспечения достойной среды обитания, и осознания этой потребности большинством населения. Законсервированные стилистические решения, пренебрежение к ландшафтной организации парков – препятствия на пути развития данного направления архи-

тектуры и градостроительства в городской среде. Международная практика доказывает необходимость технологического обновления и внедрения новых типов формообразования, а также важность переосмысления роли природных материалов в парках, его экологического смысла и эстетического потенциала.

Список литературы

1. Горохов В.А. Зеленая природа города. М., 2003. 528 с.
2. Нефедов В.А. Парк как объект синтеза [Электронный ресурс]. URL: http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/7_09/main.shtml (дата обращения 23.04.2018).
3. Старцев А.В. Российские парки в контексте социокультурной модернизации [Электронный ресурс]. URL: <http://vtorio.com/articles/topic/42> (дата обращения 23.04.2018).
4. Быстрова Т.Ю. Парк Эмшер: принципы и приемы реабилитации промышленных территорий // Академический вестник Уралниипроект РААСН. 2014. №2. С. 9-14.
5. Унагаева Н.А. Проблемы типологии и композиции в ландшафтной архитектуре второй половины XX - начала XXI вв.: зарубежный опыт : автореф. дис. ... канд. архитектуры. М., 2011. 23 с.
6. Центральный парк Нью-Йорка (New York Central Park) [Электронный ресурс]. URL: http://www.americancities.ru/new_york_city/showplaces/central_park/ (дата обращения 23.04.2017).
7. Вергунов А.П. Архитектурная композиция садов и парков. М.: Стройиздат, 1980. 254 с.
8. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология: [пер. с англ.]. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 279 с.
9. Парк на болоте в центре Шанхая Houtan Park [Электронный ресурс]. URL: <http://www.turenscape.com/English/projects/project.php?id=443> (дата обращения 23.04.2018).
10. Формирование современной городской среды: Администрация города Курска [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kurskadmin.ru/content/formirovanie-sovremennoy-gorodskoy-sredy> (дата обращения 23.04.2018).
11. «Зарядье»: как нью-йоркская утопия превратилась в парк на парковке: URL: <https://daily.afisha.ru/cities/4892-zaryade-kak-nyu-yorskaya-utopiya-prevratilas-v-park-na-parkovke/>
12. Проект Генерального плана развития г. Курска [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kurskadmin.ru/node/1101> (дата обращения 23.04.2018).

Поступила в редакцию 14.05.18

UDC 712.3+008

T.O.Tsurik, Candidate of Cultural Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: tsurikto@yandex.ru)

CURRENT TRENDS AND PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF CITY PARKS

Greened public spaces which include urban parks transform under the influence of the growing needs of the population in qualitative, imbued with meaning, places with various functions. The new understanding of the parks, which are created on unsuitable for construction territories, wasteland and former industrial use areas, is becoming topical for modern European cities.

The trends in world park construction are considered in the article, innovative parks with an unconventional interpretation of natural materials and new filling of park areas are analyzed. The main problems of development of the urban Russian parks, among which the author emphasizes the standard approach to environment formation, lack of usability and functionality, low technical level of arrangement, lack of emotional component in composition, are explored based on comparative analysis of park spaces. Along with disadvantages, there are advantages of Russian parks: availability and opportunity of arranging city events, outdoor recreation in the city. The principles and features of ecological parks, which gain popularity in foreign and native urban planning practice, are explored. A concept of ecological park, maximally preserving natural landscape, using unpretentious plants and modern technologies of resource consumption, is uncovered. It is proved that designing and building of the ecological park is optimal for natural systems in the city. The analysis of the state of public green spaces of the city of Kursk is presented; the ways of solving the problem of improving comfort of the urban environment are planned; the necessity to include the riverside areas into the list of improvement zones of the Municipal Program "Building a Comfortable Urban Environment" for 2018-2022 is justified.

Key words: greened public spaces; urban park; environmental principles; ecological park; comfortable urban environment.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-57-65

For citation: Tsurik T.O. Current Trends and Problems of Development of City Parks. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 57-65 (in Russ.).

Reference

1. Gorohov V.A. Zelenaja priroda goroda. Moscow, 2003, 528 p.
2. Nefedov V.A. Park kak ob#ekt sinteza. URL: http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/7_09/main.shtml (data obrashhenija 23.04.2018).
3. Starcev A.V. Rossijskie parki v kontekste sociokul'turnoj modernizacii. URL: <http://vtorio.com/articles/topic/42> (data obrashhenija 23.04.2018).
4. Bystrova T.Ju. Park Jemsher: principy i priemy reabilitacii promyshlennyh territorij. *Akademicheskij vestnik Uralniiproekt RAASN*, 2014, no.2, pp. 9-14.
5. Unagaeva N.A. Problemy tipologii i kompozicii v landshaftnoj arhitekture vtoroj poloviny XX - nachala XXI vv.: zarubezhnyj opyt. Avtoref. diss. kand. arhitektury. Moscow, 2011, 23 pp.
6. Central'nyj park N'ju-Jorka (New York Central Park). URL: http://www.americancities.ru/new_york_city/show_places/central_park/ (data obrashhenija 23.04.2017).
7. Vergunov A.P. Arhitekturnaja kompozicija sadov i parkov. Moscow, Stroizdat Publ., 1980, 254 p.
8. Kommoner B. Zamykajushhijsja krug: Priroda, chelovek, tehnologija. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 279 p.
9. Park na bolote v centre Shanhaja Houtan Park. URL: <http://www.turenscape.com/English/projects/project.php?id=443> (data obrashhenija 23.04.2018).
10. Formirovanie sovremennoj gorodskoj sredy: Administracija goroda Kurska. URL: <http://www.kurskadmin.ru/content/formirovanie-sovremennoy-gorodskoy-sredy> (data obrashhenija 23.04.2018).
11. «Zarjad'e»: kak n'ju-jorskaja utopija prevratilas' v park na parkovke. URL: <https://daily.afisha.ru/cities/4892-zaryade-kak-nyu-yorskaya-utopiya-prevratilas-v-park-na-parkovke/>
12. Proekt General'nogo plana razvitija g. Kurska. URL: <http://www.kurskadmin.ru/node/1101> (data obrashhenija 23.04.2018).

А.А. Василькин, канд. техн. наук, доцент, НИУ МГСУ (Москва, Россия) (e-mail: vergiz@mail.ru)

УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

В стальных вертикальных цилиндрических резервуарах, выполненных методом рулонирования, часто возникают дефекты геометрической формы в области монтажного сварного стыка стенки. Впоследствии в этих областях в результате малоциклового усталости появляется недопустимый дефект в виде трещины, что вызывает необходимость вывода резервуара из эксплуатации и проведения комплекса мер по его ремонту. Для определения сроков безопасной эксплуатации вертикальных стальных резервуаров с дефектами геометрической формы предлагается использовать методологию управления поведением несущих конструкций, одним из направлений которой является регулирование напряженно-деформированного состояния (НДС) стальных конструкций. Для осуществления возможности регулирования НДС конструкции необходимо выявить такие параметры, изменение которых даст максимальный эффект в достижении поставленных целей. В качестве указанных параметров могут выступить характеристики конструкции (свойства материала, расчетная схема, геометрические характеристики) и факторы внешних воздействий (нагрузка, условия эксплуатации). Для регулирования НДС конструкции вертикальных стальных резервуаров предложены следующие регуляторы: высота налива продукта, стрела прогиба стенки и допустимое число циклов нагружения резервуара.

Путем численного определения НДС конструкции вертикального стального резервуара с дефектами геометрической формы, определены необходимые величины и значения напряженного состояния. Далее, используя известные аналитические зависимости из области механики разрушения возможно установить допустимое количество циклов нагружения резервуара до появления трещиноподобного дефекта. Применение методологии управления поведением несущих конструкций, путем определенного изменения установленных параметров регулирования, позволяет увеличить количество циклов нагружения резервуара, увеличив тем самым срок безопасной эксплуатации резервуара с дефектом и повысить таким образом экономическую эффективность резервуарного парка.

Ключевые слова: управление поведением конструкций, регулирование НДС, параметры регулирования.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-66-74

Ссылка для цитирования: Василькин А.А. Управление поведением вертикального стального резервуара в период эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 66-74.

Введение

В отечественной практике резервуаростроения нашли применение два способа монтажа вертикальных стальных резервуаров – полистовой метод и метод рулонирования [1,2,3], являвшийся основным методом долгие годы. Наряду с достоинствами данного метода монтажа существует и значительный недостаток, обусловленный технологией изготовления рулона. При разворачивании рулона на монтажной площадке края стенки ру-

лона не принимали проектное положение в связи с возникшими пластическими деформациями стали и имели различные отклонения от цилиндрической формы, главным образом в области монтажного сварного шва [4,5,6]. В дальнейшем, при эксплуатации резервуара, в этой зоне могли появляться дефекты геометрической формы (рис.1), из-за чего происходило разрушение сварного шва вследствие малоциклового усталости [7].

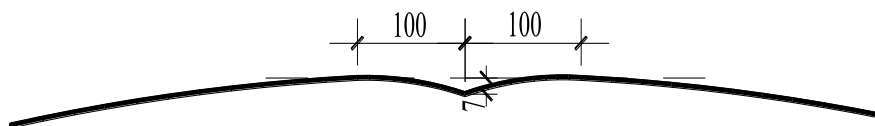


Рис. 1. Схема радиального отклонения стенки в зоне монтажного стыка, $a=100$ мм – база; $f=7$ мм – прогиб стыка

Для обеспечения безопасной эксплуатации резервуара с геометрическими дефектами, появившимися в процессе эксплуатации сооружения, можно применить методы управления поведением несущих конструкций, реализуемые путем регулирования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции и успешно применяемые в авиационной и космической области [12,13].

Регулирование НДС конструкции осуществляется за счет управления (изменения, варьирования) определенными параметрами конструкции, которые в данном случае выступают как параметры регулирования [23]. В области строительного проектирования можно выделить следующие способы регулирования напряженно-деформированным состоянием – за счет изменения расположения массы [8], изменения уровня опор [9], предварительного напряжения [10,11].

При решении задачи регулирования НДС вертикального стального резервуара с дефектами геометрической формы необходимо определить регуляторы – такие параметры конструкции, изменение которых даст наибольший эффект для достижения цели. В качестве критерия эффективности примем обеспечение безопасной эксплуатации резервуара в течение определенного срока

Анализ работы конструкции показал, что в качестве таких регуляторов мы можем принять следующие:

- уровень налива продукта, м;

- стрела прогиба стенки в области монтажного сварного стыка;

- допустимое количество циклов нагружения резервуара.

Среди предложенных регуляторов уровень налива продукта является ведущим параметром, определяющим НДС конструкции резервуара [6], поскольку определяет гидростатическое давление и соответственно максимальные радиальные перемещения стенки резервуара

$$\Delta r = \frac{\rho r^2 (h - x)}{E \cdot t},$$

где ρ – плотность хранимого продукта;

r – радиус резервуара; $(h - x)$ – расстояние от поверхности продукта до участка с дефектом; E – модуль Юнга; t – толщина стенки резервуара в области дефекта. То есть, чем больше разница отметок зеркала продукта и исследуемого участка стенки, тем больше величина гидростатического давления и больше перемещение стенки.

Для определения области допустимых значений регуляторов исследуемой конструкции необходимо проведение экспериментальных исследований, либо на натурной физической модели, либо на имитационной математической модели [14,15].

Осуществление натурального эксперимента является достаточно длительной и трудоемкой процедурой [16], особенно учитывая тот факт, что необходимо установить предельно допустимые – критические значения регуляторов, при которых

происходит разрушение конструкции. Таким образом при проведении исследования пришлось бы изготавливать несколько физических моделей резервуара, что увеличило бы сроки и стоимость проведения работы.

Поэтому в настоящей работе для решения поставленной задачи определения области допустимых значений регуляторов будем использовать метод имитационного моделирования в прикладных расчетных комплексах, нашедших широкое применение при исследовании работы строительных конструкций [17,18].

Имитационное моделирование используется для оценки многочисленных режимов функционирования объекта, отклика системы на внешние возмущения, поведение под нагрузкой, проверки живучести объекта. Моделирование сочетает простоту и удобство работы с моделью, эффективность, возможность генерирования случайных параметров и возмущений, удобство ввода и интерпретации результатов моделирования.

Численное моделирование применяется в следующих целях:

- как средство изучения конструкции, анализа ее поведения при различных условиях функционирования;
- для сравнения и оценки эффективности различных расчетных схем;
- прогнозирования поведения конструкции при различных возмущениях.

Численное моделирование обеспечивает:

- возможность повторения и точного воспроизведения различных условий функционирования проектируемого объекта;
- легкость прерывания и возобновления численного эксперимента;
- возможность направленного управления условиями эксперимента (здания

различных состояний окружающей среды, параметров моделируемой конструкции, возмущающих факторов и т.д.);

- скорость проведения численного эксперимента, существенное сокращение продолжительности эксперимента по сравнению с натурным;
- экономичность по сравнению с натурным экспериментом.

Процедура имитационного моделирования включают в себя процесс построения имитационных моделей и проведения численных экспериментов для определения допустимых и эффективных значений регуляторов.

Важным аспектом в численном моделировании является оценка адекватности получаемых результатов моделирования – так называемая верификация модели [19,20].

В рассматриваемой задаче, в условиях отсутствия однозначно определенной зависимости между уровнем налива продукта, стрелой прогиба дефекта и допустимым количеством циклов нагружения – налива-слива продукта, возможно несколько критериев эффективности (целевой функции) полученного решения, выбор которых определяется заказчиком. Соответственно существует несколько стратегий.

При принятии в качестве целевой функции срока безопасной эксплуатации резервуара с имеющимися дефектами следует установить допустимый уровень налива продукта.

При принятии в качестве целевой функции допустимого уровня налива продукта в резервуар с имеющимся дефектом необходимо установить срок дальнейшей безопасной эксплуатации до проведения ремонтных работ или ко-

личество циклов нагружения до появления трещины.

При снижении уровня налива продукта уменьшается полезный объем резервуара, соответственно снижается обрачиваемость и экономическая эффективность резервуарного парка [21]. Поэтому заказчик может задавать требуемый срок безопасной эксплуатации резервуара или необходимый уровень налива продукта. В такой постановке заданных ограничений необходимо определить максимально допустимое значение третьего регулятора – стрелы прогиба дефекта.

Для полного соответствия реальной конструкции, имитационная модель резервуара должна учитывать моментное напряженное состояние стенки; жесткостные характеристики и собственный вес элементов; а также при необходимости жесткость сварных швов, что требует введения дополнительных элементов, моделирующих работу шва; предусматривать возможность приложения нагрузок с минимальной их идеализацией и к тем элементам, на которые нагрузки фактически действуют; быть универсальной, позволяющей рассчитывать несущую систему стенки резервуара независимо от характера воздействий и стадии напря-

женно-деформированного состояния без изменения расчетной схемы.

Построение математической модели вертикального стального резервуара состоит из традиционных этапов: создание геометрии дефектов; формирование конечно-элементной сетки; задание атрибутов элементов.

Поведение резервуарных конструкций в том числе определяется нелинейной работой материала резервуара – появлением пластических деформаций, и геометрической нелинейностью – большими деформациями стенки резервуара при нагружении. Учет пластической работы стали возможен путем введения в расчетном комплексе мультимелинейной диаграммы работы материала (рис.2.).

Далее выполняется формирование сетки конечных элементов, сложность которой заключается в выборе оптимальной, достаточно простой для расчета и эффективной в моделировании физических параметров сетки.

Регулирование НДС вертикальных стальных резервуаров в зоне монтажного сварного стыка с заданной действующей нагрузкой P , и числом циклов нагружения N , при повторно-переменном нагружении можно разбить на несколько этапов.

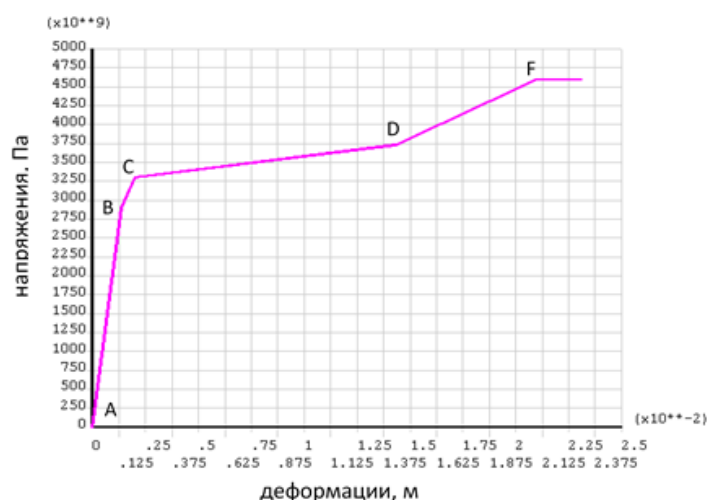


Рис. 2. Мультимелинейная диаграмма работы стали

На первом этапе, исходя из данных проведенного обследования резервуара, данных технической экспертизы, размеров резервуара и условий эксплуатации, определяется значение действующих внешних нагрузок и физико-механические характеристики металла.

Далее создается имитационная модель конструкции с фактической геометрической формой, задаются установленные физико-механические характеристики металла, к модели прикладываются действующие нагрузки и граничные условия.

Затем выполняется определение напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции. По полученным значениям остаточной пластической деформации (рис.3), амплитуды упругих деформаций и остаточных напряжений после разгрузки, используя известные условия прочности при малоцикловом нагружении [22]:

$$[e_a] = \frac{1}{4e_T (n_N [N])^m} \ln \frac{1}{1-\psi} + \frac{\sigma_{-1}}{Ee_T},$$

где $[e_a]$ – амплитуда упругих деформаций;

N – число циклов до образования трещины;

e_T – амплитуда пластических деформаций (деформации предела текучести);

ψ – относительное сужение площади поперечного сечения образца при статическом растяжении;

$m = 0,5$ – постоянная;

$n_N = 10$ – коэффициент запаса по долговечности;

E – модуль упругости;

σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле на базе $2 \cdot 10^6$ циклов; определяется число циклов N_k до образования трещины в области геометрического дефекта для соответствующего уровня нагрузки.

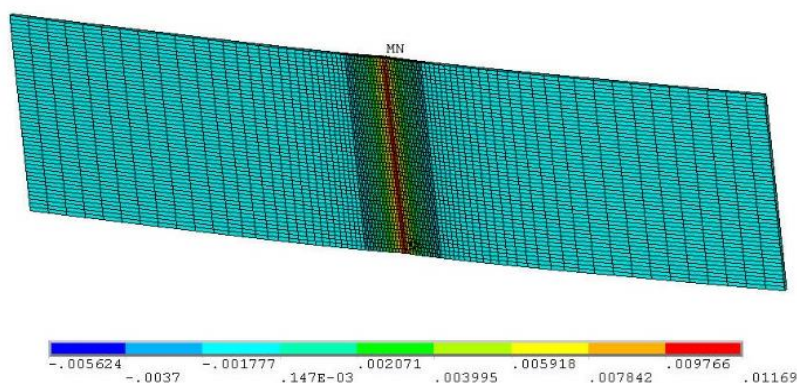


Рис. 3. Остаточные пластические деформации, $\varepsilon_{pl} = 1,17\%$

По известным значениям эксплуатационного числа циклов нагружения и полученного числа циклов до появления трещины, по выражению $n_N = \frac{[N]}{N_j}$ определяется запас по числу циклов для заданной нагрузки P , где N_j – число цик-

лов нагружения в год, зависящее от области применения резервуара.

Таким образом, варьируя в выбранном диапазоне принятые параметры регулирования, можно установить допустимое количество циклов нагружения вертикального стального резервуара или допустимый уровень напряжений в стен-

ке. Это, в свою очередь, позволит повысить надежность работы конструкции, уточнить сроки безопасной эксплуатации и увеличить экономичность использования резервуарного парка. Применение метода регулирования НДС и имитационного моделирования дает синергетический эффект, позволяя решать различные задачи по обеспечению эксплуатационной надежности строительных объектов с несущими стальными конструкциями.

Список литературы

1. Крампит Н.Ю., Михалкин А.С. Изготовление вертикальных резервуаров полистовым методом // Альманах современной науки и образования. 2009. № 11-1. С. 55-57.
2. Востров В.К., Василькин А.А. Оптимизация высот поясов стенки резервуара // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2005. №11. С. 37-40.
3. Поповский Б.В. Перспективы применения технологии рулонирования для изготовления некоторых видов стальных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 26-29.
4. Ерофеев В.В., Шарафиев Р.Г., Ерофеев С.В. К вопросу о повышении эксплуатационной надежности вертикальных цилиндрических резервуаров // Вестник ЧГАА. 2011. Т. 58. С. 118-126.
5. Дефекты вертикальных стальных резервуаров / Д. Нестеров, М. Сидорчук, В. Миллионщиков, Т. Беликова, Н. Ястребова // Регламент. 2015. № 5 (43). С. 131.
6. Агеева М.А., Лапшин А.А., Иноземцев В.В. Натурные испытания и численные исследования эксплуатируемого вертикального резервуара с дефектами геометрической формы на допустимый налив нефтепродуктами // Приволжский научный журнал. 2016. № 2 (38). С. 17-23.
7. Рыбина М.А., Агеева М.А., Колесов А.И. Статистический анализ дефектов и повреждений, несовершенств формы эксплуатируемых вертикальных цилиндрических резервуаров, отработавших нормативный срок // Труды научного конгресса 14-го Российского архитектурно-строительного форума. Н.Новгород, 2016. С. 74-77.
8. Ляхович Л.С. Повышение первой частоты собственных колебаний оптимальным изменением расположения внешней массы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4 (45). С. 70-80.
9. Демидов Н.Н., Меликова В.Г. О влиянии неравномерных осадок на напряженно-деформированное состояние стержневых пространственных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 10. С. 29-32.
10. Тур В.И. Предварительное напряжение сферического сетчатого купола // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 1998. № 2 (3). С. 98-103.
11. Кузьмичева И.Г., Колесников А.Г. Регулирование усилий предварительным напряжением отдельных элементов // Проблемы и достижения современной науки. 2016. № 1 (3). С. 113-116.
12. Механика больших космических конструкций / Н.В. Баничук, И.И. Карпов, Д.М. Климов, А.П. Маркеев, Б.Н. Соколов, А.В. Шаранюк. М., 1997.
13. Королев В.С., Поляхова Е.Н. Проблемы устойчивости движения космического аппарата с солнечным парусом // Технические науки - от теории к практике. 2016. № 8 (56). С. 21-34.
14. Василькин А.А., Щербина С.В. Автоматизированное решение задачи определения оптимальной высоты сталь-

ной фермы по критерию минимума массы при вариации высоты фермы // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов Международной конференции (12-13 ноября 2014 г.). М.: МГСУ, 2015.

15. Белоусов В.Е., Нгуен В.Т. Алгоритм выбора наилучшего варианта проведения натурного эксперимента в многокритериальных задачах моделирования сложных технических объектов // Системы управления и информационные технологии. 2016. Т. 63. № 1. С. 55-59.

16. Бирюков А.В. Методика проведения эксперимента и осреднения параметров // Совершенствование энергетических машин: сборник научных трудов / под ред. В. В. Роголѣва. Брянск, 2011. С. 124-136.

17. Oluwole O., Joshua J., Nwagwo H. Finite element modeling of low heat conducting building bricks // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2012. № 11. P. 800-806.

18. Kulkarni S. A., Vesmawala G. Study of steel moment connection with and without reduced beam section // Case Studies in Structural Engineering. 2014. № 1. P. 26-31.

19. Соболев Ю.В., Василькин А.А., Колосков А.Д. Определение напряженно-

деформированного состояния стенки с геометрическими дефектами в области монтажного стыка численными методами // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №12. С. 44-45.

20. Данилов В.И., Лялин В.Е. Верификация математической модели сооружения на основе проведения натурного эксперимента деформации и разрушений существующего строения с учетом изменения литологического состояния грунта // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2 (22). С. 11-16.

21. Доронин В.В., Нгуен Кань Тхуан, Прохоров А.Д. Определение оптимальной мощности нефтебазы // Нефть, газ и бизнес. 2008. № 4. С. 77-78.

22. Серенсен С.В. Избранные труды: в 3 т. Т.3. Квазистатическое и усталостное разрушение материалов и элементов конструкций. М., 1985.

23. Регулирование. Синтез. Оптимизация. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости / Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков [и др.]. М.: Стройиздат, 1993. 456 с.

Поступила в редакцию 09.07.18

UDC 624.014.2

A. A. Vasilkin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) (Moscow, Russia) (e-mail: vergiz@mail.ru)

CONTROL OF ACTIONS OF STEEL TANK IN WORKING

In steel tanks made by the method of rolling, defects of a geometric shape often occur in the area of the welded joint of the wall. Subsequently, in these areas, as a result of low cycle fatigue, an unacceptable defect appears in the form of a crack, which makes it necessary to remove the reservoir from operation and carry out a set of measures for its repair. To determine the terms of safe operation of vertical steel tanks with geometric defects, it is proposed to use the methodology control of the actions of structures of load-bearing structures, one of the directions of which is the regulation of the stress-strain state of steel structures. To implement the possibility of regulating construction, it is necessary to identify such parameters, the change of which will give the maximum effect in achieving the set goals. As the indicated parameters, the design characteristics (material properties, design scheme, geometric characteristics) and factors of external influences (load, operating conditions) can act. To regulate the

stress-strain state design of vertical steel tanks, the following regulators are proposed: product loading height, wall deflection arrow and permissible number of tank loading cycles.

By numerical calculation of the VAT of the vertical steel tank design with geometric defects, the necessary values and values of the stress state are determined. Further, using known analytical dependencies from the field of fracture mechanics, it is possible to determine the permissible number of loading cycles of the reservoir before the appearance of a crack-like defect. The application of the methodology control of the actions of structures load-bearing structures, by means of a certain change in the established control parameters, allows increasing the number of loading cycles of the reservoir, thereby increasing the period of safe operation of the defective reservoir and thereby increasing the economic efficiency of the tank farm.

Key words: control of the actions of structures, modification of stressed state, regulatory parameter.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-66-74

For citation: Vasilkin A. A. Control of Actions of Steel Tank in Working. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 66-74 (in Russ.).

Reference

1. Krampit N.Ju., Mihalkin A.S. Izgotovlenie vertikal'nyh rezervuarov polistovym metodom. *Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya*, 2009, no. 11-1, pp. 55-57.
2. Vostrov V.K., Vasil'kin A.A. Optimizacija vysot pojasov stenki rezervuara. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve*, 2005, no. 11, pp. 37-40.
3. Popovskij B.V. Perspektivy primeneniya tehnologii rulonirovaniya dlja izgotovleniya nekotoryh vidov stal'nyh konstrukcij. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 12, pp. 26-29.
4. Erofeev V.V., Sharafiev R.G., Erofeev S.V. K voprosu o povyshenii jekspluatacionnoj nadezhnosti vertikal'nyh cilindricheskikh rezervuarov. *Vestnik ChGAA*, 2011, vol. 58, pp. 118-126.
5. Nesterov D., Sidorchuk M., Milionshnikov V., Belikova T., Jastrebova N. Defekty vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov. *Reglament*, 2015, no. 5 (43), p. 131.
6. Ageeva M.A., Lapshin A.A., Inozemcev V.V. Naturnye ispytaniya i chislennye issledovaniya jekspluatiruемого вертикального резервуара с дефектами геометрической формы на допустимый налив нефтепродуктами. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*, 2016, no. 2 (38), pp. 17-23.
7. Rybina M.A., Ageeva M.A., Kolesov A.I. Statisticheskij analiz defektov i povrezhdenij, nesovershenstv formy jekspluatiruемых вертикальных цилиндрических резервуаров, otrabotavshih normativnyj срок. *Trudy nauchnogo kongressa 14-go Rossijskogo arhitekturno-stroitel'nogo foruma*. N.Novgorod, 2016, pp. 74-77.
8. Ljahovich L.S. Povyslenie pervoj chastoty sobstvennyh kolebanij optimal'nym izmeneniem raspolozhenija vneshnej massy. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2014, no. 4 (45), pp. 70-80.
9. Demidov N.N., Melikova V.G. O vlijanii neravnomernyh osadok na naprazhhenno-deformirovannoe sostojanie sterzhnevnyh prostranstvennyh konstrukcij. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 10, pp. 29-32.
10. Tur V.I. Predvaritel'noe naprazhzenie sfericheskogo setchatogo kupola. *Vestnik Ul'janovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 1998, no. 2 (3), p. 98-103.
11. Kuz'micheva I.G., Kolesnikov A.G. Regulirovanie usilij predvaritel'nym naprazhženiem otdel'nyh jelementov. *Problemy i dostizheniya sovremennoj nauki*, 2016, no. 1 (3), pp. 113-116.

12. Banichuk N.V., Karpov I.I., Klimov D.M., Markeev A.P., Sokolov B.N., Sharanjuk A.V. *Mehanika bol'shikh kosmicheskikh konstrukcij*. Moscow, 1997.
13. Korolev V.S., Poljahova E.N. Problemy ustojchivosti dvizhenija kosmicheskogo apparata s solnechnym parusom. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, 2016, no. 8 (56), pp. 21-34.
14. Vasil'kin A.A., Shherbina S.V. Avtomatizirovannoe reshenie zadachi opredelenija optimal'noj vysoty stal'noj fermy po kriteriju minimuma massy pri variacii vysoty fermy. *Integracija, partnerstvo i innovacii v stroitel'noj nauke i obrazovanii. Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii (12-13 nojabrja 2014 g.)* Moscow, 2015.
15. Belousov V.E., Nguen V.T. Algoritm vybora nailuchshego varianta provedenija naturnogo jeksperimenta v mnogokriterial'nyh zadachah modelirovanija slozhnyh tekhnicheskikh ob'ektov. *Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii*. 2016, vol. 63, no. 1, pp. 55-59.
16. Birjukov A.V. Metodika provedenija jeksperimenta i osrednenija parametrov. *Sovershenstvovanie jenergeticheskikh mashin. Sbornik nauchnyh trudov*, ed. by Rogal'ov V. V.. Brjansk, 2011, pp. 124-136.
17. Oluwole O., Joshua J., Nwagwo H. Finite element modeling of low heat conducting building bricks. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2012, no. 11, pp. 800-806.
18. Kulkarni S. A., Vesmawala G. Study of steel moment connection with and without reduced beam section. *Case Studies in Structural Engineering*, 2014, no. 1, pp. 26–31.
19. Sobolev Ju.V., Vasil'kin A.A., Koloskov A.D. Opredelenie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija stenki s geometricheskimi defektami v oblasti montazhnogo styka chislennymi metodami. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2005, no.12, pp. 44-45.
20. Danilov V.I., Ljalin V.E. Verifikacija matematicheskoj modeli sooruzhenija na osnove provedenija naturnogo jeksperimenta deformacii i razrushenij sushhestvujushhego stroenija s uchetom izmenenija litologicheskogo sostojanija grunta. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2013, no. 2 (22), pp. 11-16.
21. Doronin V.V., Nguen Kan' Thuan, Prohorov A.D. Opredelenie optimal'noj moshhnosti neftebazy. *Neft', gaz i biznes*, 2008, no. 4, pp. 77-78.
22. Serensen S.V. Izbrannye trudy. vol. 3. Kvazistaticheskoe i ustalostnoe razrushenie materialov i jelementov konstrukcij. Moscow, 1985.
23. Abovskij N.P., Endzhievskij L.V., Savchenkov V.I. i dr. Regulirovanie. Sintez. Optimizacija. Izbrannye zadachi po stroitel'noj mehanike i teorii uprugosti. Moscow, Strojizdat Publ., 1993, 456 p.

УДК 004.832.32

С.А. Зинкин, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (Пенза, Россия) (e-mail: zsa49@yandex.ru)

Мустафа Садек Джафар, аспирант, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (Пенза, Россия) (e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ИНФРАСТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «СЕТЬ – ЭТО КОМПЬЮТЕР»

Рассмотрена концепция «сеть – это компьютер», которая получила свое дальнейшее развитие в виде парадигмы облачных приложений, обладающих свойствами «мультиарендности» и «живой» миграции баз данных. Особый интерес в этой связи представляет разработка гибкого связующего (middleware) программного обеспечения промежуточного уровня для больших переконфигурируемых кластерных серверных систем в рамках реализации средств поддержки концепции «больших данных». Поэтому развивается подход к проектированию реконфигурируемой и параметрически настраиваемой системной и функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем. В ряде случаев реализация данного подхода может обеспечить повышение эффективности и снижение стоимости больших программных и аппаратных систем. В статье приведена классификация распределенных вычислительных систем при учете специфики облачных, грид, кластерных и других видов коммунальных, параллельных и распределенных вычислений. Рекомендовано использовать в качестве базовых гибридные архитектуры, сочетающие положительные свойства облачных, грид и кластерных распределенных вычислительных систем. Развита концепция организации распределенных сетевых вычислений как сервисов, реализуемых по требованию клиента. Предложена сетевая модель, описывающая работу гибридной облачной грид-системы со сторонними аудиторами и провайдерами облачных сервисов. Отличительной особенностью предложенной модели является то, что при реализации концепции NCaaS (Network Computing as a Service on Demand – сетевая архитектура как сервис по запросу пользователя) до выполнения запроса типа Upload (загрузить в облако) может быть запрошена метainформация о имеющихся ресурсах в целях дальнейшего создания виртуального кластера из доступных узлов сети провайдера облачных сервисов, а до выполнения запроса типа Download (скачать информацию из облака) запрашивается мета-информация об узлах, хранящих полученные результаты. Метаинформацию возможно получить не только от стороннего аудитора, но и от удаленного сервиса мониторинга. Для дальнейшего развития предлагаемых концепций до реальной технологии целесообразно разработать методику трансформации концептуальных моделей системной и функциональной архитектуры в спецификации, пригодных для образования виртуальных топологий сетевого компьютера типа NCaaS в гибридной облачной среде.

Ключевые слова: распределенные вычисления и системы; классификация; концептуальные модели; облачные и грид-системы; гибридные архитектуры; сетевая модель.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-75-93

Ссылка для цитирования: Зинкин С.А., Джафар Мустафа Садек. Развитие информационно-коммуникационных инфраструктур распределенных вычислительных систем на основе концепции «сеть – это компьютер» // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 75-93.

Введение

Распространение высокоскоростной широкополосной связи между компьютерами в сетях, постоянное увеличение вычислительных мощностей и рост Интернета привели к изменению способов по-

лучения вычислительных и информационных услуг. Географически распределенные ресурсы, такие как устройства хранения, источники данных и суперкомпьютеры, взаимосвязаны и могут быть

использованы пользователями всего мира как единый ресурс.

Сложность аппаратного и программного обеспечения вычислительных систем все более возрастает. Проектирование вычислительных сетей, распределенных вычислительных систем заставляет разработчиков искать новые подходы к проектированию непрерывно модифицируемого аппаратного и программного обеспечения. В последнее время большое внимание уделяется исследованию вычислительной инфраструктуры облачных сред, грид-систем и мобильных беспроводных сетей.

Компания Sun Microsystems, слившаяся со временем с корпорацией Oracle, провозгласила в свое время в качестве девиза концепцию «The Network is the Computer» («сеть – это компьютер»). Получили широкую известность ее ранние технологии, в той или иной степени поддерживающие данную концепцию: Network File System, Java, OpenSolaris, а также основанные на Java-технологиях методы построения распределенных вычислительных систем, например, такие как Remote Method Invocation, Jini, JavaSpaces, Java Management Extensions, Jiro, JXTA (Juxtapose). В настоящее время слоган «The Network is the Computer» фактически заменен понятием «Network Computing».

Характерной особенностью современных распределенных вычислительных систем является возможность динамического изменения их функциональной и системной архитектуры, что обеспечивает поддержку реализации концепции «сеть – это компьютер» на основе принципов, характерных для организации коммунальных вычислений. Существует большое число фирм и организаций, за-

нимающихся созданием распределенных сетевых приложений. Интенсивно развиваются современные технологии Cloud Computing, Grid Computing, Global Computing, Community Computing и другие технологии распределенных систем и вычислений, являющиеся, по существу, развитием концепции «The Network is the Computer», что свидетельствует об актуальности выбранного направления исследования в области проектирования распределенных вычислительных систем с облачной сетевой архитектурой, формируемой по требованию клиента.

Концепция «сеть – это компьютер» получила свое дальнейшее развитие в виде парадигмы облачных приложений, обладающих свойствами «мультиарендности» и «живой» миграции баз данных. Особый интерес в этой связи представляет разработка гибкого связующего (middleware) программного обеспечения промежуточного уровня для больших переконфигурируемых кластерных серверных систем в рамках реализации средств поддержки концепции «больших данных». Поэтому возник значительный интерес к проектированию реконфигурируемой и параметрически настраиваемой системной и функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем. В ряде случаев реализация данного подхода может обеспечить повышение эффективности и снижение стоимости больших программных и аппаратных систем.

1. Классификация распределенных вычислений и систем

Существует ряд классификаций распределенных вычислительных систем, однако многие из них не полны или не в полной степени учитывают современные тенденции развития распределенных вы-

числений и систем, рассматриваемых в качестве коммунальных услуг, предоставляемых пользователю.

На рисунке 1 представлена классификация распределенных вычислений и реализующих эти вычисления систем.

Данная классификация учитывает современные тенденции развития распределенных вычислений и систем, рассматриваемых в качестве коммунальных услуг, предоставляемых пользователю.

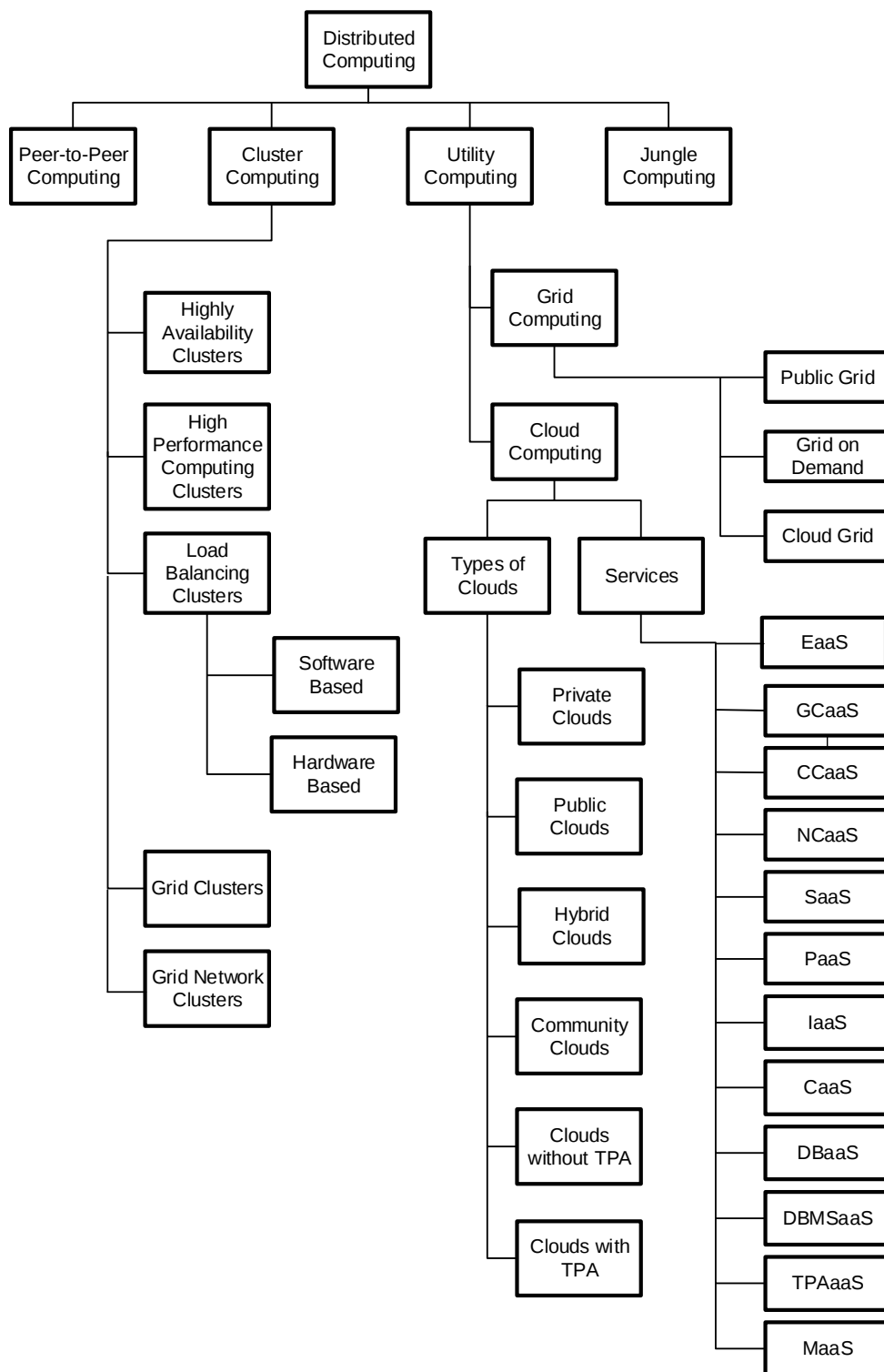


Рис. 1. Классификация распределенных вычислений и систем

Ниже описаны используемые термины и аббревиатуры, а также даны краткие комментарии. Для терминов на английском языке дан перевод. При составлении классификации были приняты во внимание литературные источники [1-12].

- Distributed Computing (DC) – вычисления, организуемые в распределенной (возможно, параллельной) вычислительной системе.

- Peer-to-Peer Computing (PtPC, или P2PC) – пиринговые вычисления, в реализации которых участвуют, как правило, оконечные компьютеры вычислительной сети, образующие масштабируемую в широких пределах одноранговую децентрализованную вычислительную среду, основанную на равноправии участников.

- Cluster Computing (CC) – кластеры (группы) компьютеров, связанные посредством высокоскоростных коммутаторов.

- Highly Available Clusters (HAC) – кластеры компьютеров, обеспечивающие высокий уровень надежности и готовности к использованию.

- High Performance Computing Clusters (HPCC) – высокопроизводительные кластеры.

- Load Balancing Clusters (LBC) – кластеры LBC-компьютеров, обеспечивающих балансировку вычислительной нагрузки.

- Software Based LBC (SB LBC) – программно-управляемые кластеры LBC-компьютеров.

- Hardware Based LBC (HB LBC) – аппаратно-управляемые кластеры LBC-компьютеров.

- Grid Clusters (GC) – кластеры компьютеров на основе высокоскоростных коммутаторов или локальных сетей, образующих грид-систему, то есть «решетку» компьютеров.

- Grid Networking Clusters (GNC) – организуемые в грид-системах виртуальные сетевые кластеры, содержащие в виде узлов отдельные компьютеры физической вычислительной сети (рис. 2).

- Utility Computing (UC) – вычисления, при реализации которых вычислительные возможности предоставляются как коммунальные услуги.

- Grid Computing (GC) – грид-вычисления; для реализации распределенных и, возможно, параллельных вычислений инфраструктура грид-системы образует виртуальный суперкомпьютер, доступный, как правило, нескольким организациям или проектным группам; виртуальный компьютер при этом может содержать как отдельные взаимосвязанные компьютеры, так и целые кластеры компьютеров, связанных высокоскоростными коммутаторами.

- Public Grid Computing (PGC) – грид-системы, открытые для коллективного пользования и образуемые свободно предоставляемыми вычислительными и коммуникационными ресурсами.

- Grid Computing on Demand (GCoD) – грид-системы типа GCoD; данные системы обычно являются коммерческими приложениями, организуемыми по требованию клиентов.

- Cloud Grid Computing (CGC) – грид-системы, организуемые в облачных предметно-ориентированных средах (рис. 3).

- Cloud Computing (CC) – облачные вычисления, реализуемые как частный случай коммунальных вычислений и предполагающие использование вычислительных ресурсов по типу использования ресурсов сети Интернет.

- Types of Clouds – разновидности облачных вычислений.

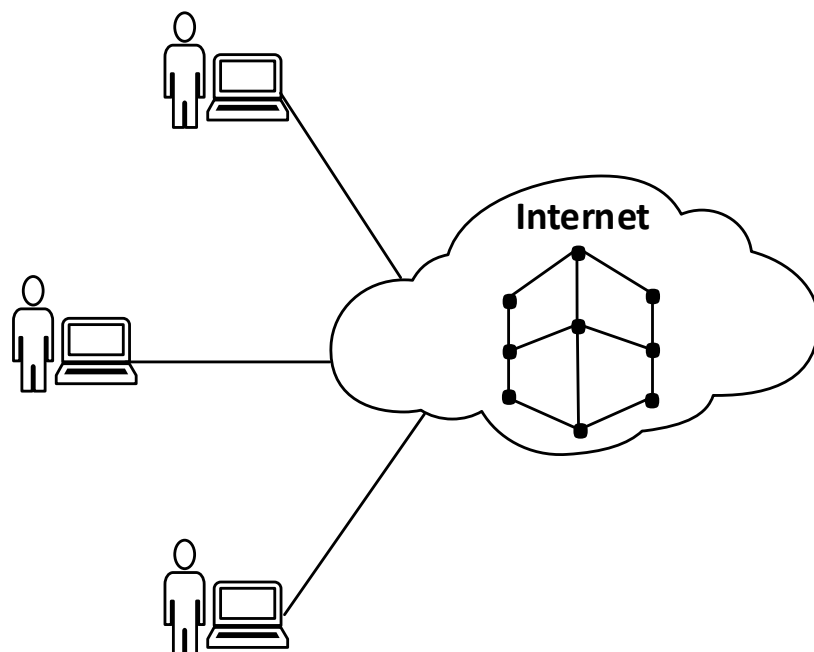


Рис. 2. Концептуальная модель Grid Networking Cluster (виртуального сетевого кластера)

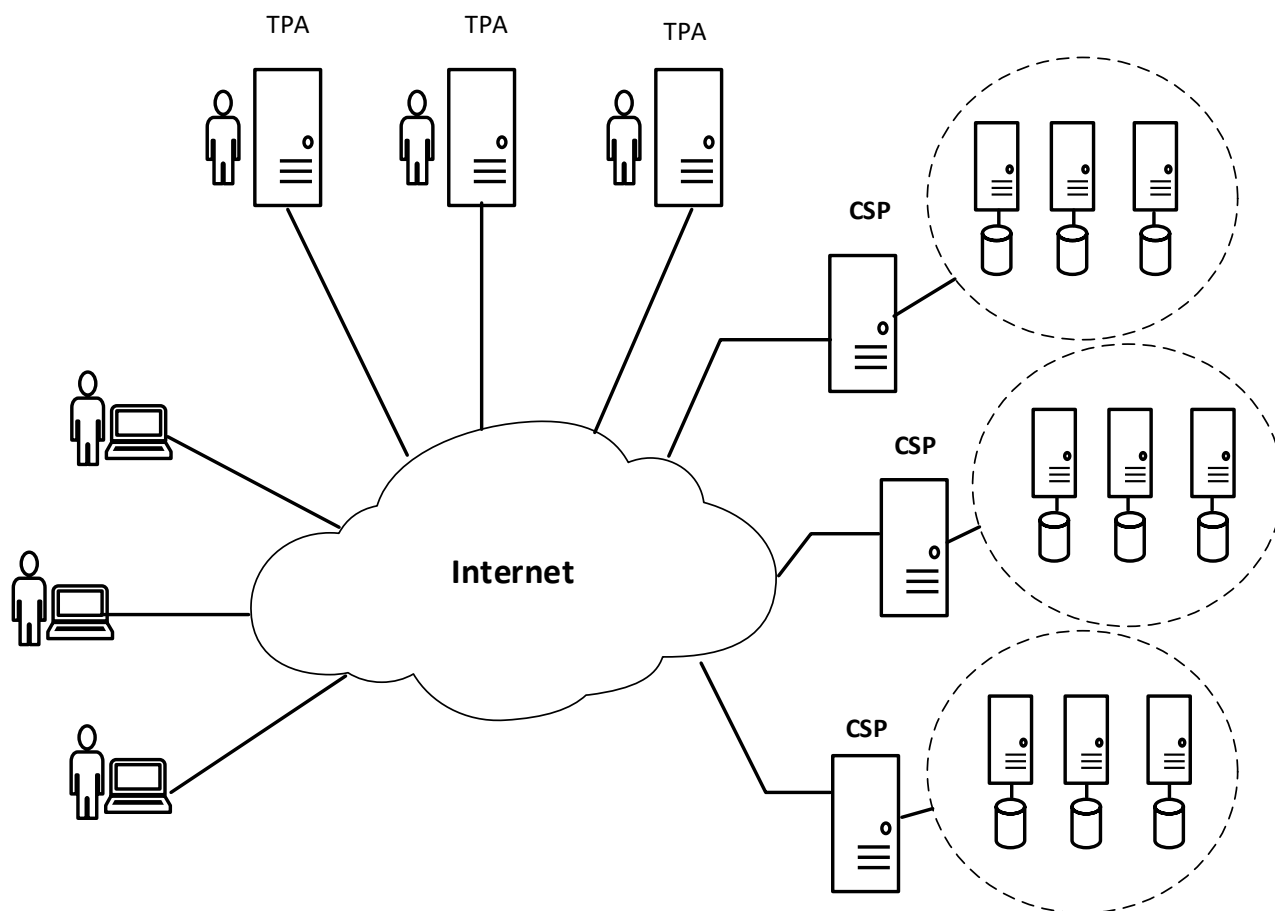


Рис. 3. Концептуальная модель облачной грид-системы CGC (Cloud Grid Computing) с несколькими сторонними аудиторами TPA (Third Party Auditors) и провайдерами облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider)

- Private Clouds (PrC) – “приватные, или частные, облака”, то есть облачная среда, реализуемая в вычислительной инфраструктуре, принадлежащей клиенту.

- Public Clouds (PubC) – общедоступная облачная среда.

- Hybrid Clouds (HC) – гибридная облачная среда, включающая как общедоступные, так и частные облачные ресурсы.

- Community Clouds (ComC) – облачная среда, коллективно используемая сообществом организаций.

- Clouds without TPA (CwoTPA) – облачная среда, предоставляющая вычислительные услуги или услуги хранения

без участия стороннего аудитора (TPA – Third Party Auditor, аудитор третьей стороны, или сторонний аудитор).

- Clouds with TPA (CwTPA) – облачная среда, предоставляющая вычислительные услуги или услуги хранения при участии стороннего аудитора TPA.

- Services – сервисы облачной среды.

- Everything as a Service (EaaS) – “всё” как сервис.

- Grid Computing as a Service (GCaaS) – грид-вычисления как сервис.

- Cluster Computing as a Service (CCaaS) – кластерные вычисления как сервис (рис. 4).

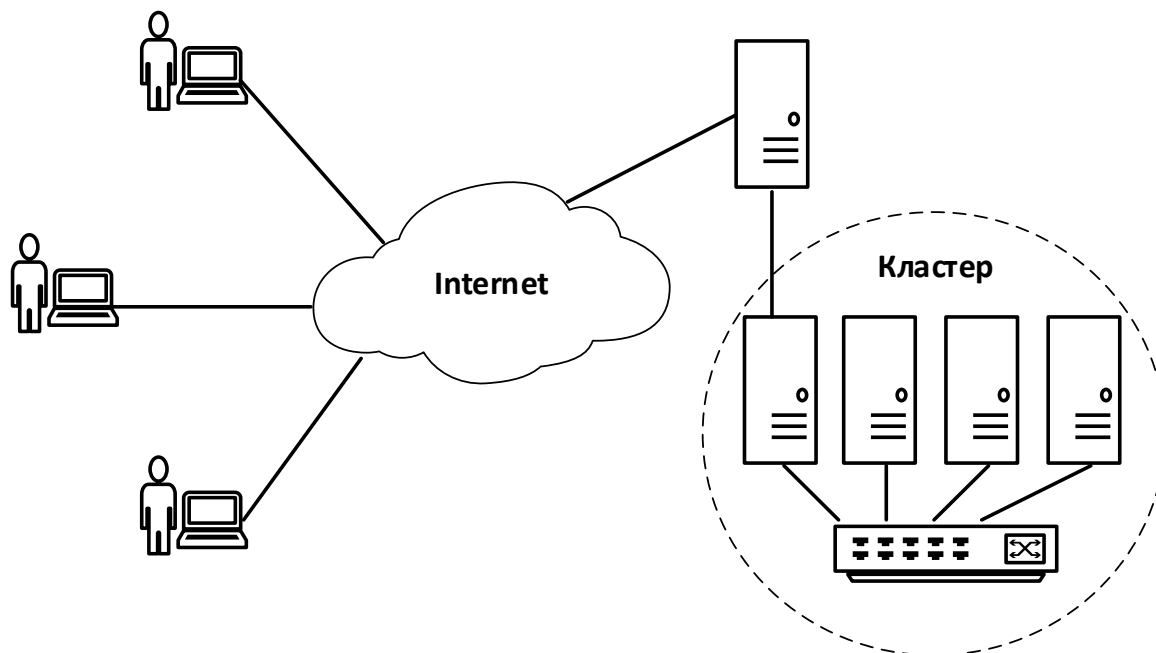


Рис. 4. Концептуальная модель CCaaS – Cluster Computing as a Service (кластерные вычисления как сервис)

- Network Computing as a Service (NCaaS) – сетевые вычисления как сервис.

- Software as a Service (SaaS) – программное обеспечение как сервис.

- Platform as a Service (PaaS) – платформа как сервис.

- Infrastructure as a Service (IaaS) – инфраструктура как сервис.

- Communications as a Service (CaaS) – коммуникации как сервис.

- Data Bases as a Service (DBaaS) – базы данных как сервис.

- Data Base Management System as a Service (DBMSaaS) – системы управления базами данных как сервис.

- Third Party Auditing as a Service (TPAaaS) – сторонний аудит как сервис;

- Monitoring as a Service (MaaS) – мониторинг использования облачной системы как сервис.

- Jungle Computing (JC) – форма организации распределенных вычислений, реализуемая в кластерных, грид и облачных средах на основе произвольной имеющейся инфраструктуры (Jungle в переводе с английского означает джунгли) [1, 2, 5].

Как видно из анализа работ [3, 5], происхождение многих терминов обязано виртуализации процессов и ресурсов в распределенных вычислительных системах.

2. Выбор базовой концептуальной модели для организации функционирования сред, оперативно реализующих распределенные вычисления по требованию клиентов

Распределенные вычислительные системы, реализованные на базе концепции NCaaS, предоставляют клиентам сетевые вычисления как сервис. Реализациям отдельных элементов данной модели в части сохранения целостности, доступности и безопасности данных посвящены работы [13-19]. Концептуально данную модель организации распределенных вычислительных систем иллюстрирует рисунок 5. Данный рисунок из работы [19] модифицирован путем добавления физического или виртуального кластера, организуемого в грид-системе, причем концепция NCaaS расширена до концепции NCaaSOD – сетевые вычисления как сервис, реализуемый по требованию клиента (Network Computing as a Service on Demand); основные этапы и компоненты, отмеченные на рисунке 5 кружками, имеют следующий смысл:

1 – загрузка (Upload) в облачное хранилище зашифрованных файлов;

2 – загрузка в компьютер стороннего аудитора метаданных для

верификации доступа к пользовательским файлам;

3 – запрос на верификацию доступа к файлам;

4 – вызов процедуры верификации доступа к файлам;

5 – ответ от провайдера облачных сервисов;

6 – результат верификации для клиента;

7 – скачивание (Download) зашифрованных данных из облачного хранилища;

8 – создание клиентом метаданных для верификации доступа к файлам;

9 – хранение метаданных для верификации доступа к файлам;

10 – сохранение зашифрованных файлов;

11 – метапланировщик облачных сервисов и сервисов

грид-инфраструктуры;

12 – коммутатор локальной сети грид-системы (в глобальной

сети наряду с коммутаторами используются также маршрутизаторы);

13 – хранение зашифрованных пользовательских файлов.

Концептуальная модель NCaaSOD, представленная на рисунке 5, в целом соответствует принципам организации распределенных и параллельных сетевых вычислений в предметно-ориентированных облачных и грид-средах. Другие модификации концептуальных моделей распределенных вычислений, представленные рисунками 2, 3 и 4, также в той или иной степени соответствуют концепции сетевого компьютеринга как сервиса по требованию клиента.

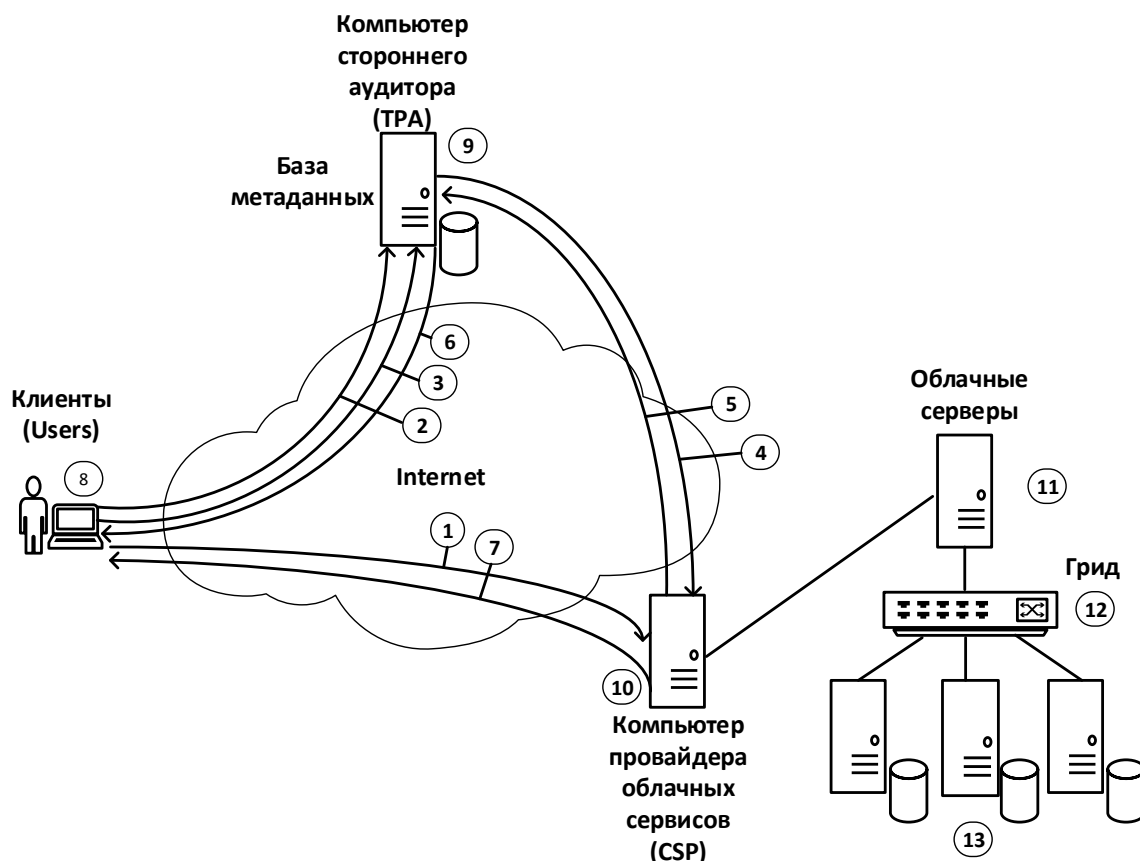


Рис. 5. Концептуальная модель сетевых вычислений как облачного сервиса, реализуемого по требованию клиента (Network Computing as a Service on Demand) [19, с изменениями]

Решения по организации доступа к метаданным и пользовательским данным в облачных сервисах представлены в следующих работах: основные сведения о функциях стороннего аудитора TPA (Third Party Auditing) и провайдера облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider) – [19, 20]; сведения о реализации PDP-запросов (Provable Data Possession – доказательство правообладания запрошенными данными) и POR-запросов (Proof of Retrievability – доказательство восстанавливаемости запрошенных данных) на метаданные – [20-23].

Вопросы реализации и применения технических и программных средств, функциональность которых настраивается по требованию клиента, на содержательном уровне рассмотрены в работе [24]. В частности, в этой работе предло-

жено при реализации инфраструктуры ODDCI (On-Demand Distributed Computing Infrastructure – распределенная компьютерная инфраструктура по требованию) для распределенных вычислений использовать цифровые телевизионные сети, что позволит обеспечить высокую масштабируемость, гибкость и производительность распределенной компьютерной архитектуры, формируемой по заказу клиента.

Принципы виртуализации распределенных вычислительных систем сформулированы в работах [25-28]. В простейшем случае при виртуализации достаточно реализовать отображение множества логических узлов в сети в множество физических узлов. Коллективные и другие виды обменов информацией в распределенных вычислительных системах можно

организовать по принципам, используемым в пиринговых сетях [29-30].

На рисунке 6 приведен пример сети Петри (использованы основные сведения о сетях Петри, приведенные, например, в работе [31]), описывающей работу облачной грид-системы NCaaSOD со сторонними аудиторами ТРА и провайдером облачных сервисов CSP, представленной на рисунке 5. На сети Петри кружками представлены позиции, представляющие очереди запросов от клиентов, а черточками – реализуемые программными компонентами активности, или переходы, продвигающие запросы к аудитору ТРА и далее к провайдеру CSP. В соответствии с этапами прохождения запроса, обозначенными на рисунке 5, сеть Петри описывает прохождение запросов четырех типов: Upload-запрос требует у провайдера облачного сервиса CSP выполнения загрузки в облачное хранилище зашифрованных файлов; Download-запрос требует у провайдера облачного сервиса CSP провести скачивание зашифрованных данных из облачного хранилища; PDP-запрос запрашивает у стороннего аудитора ТРА мета-информацию на подтверждение прав владения данными; POR-запрос запрашивает у стороннего аудитора ТРА метаинформацию о возможности извлечения и восстановления данных и предоставления их клиенту.

Отличительной особенностью предложенной модели является то, что для реализации концепции NCaaSOD до выполнения запроса типа Upload может быть запрошена метаинформация о имеющихся ресурсах в целях дальнейшего создания виртуального кластера из доступных узлов сети провайдера облачных сервисов, а до выполнения запроса типа Download запрашивается метаинформа-

ция об узлах, хранящих полученные результаты. Метаинформацию возможно получить не только от стороннего аудитора ТРА, но и от удаленного сервиса мониторинга RMS (Remote Monitoring Service).

Работа сети, представленной на рисунке 6, происходит следующим образом. Запросы, представленные метками, поступают на входную позицию Q_1 , переход L моделирует проверку аккаунтинга – Login и Password. При вводе ошибочных данных ввод следует повторить (метка поступает снова в позицию Q_1 через переход F , позицию Q_3 и переход R).

Если же данные о пользователе введены верно, то далее срабатывает переход S и метка передается в стартовую позицию *Start*. Далее, в зависимости от типа запроса – Upload, Download, PDP или POR срабатывает один из переходов S_1 , S_2 , S_3 или S_4 , и соответствующий запрос обрабатывается. Например, если это запрос типа Upload, при помощи перехода *MetaUp* моделируется обращение по сети к удаленному ресурсу ТРА. После получения ответа от данного ресурса срабатывает переход *MU* и далее аналогично моделируется обращение к удаленному ресурсу CSP. В модели, представленной на рисунке 6, условно отражены обращения к удаленным ресурсам.

3. Выбор базовой архитектуры распределенной вычислительной среды для реализации глобальных вычислений по требованию пользователя

Архитектура распределенных вычислительных систем, в том числе систем, строящихся на основе концепции «Network Computing», становится все более сложной.

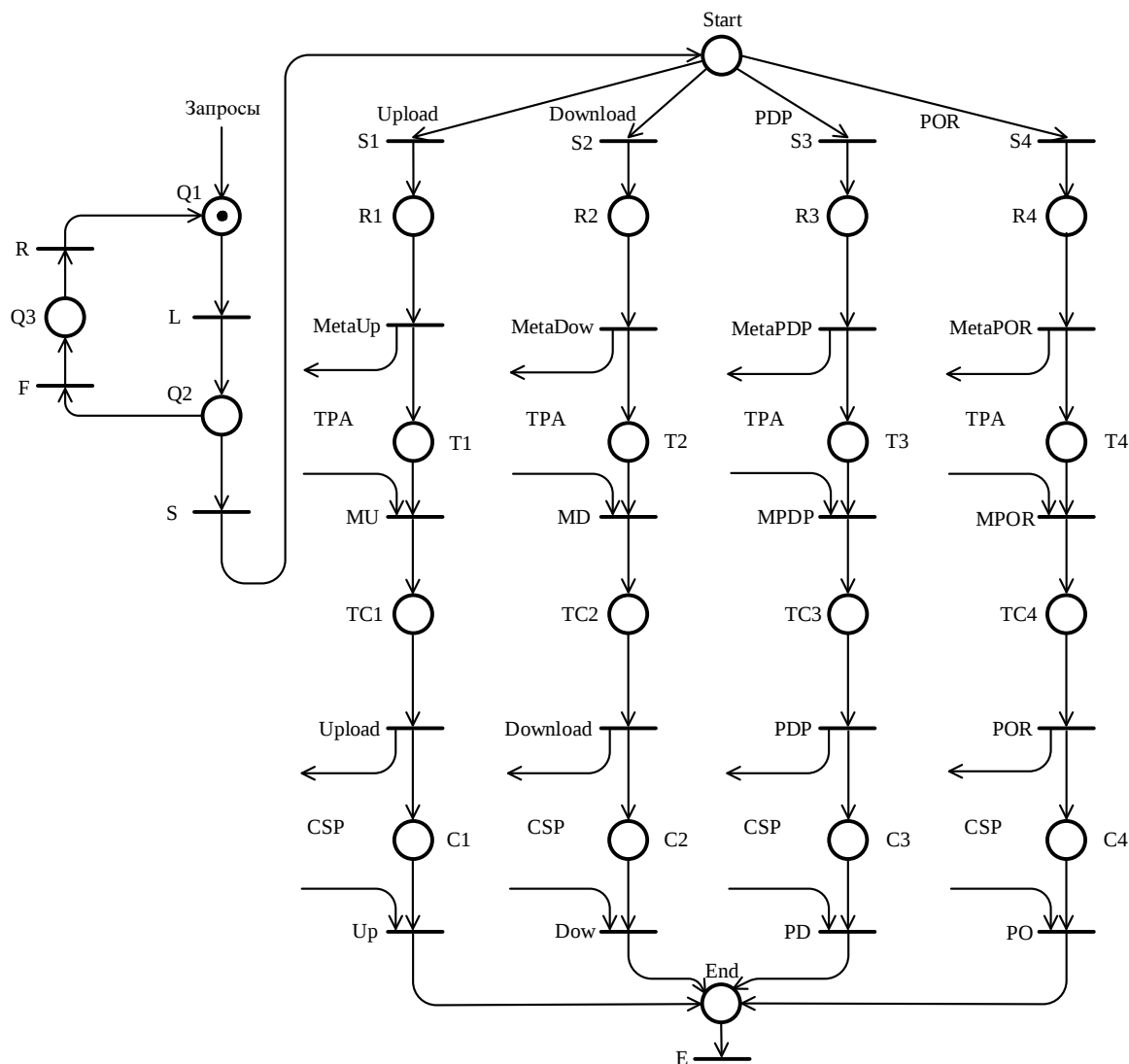


Рис. 6. Сеть Петри, описывающая работу облачной грид-системы NCaaS со сторонними аудиторами TPA (Third Party Auditors) и провайдерами облачных сервисов CSP (Cloud Services Provider)

Общая системная и функциональная архитектура сложных сетевых распределенных вычислительных систем нередко является результатом интеграции нескольких технологий, например технологий локальных и глобальных сетей, беспроводных сетей, облачных и грид систем. В настоящей работе рассматривается сетевая архитектура сетевой распределенной вычислительной системы, включающей в свой состав беспроводную сеть MANET и TCP/IP сеть – фрагмент сети Internet. Сети MANET (Mobile Ad hoc NETWORKS) представляют собой беспроводные

самоорганизующиеся сети со случайными мобильными абонентами, реализующие полностью децентрализованное управление при отсутствии базовых станций или опорных узлов [32-37]. Топология сетей MANET случайна и может быстро изменяться. Функционирование сетей MANET на уровне сетевых протоколов описано также в работах [38-39] одного из авторов настоящей работы.

На рисунке 7 представлена распределенная вычислительная система, в которой взаимодействуют две типовые распределенные облачные вычислительные

системы: MANET Cloud и Internet Cloud. Система с архитектурой NCaaSOD, реализуемая в сети Internet, представляет специфический сервис «сетевая архитектура, реализуемая как облачный сервис по тре-

бованию клиента». Здесь принято, что клиент-серверная архитектура доступа клиентов к серверам реализуется через составную TCP/IP сеть.

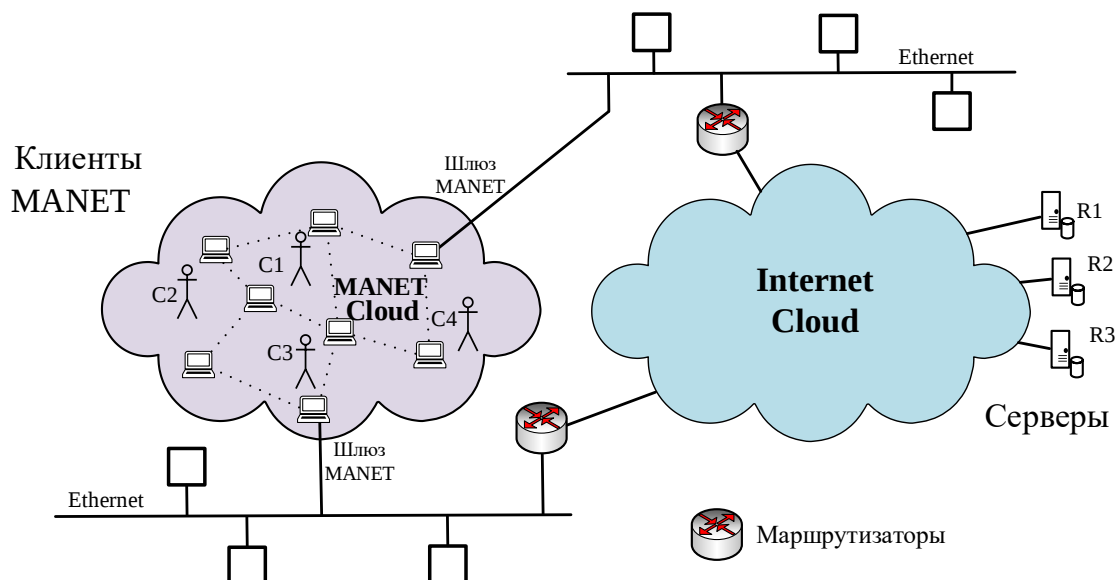


Рис. 7. Взаимодействие двух распределенных облачных вычислительных систем, реализующих архитектуру NCaaSOD

Несмотря на простоту модели, уже на концептуальном уровне проектирования распределенной вычислительной системы могут быть использованы различные схемы взаимодействия клиентов с серверами:

- схема 1: клиент обращается к определенному серверу;
- схема 2: клиент обращается к произвольному доступному серверу;
- схема 3: клиент последовательно опрашивает серверы при поиске информации и связывается с первым доступным сервером;
- схема 4: клиент осуществляет поиск информации, последовательно опрашивая серверы;
- схема 5: клиент блокирует серверы, не допуская доступа к ним других клиентов, и производит однотипные изменения в хранимых данных на всех серверах.

Возможна организация и других видов взаимодействий клиентов с серверами, при реализации которых учитываются различные критерии поиска, блокировки и разблокировки серверов.

Системы с архитектурой NCaaSOD на основе составной сети, представленной на рисунке 7, обладают высокой масштабируемостью и гибкостью, которая выражается в переменном составе инфраструктуры и в ее возможной реконфигурируемости.

Для облачно-сетевых архитектур целесообразно разработать реконфигурируемые исполнимые модели взаимодействия компонент в рамках заданной архитектуры, учитывающие сложные клиент-серверные взаимодействия, доступ к информационным ресурсам через компьютерную сеть, а также предложить методы применения таких моделей к проектиро-

ванию функциональной архитектуры распределенной вычислительной системы. Необходимо также, чтобы используемые модели относились к классу исполнимых формализованных моделей, чтобы их можно было бы непосредственно использовать при проектировании сетевого программного обеспечения. Основные предпосылки к созданию концептуально-поведенческих моделей с интерпретацией для реализации распределенных вычислительных систем в сетевой вычислительной и инфокоммуникационной среде предложены в работах [40-45].

Заключение

1. Проведена классификация распределенных вычислительных систем и вычислений. Анализ современной литературы показал, что распространение высокоскоростной широкополосной связи между компьютерами в сетях, постоянное увеличение вычислительной мощности и рост Интернета привели к изменению способов получения вычислительных и информационных услуг. Географически распределенные ресурсы, такие как устройства хранения, источники данных и суперкомпьютеры, взаимосвязаны и могут быть использованы пользователями всего мира как единый ресурс. Отмечена целесообразность использования в качестве базовых гибридных архитектур, сочетающих положительные свойства облачных, грид и кластерных распределенных вычислительных систем.

2. Функциональная архитектура для распределенной вычислительной системы, предоставляемой клиенту в виде облачного сервиса, определяется совокупностью сетевых приложений. При проектировании в рамках концепции «сеть – это компьютер» рекомендуется использо-

вать базовые облачные технологии, интегрированные с грид-технологиями.

3. При учете современной концепции предоставления вычислений как коммунальных услуг, для дальнейшего исследования может быть выбрана архитектура типа NCaaS – Network Computing as a Service On Demand (компьютерная сетевая архитектура как облачный сервис по запросу пользователя) как обеспечивающая необходимые гибкость и масштабируемость. Рассмотренная гибридная архитектура распределенной вычислительной среды для реализации глобальных вычислений, основанная на двух облачных средах – клиентской сети MANET Cloud и серверной сети Internet Cloud, отличается гибкостью в обеспечении требований клиента к переменной системной и функциональной архитектуре распределенной вычислительной системы.

4. Для дальнейшего развития предлагаемых концепций до реальной технологии целесообразно разработать методику трансформации концептуальных моделей системной и функциональной архитектуры в спецификации, пригодные для образования виртуальных топологий сетевого компьютера типа NCaaS в гибридной облачной среде.

Список литературы

1. Kahanwal B., Singh T. P. The Distributed Computing Paradigms: P2P, Grid, Cluster, Cloud, and Jungle // International Journal of Latest Research in Science and Technology. 2012, Vol. 1, is. 2, pp. 183-187.

2. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, Hen-

ri E. Bal. Department of Computer Science, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081A, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands, 2010, pp. 1-31.

3. Kumar R. Comparison between Cloud Computing, Grid Computing, Cluster Computing and Virtualization // International Journal of Modern Computer Science and Applications (IJMCSA). January, 2015. Vol. 3, No.1. Pp. 42-47.

4. Cluster computing and applications / M. Baker, A. Apon, R. Buyya, H. Jin. In A. Kent & J. Williams (Eds) // Encyclopedia of Computer Science and Technology. 2002. Pp. 87-125.

5. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, and Henri E. Bal, pp. 167-198. // In: Grids, Clouds and Virtualization / Cafaro M., Aloisa G. (Eds), Springer, 2011, XV, 235 p.

6. Mittal G., Kesswani N., Goswami K. A Survey of Current Trends in Distributed, Grid and Cloud Computing // International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering (IJASCSE). 2013. Vol. 2. No. 3. Pp. 1-6.

7. Sadashiv N., Kumar S. M. D. Cluster, Grid and Cloud Computing: A Detailed Comparison // The 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2011), August 3-5, 2011. SuperStar Virgo, Singapore, 2011. Pp. 477-482.

8. Jaiswal U. C. Study and Applications of Cluster Grid and Cloud Computing // International Journal of Engineering Research and Development. 2012. Vol. 3. No. 1. Pp. 45-50.

9. Kaur K., Rai A. K. A Comparative Analysis: Grid, Cluster and Cloud Computing // International Journal of Advanced Research in

Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 3. No. 3. Pp. 5730-5734.

10. Samah Mawia Ibrahim Omer, Amin Babiker A. Mustafa, Fatema Abdallah Elmahdi Alghali. Comparative study between Cluster, Grid, Utility, Cloud and Autonomic computing // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 2014. Vol. 9. Is. 6, Ver. III. Pp. 61-67.

11. Prathibha D. A., Latha B., Sumathi G. Issues in adapting cluster, grid and cloud computing for HPC applications // International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology. 2014. Vol. 2, no. 1. Pp. 12-16.

12. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications, series Computer Communications and Networks / B. Amedro, F. Baude, D. Caromel, C. Delbe, I. Filali, F. Huet, E. Mathias, O. Smirnov. Springer, 2010. Pp. 163-178.

13. Chourasiya N. L., Lature D., Kumavat A., Kalaskar V., Thaware S. Privacy-Preserving Public Auditing for Secure Cloud Storage // International Journal of Engineering Research and General Science (IJERGS). 2015. Vol. 3, no. 2. Pp. 744-748.

14. Kumarga N. P., Sireesha D. Ensuring Data Integrity in Cloud Computing // International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). 2014. Vol. 14, no. 9. Pp. 34-38.

15. Wasnik N. P., Bartere M. M. Privacy Preserving Auditing For Cloud Storage // International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. Vol. 4, no. 5. Pp. 2557-2560.

16. Bhagyashri S., Gurav Y. B. Privacy-Preserving Public Auditing For Secure Cloud Storage // IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE). Jul – Aug. 2014. Vol. 16, no. 4. Ver. III. Pp. 33-38.

17. Sowparnika M., Dheenadayalu R. Improving data integrity on cloud storage

services // International Journal of Engineering Science Invention. 2013. Vol. 2, no.2. Pp. 49-55.

18. Kshirsagar V. M., Gulhane V. S. A Review on Third Party Auditing by using KERBEROS System for Secure Cloud Storage // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM). 2014. Vol. 3, no. 3. Pp. 426-432.

19. Maher Alharby. Third-Party based Data Auditing Service (TP-DAS). University of Manchester. School of Computer Science, 2015. Pp. 1-88.

20. Kumar B. S., Rani V. U., Mustafa Saad. Public Integrity Auditing for Dynamic Data Sharing With Multiuser Modification // International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2017. Vol. 5, no. 6. Pp. 856-859.

21. Provable data possession at untrusted stores / Ateniese G., Burns R., Curtmola R., Herring J., Kissner L., Peterson Z., Song D. // Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007. Pp. 598-609.

22. Juels A., Kaliski D. S. Pors: proofs of retrievability for large files // Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007. Pp. 584-597.

23. Bowers K. D., Juels A., Oprea A. Proofs of retrievability: Theory and implementation // Cryptology ePrint Archive, Report 2008/175, 2008. 24 p.

24. OddCI: On-Demand Distributed Computing Infrastructure / Costa R., Brasileiro F., Filho G. L., Sousa D. M. // Proceedings of the 2nd Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (MTAGS'09), November 16th, 2009, Portland, Oregon, USA, Association for Computing Machinery, 2009. Pp. 1-10.

25. Distributed Virtual Machines: A System Architecture for Network Computing // Sirer E. G., Grimm R., Gregory A. J.,

Anderson N., Bershad B. N. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cs.cornell.edu/people/egs/papers/kimera-tr98-09-01.pdf>. (Дата доступа 10.05.2018).

26. Kaur P., Rani R. Distributed and Cloud Computing Architecture // Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR). 2017. Vol. 3. Is. 2. Pp. 1119-1123.

27. Hybrid MPI and OpenMP Parallel Programming / Rabenseifner R., Hager G., Jost G., Keller R. // In: Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006. Pp. 11-11.

28. Venkata M. G. , Bridges P. G. MPI/CTP: A Reconfigurable MPI for HPC Applications // Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006. Pp. 96-104.

29. Chen Rui, Meng Xiao-jing. Modeling of UDP Hole Punching in P2P Network Using Petri Net // International Proceedings of Economics Development and Research. 2012. Vol. 49. Pp. 150-154.

30. Park H., Ratzin R. I., Schaar M. Peer-to-Peer Networks: Protocols, Cooperation and Competition // Source Title: Streaming Media Architectures, Techniques, and Applications: Recent Advances. 2011. 33 p.

31. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications // Proceedings of the IEEE. April 1989. Vol. 77, no. 4. Pp. 541-580.

32. Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing / Edited by Ivan

Stojmenovic. John Wiley & Sons, Inc., 2002. 630 p.

33. Chiu-Ching Tuan, Yi-Chao Wu. Grid Header Election by Predetermining in Mobile Ad-Hoc Networks // Journal of Applied Science and Engineering. 2012. Vol. 15, no. 1. Pp. 69-78.

34. Imran Ihsan, Muhammad Abdul Qadir, Nadeem Iftikhar. Mobile Ad-Hoc Service Grid – MASGRID // International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering. 2007. Vol. 1, no. 5. Pp. 778-781.

35. Bhaskaran R., Madheswaran M. Performance Analysis of Congestion Control in Mobile Ad-hoc Grid Layer // International Journal of Computer Applications. February, 2010. Vol. 1, no. 20. Pp. 102-110.

36. Li J., Khan S., Li Q. An efficient event delivery scheme in mobile ad hoc communities // Int. J. Communication Networks and Distributed Systems. 2013. Vol. 10, no. 1. Pp. 25-39.

37. An Approach to Ad hoc Cloud Computing / Kirby G., Dearle A., Macdonald A., Fernandes A. // Distributed, Parallel, and Cluster Computing. 2010. Pp. 1-6.

38. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. ACK Based Scheme for Performance Improvement of Ad-hoc Network // International Journal of Advances in Engineering & Technology, (IJAET). May 2012. Vol. 3. Is. 2.

39. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. Design and Development of ACK-Based Scheme Using FSA for Ad-hoc Networks // International Journal of Modern Engineering Research, (IJMER). Mar-Apr 2012. Vol. 2. Is. 2. Pp. 102-106.

40. Mustafa Sadeq Jaafar. New trends in cloud computing / Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin // Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology “New Information Technologies

and Systems”, Penza, Penza State University, Russia, 2016, pp. 96-103.

41. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. Dynamically changeable formal models for networking and computing // Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems”, Penza, Penza State University, Russia, 2016. Pp. 87-94.

42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. Reconfigurable network models for distributed computing systems // Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017). Penza, Russia, November 22-24, 2017. Pp. 92-104.

42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. The Implementation of Global Computing Through the Mapping of Object-Oriented Petri Nets into the Architecture of Distributed Computing Systems // Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology “New Information Technologies and Systems” (NITIS-2017). Penza, Russia, November 22-24, 2017. P. 105-116.

43. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing. D. V. Pashchenko, Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin, D. A. Trokoz, T. U. Pashchenko and M. P. Sinev // Proceedings of the 4th International Conference on Science & Engineering in Mathematics, Chemistry and Physics (SciTech 2016) Bandung, Indonesia, April 23-24, 2016. / In Journal of Physics: Conference Series 710 (2016) 012024 doi:10.1088/1742-6596/710/1/012024, ScieTech 2016, IOP Publishing, pp. 1-12.

44. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. The Auditing Based on the Public Variability, the Cloud’s Data Dy-

namics and Discrete-Event Simulation of a
Distributed Resource in Computer Network
// Academic Forum EMC-2015. Scientific

Publication. Taganrog: Publishing House of
SFU, 2015. 116 p, Pp. 49-60.

Поступила в редакцию 08.06.18

UDC 004.832.32

S.A. Zinkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University (Penza, Russia)
(e-mail: zsa49@yandex.ru)

Mustafa Sadeq Jaafar, Post-Graduate Student, Penza State University (Penza, Russia)
(e-mail: mustafajaafar221087@gmail.com)

DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION INFRASTRUCTURE OF DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS BASED ON THE CONCEPT "THE NETWORK IS THE COMPUTER"

The concept "network is a computer" that has been further developed in the form of a paradigm of cloud applications that have the properties of "multi-lease" and "live" database migration is considered. Of particular interest in this regard is the development of a middleware for large reconfigurable clustered server systems as part of the support of the "big data" concept. Therefore, an approach is being developed to design a reconfigurable and parametrically tuned system and functional architecture of distributed computing systems. In some cases, the implementation of this approach can provide increased efficiency and cost reduction of large software and hardware systems. The article categorizes distributed computing systems when taking into account the specifics of cloud, grid, cluster and other types of communal, parallel and distributed computations. It is recommended to use as a basis hybrid architectures that combine the positive properties of cloud, grid and cluster distributed computing systems. The concept of organization of distributed network computing as services, implemented at the client's request, is developed. A network model that describes the work of a hybrid cloud grid system with third-party auditors and cloud service providers, is proposed. A distinctive feature of the proposed model is that when implementing as a concept NCaaS (network architecture as a service on the user's request) before the execution of a request, such as Upload (uploading data to the cloud), meta-information about available resources in order to further create a virtual cluster from the available nodes of the network of the cloud service provider, and before requesting the download type request (request information from the cloud), information is requested about the nodes that store the results. Meta-information can be obtained not only from a third-party auditor, but also from a remote monitoring service. To further develop the proposed concepts to real technology, it is advisable to develop a methodology for transforming conceptual models of the system and functional architecture into specifications suitable for the formation of virtual topologies of a network computer such as NCaaS in a hybrid cloud environment.

Key words: distributed computing and systems; classification; conceptual models; cloud and grid systems; hybrid architectures; network model.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-75-93

For citation: Zinkin S.A., Mustafa Sadeq Jaafar. Development of Information and Communication Infrastructure of Distributed Computing Systems Based on the Concept "The Network is the Computer". Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 75-93 (in Russ.).

Reference

1. Kahanwal B., Singh T. P. The Distributed Computing Paradigms: P2P, Grid, Cluster, Cloud, and Jungle. International Journal of Latest Research in Science and Technology, 2012, vol. 1, is. 2, pp. 183-187.

2. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo

Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, Henri E. Bal. Department of Computer Science, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081A, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands, 2010, pp. 1-31.

3. Kumar R. Comparison between Cloud Computing, Grid Computing, Cluster Computing and Virtualization. *International Journal of Modern Computer Science and Applications (IJMCSA)*. January, 2015, vol. 3, no.1, pp. 42-47.

4. Cluster computing and applications / M. Baker, A. Apon, R. Buyya, H. Jin. In A. Kent & J. Williams (Eds). *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, 2002, pp. 87-125.

5. Jungle Computing: Distributed Supercomputing beyond Clusters, Grids, and Clouds / Frank J. Seinstra, Jason Maassen, Rob V. van Nieuwpoort, Niels Drost, Timo van Kessel, Ben van Werkhoven, Jacopo Urbani, Cerial Jacobs, Thilo Kielmann, and Henri E. Bal, pp. 167-198. In: *Grids, Clouds and Virtualization* / Cafaro M., Aloisa G. (Eds), Springer, 2011, XV, 235 p.

6. Mittal G., Kesswani N., Goswami K. A Survey of Current Trends in Distributed, Grid and Cloud Computing. *International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering (IJASCSE)*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 1-6.

7. Sadashiv N., Kumar S. M. D. Cluster, Grid and Cloud Computing: A Detailed Comparison. *The 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2011)*, August 3-5, 2011. SuperStar Virgo, Singapore, 2011, pp. 477-482.

8. Jaiswal U. C. Study and Applications of Cluster Grid and Cloud Computing. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 45-50.

9. Kaur K., Rai A. K. A Comparative Analysis: Grid, Cluster and Cloud Computing. *International Journal of Advanced Re-*

search in Computer and Communication Engineering, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 5730-5734.

10. Samah Mawia Ibrahim Omer, Amin Babiker A. Mustafa, Fatema Abdallah Elmahdi Alghali. Comparative study between Cluster, Grid, Utility, Cloud and Autonomic computing. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 2014, vol. 9, is. 6, ver. III, pp. 61-67.

11. Prathibha D. A., Latha B., Sumathi G. Issues in adapting cluster, grid and cloud computing for HPC applications. *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 12-16.

12. Amedro B., Baude F., Caromel D., Delbe C., Filali I., Huet F., Mathias E., Smirnov O. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications, series Computer Communications and Networks. Springer, 2010, pp. 163-178.

13. Chourasiya N. L., Lature D., Kumavat A., Kalaskar V., Thaware S. Privacy-Preserving Public Auditing for Secure Cloud Storage. *International Journal of Engineering Research and General Science (IJERGS)*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 744-748.

14. Kumarga N. P., Sireesha D. Ensuring Data Integrity in Cloud Computing. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 2014, vol. 14, no. 9, pp. 34-38.

15. Wasnik N. P., Bartere M. M. Privacy Preserving Auditing For Cloud Storage. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2015, vol. 4, no. 5, pp. 2557-2560.

16. Bhagyashri S., Gurav Y. B. Privacy-Preserving Public Auditing For Secure Cloud Storage. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, Jul – Aug. 2014, vol. 16, no. 4, ver. III, pp. 33-38.

17. Sowparnika M., Dheenadayalu R. Improving data integrity on cloud storage services.

International Journal of Engineering Science Invention, 2013, vol. 2, no.2, pp. 49-55.

18. Kshirsagar V. M., Gulhane V. S. A Review on Third Party Auditing by using KERBEROS System for Secure Cloud Storage. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), 2014, vol. 3, no. 3, pp. 426-432.

19. Maher Alharby. Third-Party based Data Auditing Service (TP-DAS). University of Manchester. School of Computer Science, 2015, pp. 1-88.

20. Kumar B. S., Rani V. U., Mustafa Saad. Public Integrity Auditing for Dynamic Data Sharing With Multiuser Modification. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 856-859.

21. Ateniese G., Burns R., Curtmola R., Herring J., Kissner L., Peterson Z., Song D. Provable data possession at untrusted stores. Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 598-609.

22. Juels A., Kaliski D. S. Pors: proofs of retrievability for large files. Proc. of CCS'07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 584-597.

23. Bowers K. D., Juels A., Oprea A. Proofs of retrievability: Theory and implementation. Cryptology ePrint Archive, Report 2008/175, 2008. 24 p.

24. Costa R., Bra-sileiro F., Filho G. L., Sousa D. M. OddCI: On-Demand Distributed Computing Infrastructure. Proceedings of the 2nd Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (MTAGS'09), November 16th, 2009, Portland, Oregon, USA, Association for Computing Machinery, 2009, pp. 1-10.

25. Sirer E. G., Grimm R., Gregory A. J., Anderson N., Bershad B. N. Distributed Virtual Machines: A System Architecture for Network Computing. URL: <http://www.cs.cornell.edu/people/egs/papers/kimera-tr98-09-01.pdf>. (Data dostupa 10.05.2018).

26. Kaur P., Rani R. Distributed and Cloud Computing Architecture. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2017, vol. 3, is. 2, pp. 1119-1123.

27. Rabenseifner R., Hager G., Jost G., Keller R. In: Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Hybrid MPI and OpenMP Parallel Programming. Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 11-11.

28. Venkata M. G., Bridges P. G. MPI/CTP: A Reconfigurable MPI for HPC Applications. In: Mohr B., Träff J. L., Worringen J., Dongarra J. (Eds). Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. EuroPVM/MPI 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4192. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 96-104.

29. Chen Rui, Meng Xiao-jing. Modeling of UDP Hole Punching in P2P Network Using Petri Net. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 2012, vol. 49, pp. 150-154.

30. Park H., Ratzin R. I., Schaar M. Peer-to-Peer Networks: Protocols, Cooperation and Competition. Source Title: Streaming Media Architectures, Techniques, and Applications: Recent Advances, 2011. 33 p.

31. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*. April 1989, vol. 77, no. 4, pp. 541-580.

32. Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing, ed. by Ivan Stojmenovic. John Wiley & Sons, Inc., 2002, 630 p.

33. Chiu-Ching Tuan, Yi-Chao Wu. Grid Header Election by Predetermining in Mobile Ad-Hoc Networks. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 69-78.

34. Imran Ihsan, Muhammad Abdul Qadir, Nadeem Iftikhar. Mobile Ad-Hoc Service Grid – MASGRID. *International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering*, 2007, vol. 1, no. 5, pp. 778-781.
35. Bhaskaran R., Madheswaran M. Performance Analysis of Congestion Control in Mobile Ad-hoc Grid Layer. *International Journal of Computer Applications*. 2010, vol. 1, no. 20, February, pp. 102-110.
36. Li J., Khan S., Li Q. An efficient event delivery scheme in mobile ad hoc communities. *Int. J. Communication Networks and Distributed Systems*, 2013, vol. 10, no. 1, pp.25–39.
37. Kirby G., Dearle A., Macdonald A., Fernandes A. An Approach to Ad hoc Cloud Computing. Distributed, Parallel, and Cluster Computing, 2010, pp. 1-6.
38. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. ACK Based Scheme for Performance Improvement of Ad-hoc Network. *International Journal of Advances in Engineering & Technology, (IJAET)*, May 2012, vol. 3, is. 2.
39. Mustafa Sadeq Jaafar, Sawant H. K. Design and Development of ACK-Based Scheme Using FSA for Ad-hoc Networks. *International Journal of Modern Engineering Research, (IJMER)*, Mar-Apr 2012, vol. 2, is. 2, pp. 102-106.
40. Mustafa Sadeq Jaafar, S. A. Zinkin Mustafa Sadeq Jaafar. New trends in cloud computing. *Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology. New Information Technologies and Systems*, Penza, 2016, pp. 96-103.
41. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. Dynamically changeable formal models for networking and computing. *Proceedings of the XIII-th International Conference of Science and Technology "New Information Technologies and Systems"*. Penza, 2016, pp. 87-94.
42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. Reconfigurable network models for distributed computing systems. *Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology "New Information Technologies and Systems" (NITIS-2017)*. Penza, 2017, pp. 92-104.
42. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A. The Implementation of Global Computing Through the Mapping of Object-Oriented Petri Nets into the Architecture of Distributed Computing Systems. *Proceedings of the Fourteenth International Conference of Science and Technology "New Information Technologies and Systems" (NITIS-2017)*. Penza, 2017, pp. 105-116.
43. Pashchenko D. V., Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Trokoz D. A., Pashchenko T. U., Sinev M. P. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing. *Proceedings of the 4th International Conference on Science & Engineering in Mathematics, Chemistry and Physics (SciTech 2016)* Bandung, Indonesia, April 23-24, 2016. / In *Journal of Physics: Conference Series* 710 (2016) 012024 doi:10.1088/1742-6596/710/1/012024, SciTech 2016, IOP Publishing, pp. 1-12.
44. Mustafa Sadeq Jaafar, Zinkin S. A., Pashchenko D. V. The Auditing Based on the Public Variability, the Cloud's Data Dynamics and Discrete-Event Simulation of a Distributed Resource in Computer Network. *Academic Forum EMC-2015. Scientific Publication*. Taganrog, 2015, pp. 49-60.

УДК 681.3.015; 681.5.08

П.А. Акулов, аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (Брянск, Россия) (e-mail: akulov.paul@mail.ru)

Д.И. Петрешин, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (Брянск, Россия) (e-mail: dipetreshin@yandex.ru)

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ СИЛ СОЧЛЕНЕНИЯ И РАСЧЛЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Приведено описание установки для измерения сил сочленения и расчленения электрических соединителей. Описана структура установки. Разработанный алгоритм работы установки позволяет проводить испытания разъемов в нескольких режимах работы с возможностью редактирования параметров, выполняет самодиагностику системы и выводит результаты измерения как на экран, так на внешний носитель информации.

Ключевые слова: электрический соединитель; сила сочленения; сила расчленения; автоматический режим; алгоритм работы.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-94-103

Ссылка для цитирования: Акулов П.А., Петрешин Д.И. Алгоритмическое обеспечение установки контроля сил сочленения и расчленения электрических соединителей // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 94-103.

Постановка задачи

Электрические соединители в процессе производства проходят ряд испытаний, в том числе измерение сил сочленения и расчленения. При этом применяются установки, которые не способны в полной мере обеспечить требуемые параметры испытания: заданную скорость перемещения разъема, величину начального ускорения и т.д. [1].

Разработанная установка [2] (рис. 1) предназначена для испытания электрических соединителей в автоматическом режиме с параметрами перемещения и режимами измерения сил сочленения и расчленения, установленными пользователем, а так же протоколирования и визуализации результатов измерений.

Установка конструктивно состоит из базовой механической части и сменной оснастки. Базовый узел, состоящий из двух плит, одна из которых (подвижная) приводится в движение с помощью ша-

рико-винтовой передачи от шагового двигателя, а вторая (неподвижная) связана с датчиком силы, сигнал которого используется для измерения сил сочленения и расчленения испытуемых электрических соединителей, и сменной оснастки.

На каждой из базовых плит (подвижной и неподвижной) устанавливается специализированное посадочное место (обойма), соответствующее типу испытуемого электрического соединителя [2].

Решение задачи

Сила, развиваемая при сочленении и расчленении испытуемых электрических соединителей, регистрируется при помощи тензометрического датчика. Сигнал от тензодатчика оцифровывается при помощи измерительного блока, в состав которого входит специализированный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микропроцессорный модуль управления.

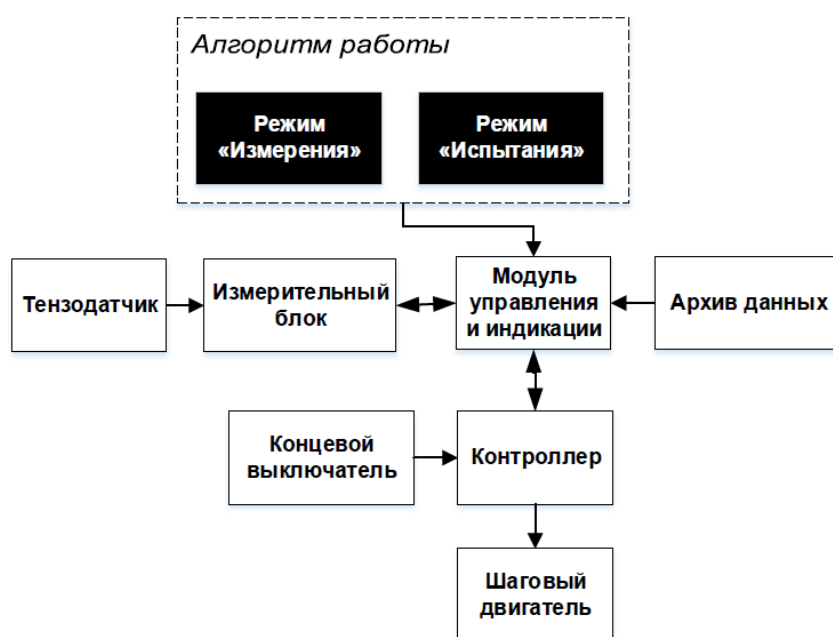


Рис. 1. Структурная схема установки

В зависимости от текущего режима работы и полученных данных по командам от измерительного блока осуществляется протоколирование результатов измерений, изменение направления и скорости перемещения [3].

Модуль управления и индикации выполнен на основе панельного сенсорного контроллера СПК110 [4]. Взаимодействие между модулем управления и измерительным блоком осуществляется по USB-шине, а между модулем управления и контроллером шагового двигателя – по протоколу MODBUS-RTU шины RS-485. Доступ к параметрам проведения измерений сил сочленения и расчленения испытуемых электрических соединителей осуществляется с помощью сенсорной панели.

Управление перемещением подвижной базовой плиты осуществляется контроллером шагового двигателя [5] по командам, поступающим от модуля управления установкой. Ввод, редактирование параметров перемещения и измерения силы сочленения и расчленения, индикация текущих значений параметров и ре-

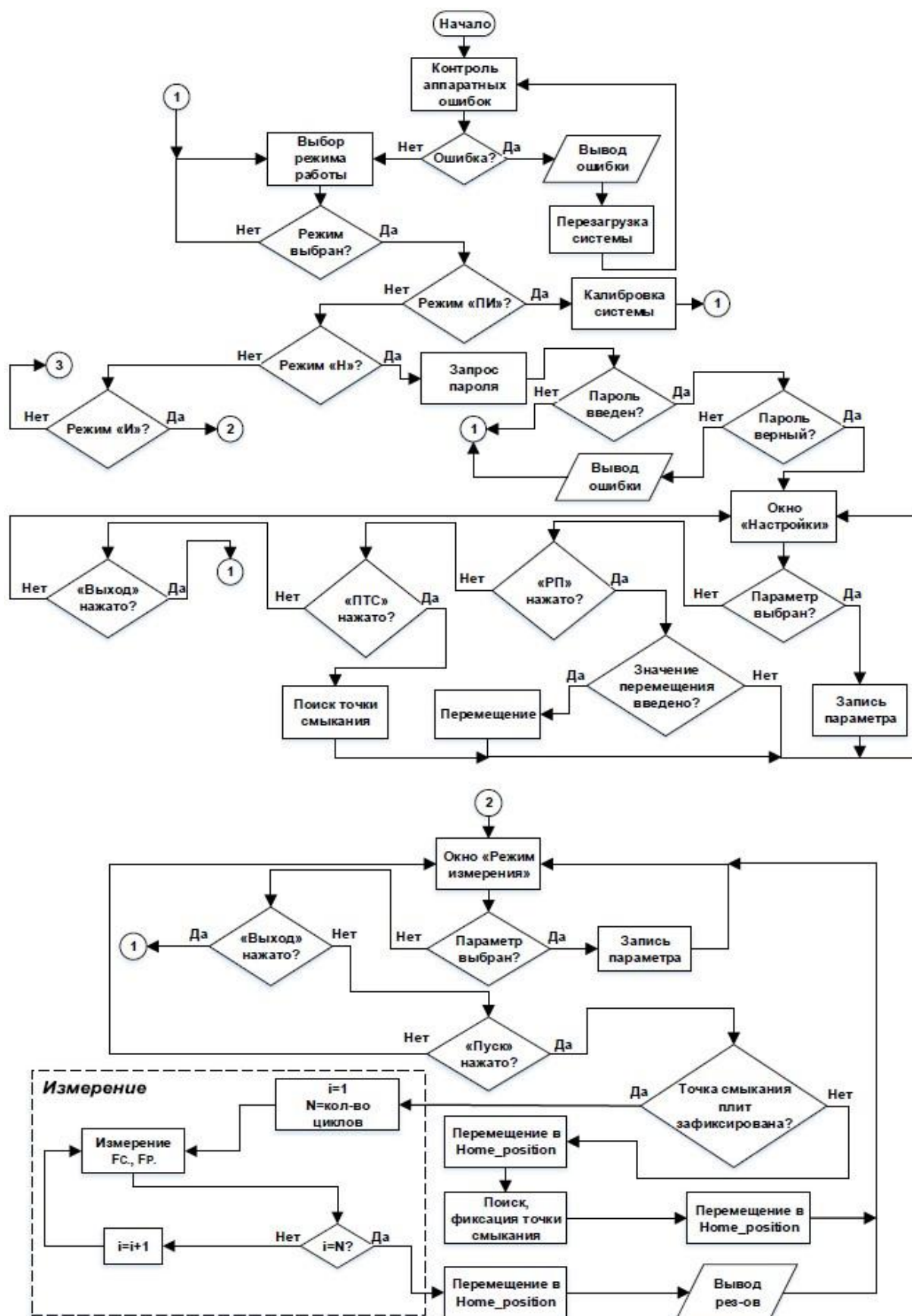
жимов проведения измерения осуществляется с помощью сенсорной панели.

Для фиксации начального положения подвижной плиты в конструкции установки предусмотрен прецизионный датчик, который обеспечивает точность и повторяемость срабатывания 1 мкм.

Функционирование установки подчинено разработанному алгоритмическому обеспечению (рис. 2).

Разработанный алгоритм работы установки испытания электрических соединителей реализован в виде соответствующего программного обеспечения (ПО) для ее системы управления.

После включения установки в питающую сеть запускается процесс контроля аппаратных ошибок. В случае сбоя элементов логики или отсутствия связи с контроллером и измерительным блоком на сенсорном экране появляется сообщение о возникшей ошибке, и система производит перезапуск. Если в ходе запуска аппаратных ошибок не было обнаружено, то отображается экран, представленный на рис. 3, который предлагает пользователю выбор режима проведения измерений.



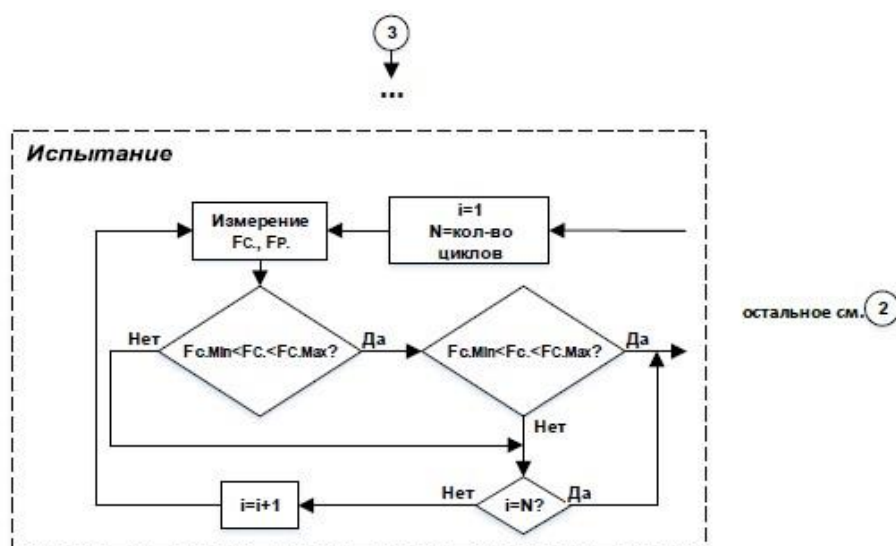


Рис. 2. Окончание (начало на с. 96)



Рис. 3. Визуализация стартового экрана

Сенсорное поле (кнопка) «Подготовка измерений» отображается только до проведения процедуры подготовки к измерениям и служит для запуска процедуры начальной самопроверки установки к проведению измерений, в ходе которой осуществляется контроль перемещения и установленного тензометрического датчика. Начальная калибровка установки должна выполняться каждый раз при включении питания.

Подготовка измерений (на рис. 2 – «Режим «ПИ»») состоит из нескольких отдельных процедур, следующих одна за

другой, при которых ПО проверяет функционирование отдельных узлов и модулей измерительной установки. В случае их успешного завершения на сенсорном экране отображается диалоговое окно с предложением пользователю удалить испытуемый электрический соединитель из посадочных креплений на обеих базовых плитах измерительной установки. После подтверждения пользователем готовности к продолжению, ПО осуществляет тестирование датчика силы. Контроль датчика силы основан на том, что деформация датчика прямо связана с

силой, фиксируемой датчиком. При этом ПО рассчитывает количество шагов, необходимых для фиксации силы величиной $2/3$ от максимальной величины, и осуществляет пошаговое перемещение в направлении смыкания базовых плит с одновременным контролем силы, развиваемой подвижной базовой плитой. В том случае, если заданная сила при выполнении требуемого количества шагов достигается, что свидетельствует о том, что датчик силы функционирует нормально, ПО формирует команды возврата подвижной базовой плиты в исходное положение. В противном случае – на сенсорном экране появляется диалоговое окно с сообщением об обнаруженной ошибке функционирования и дальнейшие измерения блокируются до устранения причин. После успешного завершения всех проверок ПО сообщает пользователю о своей готовности к проведению измерений.

Нажатие на кнопку «Настройки» приводит к переключению ПО в режим редактирования параметров проведения измерений (на рис. 2 – «Режим «Н»»). В связи с тем, что данный режим позволяет осуществить доступ к тонким настройкам режимов перемещения, редактировать токи в обмотках шагового двигателя, скорость разгона и торможения при перемещении и проведении испытаний, переключение в данный режим осуществляется с запросом пароля, известного лишь персоналу, уполномоченному на проведение данных операций. В случае корректного ввода значения пароля происходит переключение экрана в режим редактирования параметров. В противном случае переключение в режим редактирования параметров проведения измерений не осуществляется.

Внешний вид визуализации для установки и редактирования параметров установки приведен на рис. 4.

ВНИМАНИЕ ! НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ

Параметры Делитель шага 16 Шагов / оборот 200		Текущее усилие (кГс) 0.12		Калибровка	
Шаг ШВП (мм) 5.00 Усилие (макс.) 50.00		Текущая позиция (мм) 0.000		Отладка Исходн.положение Поиск	
Ток паузы (%) 30 Время паузы 500		Сдвиг в мм Сдвиг по шагам		Точка смыкания Поиск	
Перемещение Ток обмотки (мА) 3200		Измерения Ток обмотки (мА) 3500		Фиксация	
Скорость (нач.) 7.00 Скорость (макс.) 16.00		Скорость (нач.) 10.00 Скорость (макс.) 10.00		Блокировка в паузе	
Ускорение(%) 100 Торможение(%) 2		Ускорение(%) 100 Торможение(%) 0		ВЫХОД	

Рис. 4. Внешний вид визуализации окна редактирования параметров

При вызове технологического окна настроек пользователь имеет возможность осуществить редактирование следующих параметров: текущая сила, текущая позиция, делитель шага, шагов/оборот, шаг ШВП, сила (макс.), ток паузы, время паузы, ток обмотки, скорость (нач.), скорость (макс.), ускорение, торможение, сдвиг в мм, сдвиг по шагам, исходн. положение – Поиск, точка смыкания – Поиск, точка смыкания – Фиксация, блокировка в паузе, калибровка.

При нажатии на сенсорном экране значения вышеперечисленных параметров, открывается диалоговое окно с предложением ввести новое значение параметра. В том случае, если введено корректное значение, открывается всплывающее диалоговое окно с предложением пользователю подтвердить вновь введенное значение, которое заменяет прежнее значение. В случае ввода некорректного значения – появляется всплывающее сообщение о некорректном вводе значения параметра и изменения значения параметра игнорируются. Все вышеперечисленные параметры хранятся в энергонезависимой памяти и их значения сохраняются при выключении питания.

При нажатии на кнопку «Поиск» поля точки смыкания (на рис. 2 – «ПТС») происходит процедура калибровки установки, описанная ранее. Ручное перемещение подвижной плиты (на рис. 2 – «РП») обеспечивается нажатием на поля «Сдвиг в мм» и «Сдвиг по шагам».

Нажатие на сенсорную кнопку «ВЫХОД» приводит к переключению экрана в режим стартового экрана выбора режимов и выходу ПО из режима редактирования параметров.

Экран визуализации процесса измерений режима «Измерения», можно раз-

делять на область индикации (левая часть экрана), на котором схематично изображена шкала «Усилие (кГс)», на которой индицируется текущее значение силы, фиксируемой тензометрическим датчиком силы установки.

Правая часть экрана состоит из набора параметров, нажатие которых на сенсорном экране позволяет пользователю изменить параметры проведения измерений. Перед проведением измерений испытуемого электрического соединителя пользователь имеет возможность установить значения следующих параметров: соchl. (макс.), соchl (мин.), расchl. (макс.), расchl. (мин.), дистанция (мм), зазор (мм), число циклов, пуск. При нажатии на сенсорном экране значения вышеперечисленных параметров открывается диалоговое окно с предложением ввести новое значение параметра. В том случае, если введено корректное значение, открывается всплывающее диалоговое окно с предложением пользователю подтвердить вновь введенное значение, которое заменяет прежнее значение. В случае ввода некорректного значения появляется всплывающее сообщение о некорректном вводе значения параметра и изменения значения параметра игнорируются.

Нажатие на сенсорную кнопку «ВЫХОД» приводит к переключению экрана в режим стартового экрана выбора режимов и выходу из режима проведения измерений.

Значения параметров проведения измерений сохраняются во встроенной энергонезависимой памяти установки и сохраняются при выключении питания.

Процесс измерения силы сочленения и расчленения испытуемого соединителя состоит в том, что пользователю необходимо установить испытуемый электриче-

ский соединитель в соответствующие посадочные места на подвижной и неподвижной базовых плитах, проконтролировать правильность установки параметров измерения и запустить процесс нажатием сенсорного поля (кнопки) «ПУСК».

В том случае, если при запуске процедуры датчик не активен, на контроллер шагового двигателя выдается команда движения к датчику до его активации (срабатывания). В противном случае, если при начале процедуры установка фиксирует активное состояние датчика (срабатывание), то контроллер шагового двигателя формирует команды, по которым сначала подвижная базовая плита отъезжает от датчика на установленное расстояние, проверяет переход датчика в неактивное состояние и уже после этого снова формирует команды на движение базовой плиты к датчику до его активации (срабатывания).

После успешного завершения процедуры поиска исходного положения открывается диалоговое окно с предложением зафиксировать данное положение в качестве «исходного». После получения подтверждения от пользователя, ПО запоминает текущее положение подвижной базовой плиты в качестве «исходного положения» и использует его для последующих перемещений подвижной базовой плиты при последующих перемещениях в процессе проведения измерений.

В данной версии установки реализован алгоритм автоматического поиска точки смыкания базовых плит с использованием факта линейной зависимости силы, фиксируемой датчиком силы и его механической деформации.

При запуске процедуры поиска «нулевой точки» ПО осуществляет пошаговое перемещение подвижной базовой

плиты в направлении смыкания базовых плит с контролем силы, фиксируемой датчиком силы на каждом шаге.

После полного смыкания подвижной и неподвижной базовых плит сила, фиксируемая датчиком силы, нарастает после выполнения каждого следующего шага за счет деформации датчика силы. ПО фиксирует положение, при котором сила превышает (или равно) $1/10$ и $2/3$ от максимального значения датчика силы. После этого, по полученным данным (зафиксированным значениям силы в этих положениях и при известном расстоянии между этими двумя точками) установка вычисляет то положение, при котором сила будет равна нулю и формирует команду контроллеру шагового двигателя обеспечить перемещение подвижной базовой плиты в это положение. При успешном завершении данной процедуры открывается диалоговое окно с предложением пользователю подтвердить корректное нахождение «нулевой точки» в автоматическом режиме по нулевому значению силы, фиксируемому датчиком силы.

После запуска процесса подвижная базовая плита перемещается из исходного положения в зону проведения измерений с параметрами перемещения, заданными пользователем в опциях группы параметров «Перемещение», задаваемыми в режиме конфигурации параметров, на расстояние, заданное параметрами «Дистанция (мм)» и «Зазор (мм)» до «нулевой точки» (полного смыкания базовых плит), после чего осуществляет перемещение на расстояние «Дистанция (мм)» с параметрами перемещения, заданными в опциях группы «Измерения», задаваемыми в режиме конфигурации параметров, с одновременным контролем силы, фиксируемой датчиком силы. Количество цик-

лов перемещения в зоне проведения измерений задается полем «Число циклов» в опциях выбранного режима измерения.

При успешном завершении процесса измерений на экране сенсорной панели отображается всплывающее окно с результатами измерений, как это представлено на рисунке 5. При этом отображаются средние значения сил сочленения и расчленения, максимальные значения сил сочленения и расчленения, зафиксированные во время проведения измерений.

Кроме того, в случае фиксации сил сочленения и расчленения, выходящие за допустимые значения, установленные пользователем перед проведением измерений набором параметров Сочл.(мин.) – Сочл.(макс.) и Расчл.(мин.) – Расчл.(макс.) у соответствующего значения отображается предупредительный флаг красного цвета с тем, чтобы привлечь внимание пользователя о выходе результатов измерений за допустимые значения.



Рис. 5. Внешний вид окна отображения результатов измерения

При переключении ПО в режим «Тестирование» на сенсорной панели отображается соответствующий экран.

Все параметры, отображаемые в данном режиме, аналогичны тем, которые описывались ранее в режиме «Измерение», исключение составляет лишь кнопка «Адаптивный режим».

«Адаптивный режим» – дополнительная опция, позволяющая включить режим адаптивного проведения тестирования испытуемых электрических соединителей. При активации адаптивного ре-

жима тестирования после каждого цикла сочленения и расчленения испытуемого электрического соединителя установка анализирует значения силы и прерывает цикл тестирования в том случае, если сила сочленения и расчленения оказывается в диапазоне допустимых значений, установленных пользователем параметров «Сочл. (макс.)» ... «Сочл. (мин.)» для силы сочленения и «Расчл. (макс.)» ... «Расчл. (мин.)» для расчленения испытуемого электрического соединителя.

Для получения детализированных данных о результатах испытаний и измерения ПО установки автоматически генерирует файлы протокола и сохраняет их на флеш-карту.

В качестве формата файла используется формат представления данных JSON, а в качестве имени файла используется уникальный идентификатор, сформированный из даты и времени начала проведения тестирования или измерения. В качестве идентификатора режима «испытания» или «измерения» к уникальному имени файла добавляется суффикс «_m» - для режима измерений или «_t» - для режима испытания. В заголовке файла выводятся все параметры, при которых осуществлялся процесс тестирования или измерения. После заголовка в файле протоколируется поток данных о величине силы, фиксируемой датчиком силы для последующей обработки и/или формирования графиков.

Дополнительно ПО установки может формировать поток данных о величине силы, фиксируемой тензометрическим датчиком силы внешним потребителям данных (компьютеру, внешним системам сбора и обработки данных) в виде данных о величине силы, разделенных между собой символом «точка с запятой» и служебными символами «конца строки» и «перевода каретки» (0x0A, 0x0D в hex-кодировке).

Заключение

Таким образом, реализованное алгоритмическое обеспечение в виде соответствующего программного обеспечения в совокупности с разработанной установкой [2] позволяет в автоматическом режиме проводить испытание электрических соединителей с измерением сил со-

членения и расчленения с требуемыми режимами испытаний. Это позволяет повысить точность и производительности испытаний, а так же исключить действие человеческого фактора. Алгоритмическое обеспечение позволяет работать установке в нескольких режимах, обеспечивает контроль и самодиагностику системы с возможностью настройки параметров перемещения и выдачу информации о результатах проведенного испытания.

Список литературы

1. ГОСТ 23784. Соединители низкочастотные низковольтные и комбинированные. Технические условия М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 24 с.
2. Пат. РФ № 20171300135, 25.09.2017. Установка для измерения усилия сочленения и расчленения соединителей // Патент России № 177529. 2017/ Сырых А.Д., Акулов П.А.
3. Акулов П.А., Петрешин Д.И. Автоматизированная установка измерения силы сочленения и расчленения единичного контакта электрического соединителя // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 5 (58). С. 66-72.
4. СПК1xx. Панель оператора программируемая (панельный контроллер). Руководство по эксплуатации / ОБЕИ. URL: http://www.owen.ru/uploads/re_spc1xx_1760.pdf.
5. Контроллер шагового двигателя OSM -17RA/OSM -42RA. Прошивка OSM MB. Полное описание и руководство по эксплуатации. Версия 25-0413 / ООО «Онитекс». СПб., 2013. URL: http://onitex.ru/files/Documentation/OSM/datasheet_OSM17RA_OSM42RA.pdf.

Поступила в редакцию 23.07.18

UDC 681.3.015; 681.5.08

P.A. Akulov, Post-Graduate Student, Bryansk State Technical University (Bryansk. Russia)
(e-mail: akulov.paul@mail.ru)

D.I. Petreshin, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University (Bryansk. Russia) (e-mail: dipetreshin@yandex.ru)

ALGORITHMIC SUPPORT OF THE CONTROL SYSTEM OF FORCE OF JOINT AND DISJOINT OF ELECTRICAL CONNECTORS

A description is given of an installation for measuring the force of joint and disjoint of electrical connectors. The structure of the installation is described. The developed algorithm of the installation allows testing connectors in several modes of operation with the possibility of editing parameters, performs self-diagnostics of the system and displays the measurement results both on the screen and of external storage medium.

Key words: electrical connector; force of joint; force of disjoint; automatic mode; algorithm of operation.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-94-103

For citation: Akulov P.A., Petreshin D.I. Algorithmic Support of the Control System of Force of Joint and Disjoint of Electrical Connectors. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 94-103 (in Russ.).

Reference

1. GOST 23784. Soediniteli nizko-chastotnye nizkovol'tnye i kombinirovannye. Tehnicheskie uslovija. Moscow, 1998, 24 p.
2. Pat. RF № 20171300135, 25.09.2017. Ustanovka dlja izmerenija usilija sochlenenija i raschlenenija soedinitelej// Patent Rossii № 177529. 2017/ Syryh A.D., Akulov P.A.
3. Akulov P.A., Petreshin D.I. Avtomatizirovannaja ustanovka izmerenija sily sochlenenija i raschlenenija edinichnogo kontakta jelektricheskogo soedinitelja. *Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2017, no. 5 (58), pp. 66-72.
4. SPK1hh. Panel' operatora programmiruemaja (panel'nyj kontroller). Rukovodstvo po jekspluatacii / OVEN. URL: [http:// www.oven.ru/uploads/re_spc1xx_1760.pdf](http://www.oven.ru/uploads/re_spc1xx_1760.pdf).
5. Kontroller shagovogo dvigatelja OSM -17RA/OSM -42RA. Proshivka OSM MB. Polnoe opisanie i rukovodstvo po jekspluatacii. Versija 25-0413 / OOO «Oniteks». SPb., 2013. URL: [http:// onitex.ru/files/Documentation/OSM/datasheet _OSM17RA _OSM42RA.pdf](http://onitex.ru/files/Documentation/OSM/datasheet_OSM17RA_OSM42RA.pdf).

Е.Г. Кабулова, канд. техн. наук, доцент, Старооскольский технологический институт им. Ф.Ф. Уварова филиал СТИ НИТУ «МИСиС» (Старый Оскол, Россия)
(e-mail: evgenia791@mail.ru)

МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

На сегодняшний день металлургическое производство с точки зрения управления и многостадийного характера изготовления продукции является сложной, большой системой с различными особенностями функционирования подсистем и элементов. Традиционные методы для реализации управления такими системами малоэффективны, так как одной из основных проблем при этом является выбор оптимальных управленческих решений с учетом текущих ситуаций и ограничений на изменения значений технологических параметров. Одной из проблем, возникающих при управлении сложными технологическими системами металлургического производства, является разнородность большого объема данных, затрудняющая процесс принятия эффективных и оперативных решений при управлении производством. Принятие адекватных решений экспертом связано с необходимостью агрегировать разного рода информацию на различных уровнях иерархии. Кроме того, функционирование реальных сложных систем металлургического производства происходит в условиях неопределенности информации, и реализовать эффективное управление, организовать поддержку принятия решений, обеспечить оперативность и точность информации для повышения качества металлопродукции и технико-экономических показателей производства в данном случае не представляется возможным. В связи с чем в работе предложена модель интеграции разнородной информации в условиях неопределенности, которая позволит учитывать меру значимости не только отдельных значений технологических параметров на определенной стадии производства, но и множества таких параметров за счет применения нечеткой меры при интеграции данных. Данная модель позволит повысить точность определения необходимых значений технологических параметров за счет учета всех стадий производства, выполняемых технологических операций, а также за счет использования агрегирования данных на каждом переделе. Особенностью разработанной модели является возможность применения корректирующих процедур для последовательной адаптации функций принадлежности нечетких параметров.

Ключевые слова: сложные технологические системы; агрегирование данных; интеллектуальная поддержка управления; многостадийная технология в условиях неопределенности.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-104-111

Ссылка для цитирования: Кабулова Е.Г. Модель интеграции разнородной информации при управлении сложными технологическими системами в условиях неопределенности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 104-111.

Введение

На сегодняшний день развитие металлургического производства приводит к необходимости их трактовки как сложных технологических систем с множеством элементов (стадий производства), технологических операций и параметров [1, 2]. Принятие решений в таких системах связано с обработкой и анализом большого объема разнородной информации, которую необходимо правильно интерпретировать и агрегировать с учетом возникающей неопределенности и неточ-

ности данных на различных уровнях иерархии. С учетом всевозрастающей размерности и сложности систем горно-металлургического производства и множества применяемых технологий, принятие решений в таких условиях однозначно приводит к многочисленным ошибкам, нарушению технологии производства, браку продукции [2].

Проблема агрегирования данных в различных областях решалась всевозможными методами, основанными на теории подобия, вероятности, статистики

и т.д. [3, 4, 5, 6], но в данных работах не учитывалась возникающая неопределенность и неточность информации. Кроме того, в сложных многостадийных технологических системах неопределенность данных обусловлена наличием множества технологических параметров и взаимосвязанных переделов.

Из множества значений технологических факторов на каждой стадии производства требуется получить такой набор выходных параметров, который будет соответствовать заданному технологией производства или индивидуальной заказной спецификацией, что по сути является эталонной или номинальной моделью. Оценка факторов описывает степень их соответствия номинальной модели. Решение данной задачи требует преобразования оценок факторов в критериях начального уровня в оценки в критериях каждого последующего уровней [7]. Подобное преобразование вполне естественно реализовать с помощью операторов агрегирования или интеграции, которые с различной точностью отражают взаимосвязь между критериями [7].

Таким образом, проблему интеграции разнородной информации в условиях неопределенности можно решить применением операторов интегрирования на основе интеллектуальных методов поддержки принятия решений, в частности на основе теории нечетких множеств и нечеткой меры, что позволит не только адекватно определять текущее состояние технологических процессов, но и прогнозировать их выполнение на последующих переделах.

Следует отметить, что для интеграции данных на сегодняшний день достаточно часто используют искусственные нейронные сети [8], но это потребует для

обучения сети большое число статистической информации, получение которой не всегда возможно. В связи с чем разработка модели интеграции информации с применением операторов агрегирования является достаточно актуальной задачей.

Постановка задачи. Рассмотрим сложную многостадийную технологическую систему металлургического производства [9]. Пусть на каждой стадии производства выполняется множество технологических операций TO_i по заданной технологии.

Результат функционирования каждой стадии производства St_k – это набор выходных факторов производства $\Phi = \{\phi_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ со значениями технологических параметров $\Psi = \{\psi_j\}, j = 1, 2, \dots, m$, которые сравниваются с заданными в индивидуальной заказной спецификации, т.е. с номинальными значениями $\Phi_{изс} = \{\phi\}$.

Очевидно, что выходные свойства продукции (показатели качества, например: химический состав стали, твердость и т.д.) имеют зависимость от соответствующих технологических параметров ψ_j и их значений, которые задаются в пределах допустимой области изменения, а также от внешних воздействий P , то есть $\Phi_i = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_j, P)$.

Как было отмечено ранее, в рассматриваемых сложных системах возникает значительная неопределенность и неточность информации при достижении необходимых выходных свойств продукции [10], что дает основание представить технологические параметры как нечеткие множества в следующем виде: $\Psi_j = (\psi_j, \mu(\psi_j))$, где $\mu(\psi_j)$ – функция принадлежности. Таким образом, за-

дача заключается в необходимости получить интегрированный показатель качества не только на любой стадии производства, но и при выполнении всех производственных переделов, учитывая при этом взаимосвязь параметров с помощью нечеткой меры.

Методика. В связи с тем, что результат выполнения любой технологической операции – это набор значений выходных показателей качества (параметров) ψ_j , поставим в соответствие каждому параметру значение нечеткой меры $g(\psi_j) \in [0,1]$ (для данной процедуры можно привлечь, например, экспертов или получить информацию в результате эксперимента и т.д.) [11, 12].

Так как факторы производства Φ_i влияют на оценку вариантов из множества номинальных $\Phi_{изс}$, то это влияние можно реализовать с помощью λ - параметра Суджено, значение которого вычисляется из условия нормировки [13, 14]:

$$\frac{1}{\lambda} \left[\prod_{i=1}^N (1 + \lambda g_i) - 1 \right] = 1, \quad -1 < \lambda < \infty. \quad (1)$$

Агрегирование разнородных по сути технологических параметров производства требует формирования множества Ψ_j и функций принадлежности $\mu(\psi_j)$. Для выполнения этой задачи необходимо сравнить значения промежуточных выходных параметров $\Psi_j^{промеж.}$, сформированных в результате выполнения определенной стадии производства, с заданными в индивидуальной заказной спецификации или установленными технологией $\Psi_j^{изс}$. Результатом сравнения должно стать множество $\{\psi_j^1; \psi_j^2; \dots; \psi_j^k\}$, характеризующее степень приближения значений промежуточных значений $\Psi_j^{промеж.}$ к заданным в спецификации $\Psi_j^{изс}$.

На следующем этапе полученные множества $\Psi_j^k \cup \psi_j^k$, $k=1, \dots, n$ необходимо объединить в множество $\Psi_i = \bigcup_{k=1}^K \Psi_j^k$, которое упорядочивается, а его элементы индексируются, в результате чего получается множество $\Psi_j = \{\psi_{ji} \in \Psi_j\}$, на котором требуется задать функцию принадлежности $\mu(\psi_j)$, $\psi_j \in \Psi_j$, $j=1, \dots, m$.

Промежуточные выходные параметры $\Psi_j^{промеж.}$ будут совпадать такими заданными в спецификации $\Psi_j^{изс}$, у которых функция принадлежности принимает максимальное значение, $\mu(\psi_j^k) = \max$. Полученные функции принадлежности необходимо упорядочить таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$\mu(\psi_j^1) \geq \mu(\psi_j^2) \geq \dots \geq \mu(\psi_j^k).$$

Если условие выполняется, требуется вычислить значение нечеткой меры $g(\psi_j)$ согласно выражению [15]:

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda \cdot g_\lambda(A) \cdot g_\lambda(B), \quad -1 < \lambda < \infty. \quad (2)$$

На последнем этапе определяется оператор интегрирования Суджено следующим образом:

$$Agg = \max_{j=1}^K (\min(\mu_j^k(\psi_j), g(\psi_j))). \quad (3)$$

В итоге необходимо отобрать такие технологические параметры, у которых оператор (3) принимает максимальное значение.

Таким образом, модель интеграции разнородной технологической информации можно схематично представить в виде выполнения последовательных этапов (рис. 1).

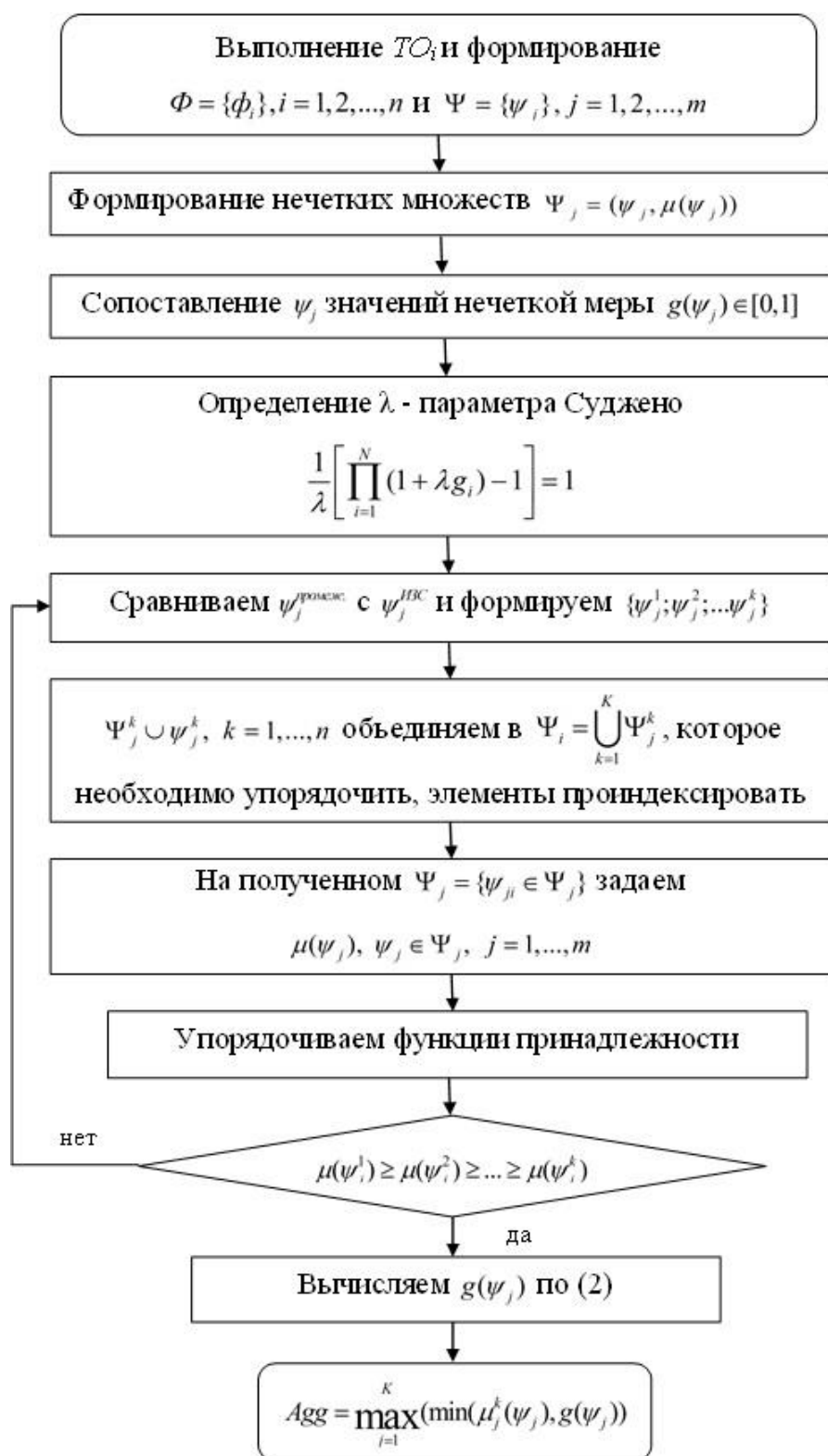


Рис. 1. Блок-схема функционирования модели интеграции разнородной технологической информации

Практическая реализация. Особенностью разработанной модели является возможность корректировки для по-

следовательной адаптации функций принадлежности нечетких параметров. Согласно предложенной модели, при фор-

мировании функций принадлежности появляется возможность их уточнения в процессе сравнения номинальных и полученных значений технологических параметров.

Пример применения корректирующих процедур проиллюстрирован на рисунке 2, где показаны номинальная функция принадлежности технологического параметра горизонтальная мощность рудного тела $\mu_n(m_z)$ и откорректированная $\mu_k(m_z)$.

Горизонтальная мощность рудного тела определяется на одной из начальных стадий горно-металлургического производства – добыча железорудного сырья – в результате разведки месторождений при определении границ расположения рудного тела. Значения параметра меняются в пределах допустимых диапазонов. От точности определения данного параметра зависит способ разработки месторождения, использование объема соответствующих ресурсов.

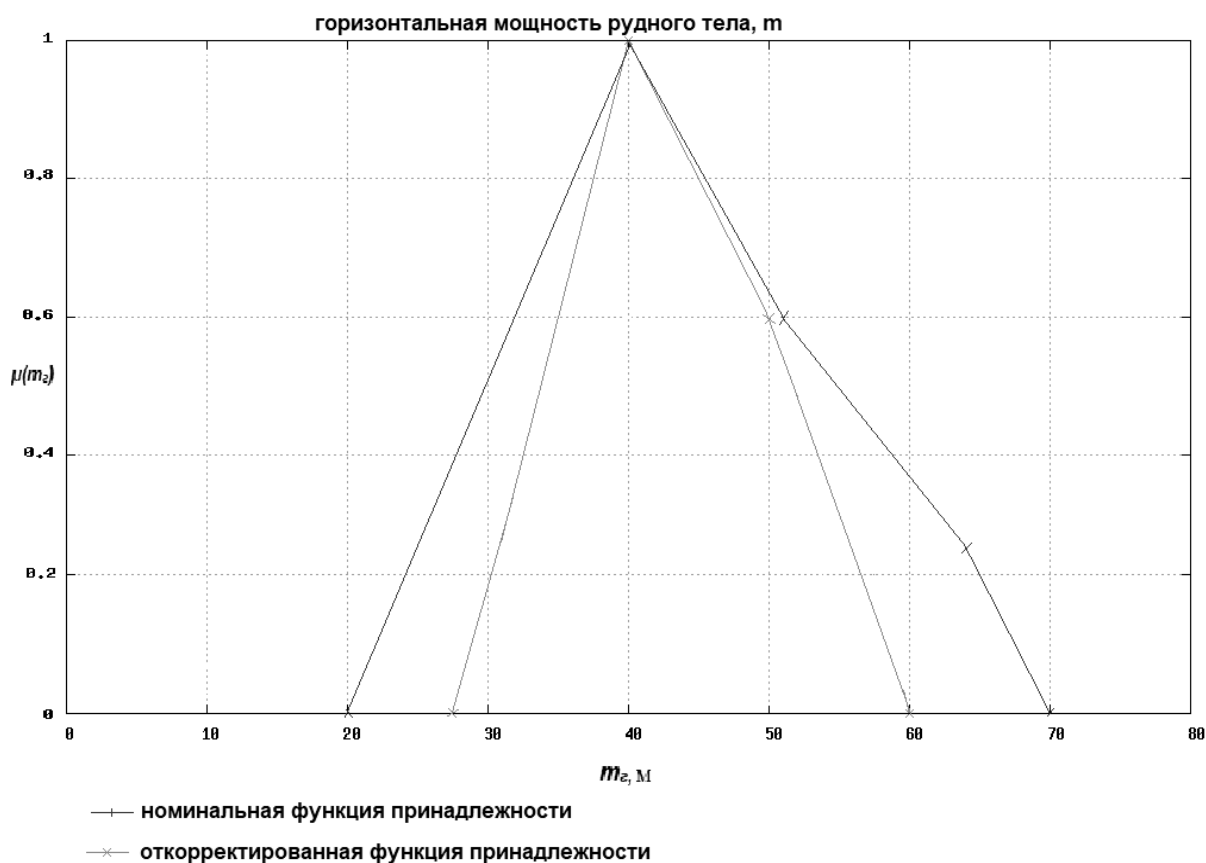


Рис. 2. Номинальная и откорректированная функции принадлежности для технологического параметра "горизонтальная мощность рудного тела" - m_z

Разработанная модель интеграции разнородной информации была внедрена в промышленную эксплуатацию АО "Лебединский горно-обогатительный комбинат" и ОАО "Стойленский горно-

обогатительный комбинат" в виде программных решений для оптимизации процессов добычи при оценке запасов железной руды в условиях неопределен-

ности, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Заключение. Таким образом, решая вопрос интеграции информации с помощью предложенной модели, появляется возможность учитывать меру значимости не только отдельных значений технологических параметров на определенной стадии производства, но и множества таких параметров за счет применения нечеткой меры при интеграции данных.

Кроме того, за счет применения данной модели интеграции можно повысить точность определения необходимых факторов производства за счет принятия во внимание всех стадий производства, выполняемых технологических операций, и применения операторов интегрирования на каждой стадии производства, которые в свою очередь позволяют с различной точностью отражать и учитывать взаимосвязи между параметрами производства.

Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1968. 356 с.
2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Издательство «Мир», 1973. 344 с.
3. Алфимцев А.С. Нечеткое агрегирование мультимодальной информации в интеллектуальном интерфейсе // Программные продукты и системы. 2011. № 3. С. 44–48.
4. Власов С.А., Шплихал И. Состояние разработок и перспективы развития имитационных систем для анализа функционирования и автоматизированного про-

ектирования производства (на примере металлургии и машиностроения) // Моделирование и идентификация производственных систем. ИПУ, 1988. С. 5 - 17.

5. Рожков И.М., Власов С.А., Мулько Г.Н. Математические модели для выбора рациональной технологии и управления качеством стали. М.: Металлургия, 1990. 398 с.

6. Смирнов В.С. Методы и модели управления проектами в металлургии. М.: СИНТЕГ, 2001. 176 с.

7. B. Golden, E. Wasil and P. Harker The analytic hierarchy process: applications and studies. Springer-Verlag, New York, 1989. 265 p.

8. Gitman M.B., Trusov P.V., Fedoseev S.A. On optimization of metal forming with adaptable characteristics // Journal of Applied Mathematics and Computing. 2000. Vol. 7. No. 2. Pp. 387- 396.

9. Kabulova E.G. Application of methods of mathematical modeling and information processing in metallurgical production // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. Тюмень, Стерлитамак АМИ, 2018. С. 4-8.

10. Saati T. and Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. M.: Radio and communication, 1991. 224 p.

11. Marichal J. On Choquet and Sugeno integrals as aggregation functions // Fuzzy Measures and Integrals. 2000. Vol. 40. Pp. 247–272.

12. Merkurjeva G. Computer Simulation in Industrial Management Games // Proc. of MLM 2000. IFAK Symp. on Manufacturing, Modeling, Management and Control. University of Patras, Rio, Greece, 2000. P. 69 -73.

13. Matsko I.I. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system of continuous-cast billet production // IOSR Journal of Engineering. 2012. Vol. 2. № 8. Pp. 53-55.

14. Baldwin J. F., Guild N.C. Comparison of Fuzzy Sets on the Same Decision Space // Fuzzy Sets and Systems. 1979. Vol. 2. № 3. Pp. 231-231.

15. Harald Meyer auf Hofe Nurse rostering as constraint satisfaction with Fuzzy Constraints and Inferred Control Strategies // In DIMACS Series in Discrete Mathematics and theoretical computer science. 2000. P. 257-272.

Поступила в редакцию 26.07.18

UDC 004.89

E.G. Kabulova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (Branch) NUST «MISiS» (Stary Oskol, Russia) (e-mail: evgenia791@mail.ru)

ADOPTION OF DECISIONS FOR CONTROL OF COMPLEX MULTI-STAGE TECHNOLOGICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Today metallurgical production from the point of view of management and multistage character of production is complex, big system with various features of functioning of subsystems and elements. Traditional methods for the management of such systems are ineffective, as one of the main problems is the choice of optimal management decisions, taking into account current situations and limitations on changes in the values of technological parameters. One of the problems arising in the management of complex technological systems of metallurgical production is the heterogeneity of a large amount of data, which complicates the process of making effective and operational decisions in the management of production. Adequate decision-making by the expert is connected with the need to aggregate various kinds of information at different levels of the hierarchy. In addition, the operation of real complex systems of metallurgical production takes place in conditions of uncertainty of information, and to implement effective management, to organize decision support, to ensure the efficiency and accuracy of information to improve the quality of metal products and technical and economic indicators of production in this case is not possible. In this connection, the paper proposes a model of integration of heterogeneous information under uncertainty, which will take into account the measure of importance not only of individual values of technological parameters at a certain stage of production, but also a set of such parameters through the use of fuzzy measures in the integration of data. This model will improve the accuracy of determining the required values of technological parameters by taking into account all stages of production, technological operations, as well as through the use of data aggregation at each stage. The peculiarity of the developed model is the possibility of applying corrective procedures for the sequential adaptation of membership functions of fuzzy parameters.

Key words: complex technological systems; data aggregation; intelligent control support; multi-stage technology under uncertainty.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-104-111

For citation: Kabulova E.G. Adoption of Decisions for Control of Complex Multi-Stage Technological Systems under Conditions of Uncertainty. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 104-111 (in Russ.).

Reference

1. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnyh sistem. Moscow, 1968, 356 p.

2. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. Teorija ierarhicheskikh mnogourovnevnyh sistem. Moscow, Mir Publ., 1973, 344 p.

3. Alfimcev A.S. Nechetkoe agregirovanie mul'timodal'noj informacii v intellektual'nom interfejse. *Programmnye produkty i sistemy*, 2011, no. 3, pp. 44–48.
4. Vlasov S.A., Shplihal I. Sostoja-nie razrabotok i perspektivy razvitija imitacionnyh sistem dlja analiza funkcionirovanija i avtomatizirovannogo proektirovanija proizvodstva (na primere metallurgii i mashinostroenija). *Modelirovanie i identifikacija proizvodstvennyh sistem*. IPU, 1988. pp. 5 - 17.
5. Rozhkov I.M., Vlasov S.A., Mul'ko G.N. Matematicheskie modeli dlja vybora racional'noj tehnologii i upravlenija kachestvom stali. Moscow, Metallurgija Publ., 1990, 398 p.
6. Smirnov V.S. Metody i modeli upravlenija proektami v metallurgii. Moscow, SINTEG Publ., 2001, 176 p.
7. Golden B., Wasil E., Harker P. The analytic hierarchy process: applications and studies. Springer-Verlag, New York, 1989, 265 p.
8. Gitman M.B., Trusov P.V., Fedoseev S.A. On optimization of metal forming with adaptable characteristics. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 2000, vol. 7, no. 2, pp. 387- 396.
9. Kabulova E.G. Application of methods of mathematical modeling and information processing in metallurgical production. *Issledovanie, razrabotka i primenenie vysokih tehnologij v promyshlennosti*. Tjumen', Sterlitamak AMI, 2018, pp. 4-8.
10. Saati T. and Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. Moscow, Radio and communication Publ., 1991, 224 p.
11. Marichal J. On Choquet and Sugeno integrals as aggregation functions. *Fuzzy Measures and Integrals*, 2000, vol. 40, pp. 247–272.
12. Merkuryeva G. Computer Simulation in Industrial Management Games. Proc. of MLM 2000. IFAC Symp. on Manufacturing, Modeling, Management and Control. University of Patras, Rio, Greece, 2000. pp. 69 -73.
13. Matsko I.I. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system o of continuous-cast billet production. *IOSR Journal of Engineering*, 2012, vol. 2, no. 8, pp. 53-55.
14. Baldwin J. F., Guild N.C. Comparison of Fuzzy Sets on the Same Decision Space. *Fuzzy Sets and Systems*, 1979, vol. 2, no. 3, pp. 231-231.
15. Harald Meyer auf Hofe Nurse rostering as constraint satisfaction with Fuzzy Constraints and Inferred Control Strategies. In DIMACS Series in Discrete Mathematics and theoretical computer science, 2000, pp. 257-272.

А.Р. Гайдук, д-р. техн. наук, профессор, г.н.с., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: gaiduk_2003@mail.ru)

И.А. Каляев, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, г.н.с., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: kaliaev@niimvus.ru)

С.Г. Капустян, д-р техн. наук, в.н.с., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: kap56@mail.ru)

И.О. Шаповалов, н.с., Институт робототехники и процессов управления ЮФУ (Таганрог, Россия) (e-mail: shapovalovio@gmail.com)

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Многие управляемые объекты, в частности мобильные роботы, решают разнообразные задачи в априори неопределенных условиях. В связи с этим их математические модели, необходимые для создания качественных систем управления, являются неизвестными. Поэтому разработка методов синтеза адаптивных систем управления является актуальной. Значительная неопределенность задачи управления делает наиболее целесообразным применение адаптивных систем с идентификацией. В статье предлагается новый аналитический метод синтеза адаптивных систем управления движением группы мобильных роботов в условиях неопределенности. Этот метод ориентирован на решение задачи идентификации текущих математических моделей роботов с последующим синтезом систем управления движением каждого робота. Предлагаемый метод может быть реализован автоматически по мере необходимости. Он разработан на основе марковского метода идентификации, метода аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям, а также с использованием стандартных нормированных передаточных функций. В целом этот метод позволяет синтезировать адаптивные системы управления с желаемыми качественными свойствами. Пробные ступенчатые воздействия небольшой интенсивности и оригинальный метод цифровой обработки информации используются при идентификации. Свойство системной инвариантности марковских параметров и их непосредственная связь с коэффициентами передаточных функций дискретных динамических систем являются основой метода цифровой обработки информации. Предполагается, что мобильные роботы являются полными или стабилизируемыми при всех возможных значениях их порядка и параметров. Предложенный метод может использоваться для создания систем управления различными техническими объектами, функционирующими в условиях неопределенности.

Ключевые слова: мобильный робот; группа; неопределенность; идентификация; марковский параметр; управление по выходу и воздействиям; прямой показатель качества.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-112-122

Ссылка для цитирования: Синтез системы управления движением группы мобильных роботов в условиях неопределенности / А.Р. Гайдук, И.А. Каляев, С.Г. Капустян, И.О. Шаповалов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 112-122.

Введение

Возможности отдельного мобильного робота при решении различных задач, в общем случае, ограничены различными факторами, поэтому для этих целей чаще всего применяются группы мобильных роботов [1 – 4]. Такие группы роботов могут быть как однородными, так и гетерогенными, что обуславливается сово-

купностью задач, для решения которых сформированы та или иная группы. Существенной особенностью групп мобильных роботов является априорная неопределенность как решаемых задач, так и условий функционирования. В то же время эти неопределенные факторы имеют важное значение при создании систем управления движением мобильных роботов. Это связано с тем, что такие системы

работают по определенным алгоритмам, которые создаются обычно на основе математических моделей конкретных роботов, параметры которых зависят как от характеристик робота, решаемой задачи, так и условий функционирования [4 – 6].

В рассматриваемом случае эти модели не могут быть определены априори, поэтому системы управления движением мобильных роботов должны быть адаптивными [6]. Задачи, стоящие перед группой, и условия их решения могут быть весьма разнообразными, что делает наиболее эффективным применение адаптивных систем с идентификацией [6, 7].

Конечно, для управления функционированием группы мобильных роботов необходима система группового управления более высокого уровня, которая, во-первых, распределяет решаемые задачи по роботам. Во-вторых, она рассчитывает скорости движения группы в отдельные интервалы времени с тем, чтобы задачи были решены к заданному сроку. Эта командная система может быть централизованной или распределенной [3, 4, 8], но в данной работе она не рассматривается.

В данной работе основной целью является решение задачи синтеза локальных систем управления движением мобильных роботов в условиях неопределённости. Для этого, очевидно, необходимы аналитические алгоритмы идентификации и синтеза систем управления, которые могли бы быть реализованы в автоматическом режиме, т.е. без участия операторов, которые ставят задачи группам мобильных роботов [4].

К настоящему времени разработано достаточно много методов идентификации: последовательного логарифмирования или аппроксимации переходных функций с применением метода

наименьших квадратов [9, 10]. Однако большинство этих методов ориентированы на ручные методы обработки информации. К аналитическим относится, в частности, метод решения уравнения Винера-Хопфа и ряд других [11]. Один из аналитических методов идентификации многомерных подвижных объектов управления, в котором используются марковские параметры, кратко рассмотрен в работе [12]. В данной работе используется более совершенный вариант этого марковского метода идентификации применительно к группе мобильных роботов, функционирующих в условиях неопределенности.

Постановка задачи. Предположим, группа мобильных роботов включает $N_{гр}$, возможно, гетерогенных роботов, каждый из которых описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{x}^p &= A^p x^p + B^p u^p, \\ y^p &= C^p x^p + D^p u^p, \\ \rho &= \overline{1, N_{гр}},\end{aligned}\quad (1)$$

где $x^p \in R^{n^p}$ – вектор состояния; $u^p \in R^{q^p}$ – вектор непрерывных управлений; $y^p \in R^{l^p}$ – вектор отклонений непрерывных выходных переменных p -го робота, обусловленных управлением u^p ; A^p, B^p, C^p, D^p – числовые матрицы соответствующих размерностей. Порядки n^p роботов (1) и большая часть или все их параметры являются априори неизвестными. В процессе движения порядки и параметры каждого робота (1) претерпевают скачкообразные изменения, оставаясь затем неизменными в течение достаточно длительного интервала времени. При этом порядок p -го робота не менее чем на единицу превышает заранее известное значение $n_{\max}^p$, а соответствующая система уравнений (1) является полной [4, 13].

Все управляемые переменные $y_i^p = y_i^p(t)$ доступны прямому измерению; их изменения, а также изменения управлений $u_j^p = u_j^p(t)$ в целях идентификации допустимы, но в ограниченных пределах, $i = \overline{1, l^p}$, $j = \overline{1, q^p}$, $p = \overline{1, N_{гр}}$.

Перед рассматриваемой группой роботов может быть поставлена, в частности, задача перемещения некоторых грузов по равнинной поверхности: как по проселочной местности, так и по шоссе-ным дорогам. Маршруты движения отдельных роботов или группы в целом задаются в правой системе координат, ось OX которой направлена на север. Имея это ввиду, примем, что $q^p = l^p = 2$, причем $y_1^p = V^p$ – это скорость движения, а $y_2^p = \varphi^p \in [-\pi \div \pi]$ – это курсовой угол, определяющий направление движения p -го робота. Значения φ^p отсчитываются от оси OX , а положительные значения φ^p соответствуют поворотам против часовой стрелки.

Каналы управления скоростью мобильных роботов и направлением их движения можно считать независимыми, другими словами, передаточные функции (ПФ) $W_{ij}^p(p) = C_i^p(pE - A^p)^{-1} B^{p,j} + d_{ij}^p \approx 0$ при $i \neq j$, $i, j = 1, 2$. Здесь C_i^p – строки матрицы C^p , а $B^{p,i}$ – столбцы матрицы B^p ; d_{ii}^p – элементы матрицы D^p , $i = 1, 2$, $p = \overline{1, N_{гр}}$ [13]. Поэтому задача синтеза системы управления движением мобильных роботов сводится, во-первых, к задаче идентификации каналов управления $u_i^p \rightarrow y_i^p$, т.е. к определению только ПФ $W_{ii}^p(p)$. Во-вторых, к задаче синтеза локальных систем управления движением

каждого робота, в соответствии с требованиями к качеству управления.

Задача идентификации. В данной работе для решения задачи идентификации предлагается использовать марковский метод идентификации (ММИ), в основе которого лежат марковские параметры специальных *дискретно-подобных систем* (ДПС). Подчеркнем, что каждая ДПС представляет собой совокупность дискретных уравнений различных порядков от $v^p = 1$ до $v^p = n_{\max}^p$ и относится к одному роботу группы. Существенно, что если p -ая ДПС является корректной, то одна из динамических систем этой ДПС эквивалентна непрерывной модели (1) p -го робота.

В марковском методе идентификации пробными являются непрерывные ступенчатые воздействия $u_1^p(t) = u_{1,0}^p 1(t)$ и $u_2^p(t) = u_{2,0}^p 1(t)$, а $u_{i,0}^p = \text{const}$ – постоянные допустимые управления для каналов $u_i^p \rightarrow y_i^p$, $i = 1, 2$. Эти непрерывные управления представляются в виде последовательности прямоугольных импульсов постоянной амплитуды $u_{i,0}^p$ и некоторой длительности, равной периоду дискретизации $T_{\text{ди}}$, вводимого с целью идентификации. В результате возникают уравнения указанных выше ДПС следующего вида

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{k+1}^p &= \tilde{A}^p \tilde{x}_k^p + \tilde{B}^p \tilde{u}_k^p, \\ \tilde{y}_k^p &= \tilde{C}^p \tilde{x}_k^p + \tilde{D}^p \tilde{u}_k^p, \quad p = \overline{1, N_{гр}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tilde{x}_k^p \in R^{v^p}$ – вектор переменных состояния, $v^p = \overline{1, n_{\max}^p}$; $\tilde{A}^p$, $\tilde{B}^p$, $\tilde{C}^p$, $\tilde{D}^p$ – числовые матрицы соответствующих размерностей; $\tilde{u}_k^p = [\tilde{u}_{1,k}^p \ \tilde{u}_{2,k}^p]^T$ и $\tilde{y}_k^p = [\tilde{y}_{1,k}^p \ \tilde{y}_{2,k}^p]^T$ – соответственно векто-

ры дискретных управлений и выходных величин ρ -й системы (2) при $t = kT_{\text{ди}}$, $k = 0, 1, 2, \dots$.

Целесообразность введения ДПС (2) обусловлена тем, что при цифровой обработке информации используются лишь дискретные отсчеты $u_i^p(kT_{\text{ди}})$ и $y_i^p(kT_{\text{ди}})$, $k = 0, 1, 2, \dots$, взятые с периодом $T_{\text{ди}}$, в данном случае непрерывных величин $u_i^p(t)$ и $y_i^p(t)$, $i = 1, 2$ ρ -го робота.

Пусть, при $u_i^p(t) = u_{i,0}^p 1(t)$, $i = 1, 2$, всех $t = kT_{\text{ди}}$ и нулевых начальных условиях $x_0^p = 0$, $\tilde{x}_0^p = 0$ выполняются условия

$$\begin{aligned}\tilde{u}_k^p &= u^p(kT_{\text{ди}}), \\ \tilde{y}_k^p &= y^p(kT_{\text{ди}}), \\ \rho &= \overline{1, N_{\text{гр}}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots\end{aligned}\quad (3)$$

Определение 1. Система (2) называется «дискретно-подобной системой», соответствующей непрерывной системе (1), если выполняются условия (3).

В соответствии с определением ρ -я ДПС включает n_{max}^p виртуальных дискретных систем типа (2), соответствующих одной непрерывной системе (1) порядка n^p , причем их порядки v^p , как и в СОРЕ А.А. Красовского [7], имеют значения от $v^p = 1$ до $v^p = n_{\text{max}}^p > n^p$.

В силу определения ДПС и свойства системной инвариантности марковских параметров при некотором $v_i^p = \tilde{v}_i^p$ справедливы соотношения

$$\begin{aligned}W_{y_i u_i}^p(p) &= Z_T^{-1} \{ \tilde{W}_{y_i u_i}^p(z, T_{\text{ди}}) \}, \quad n_i^p = \tilde{v}_i^p, \\ i &= 1, 2, \quad \rho = \overline{1, N_{\text{гр}}},\end{aligned}\quad (4)$$

где $W_{y_i u_i}^p(p)$ – ПФ канала $u_i^p \rightarrow y_i^p$ непрерывной системы (1); $\tilde{W}_{y_i u_i}^p(z, T_{\text{ди}})$ – ПФ

аналогичного канала $\tilde{u}_i^p \rightarrow \tilde{y}_i^p$ ДПС (2), которая является результатом прямого Z_T -преобразования ПФ $W_{y_i u_i}^p(p)$; $Z_T^{-1}\{\cdot\}$ – обратное Z_T -преобразование; n_i^p и $\tilde{v}_i^p$ – степени знаменателей функций $W_{y_i u_i}^p(p)$ и $\tilde{W}_{y_i u_i}^p(z, T_{\text{ди}})$, соответственно. Подчеркнем, что $Z_T\{\cdot\}$ и $Z_T^{-1}\{\cdot\}$ – это прямое $y(p) \rightarrow y(z)$ и обратное $y(z) \rightarrow y(p)$ Z_T -преобразования, которые при расчетах вручную обычно выполняются с помощью таблиц изображений по Лапласу [14, с. 211].

При цифровой, автоматической обработке данных важен следующий момент. Пусть $\tilde{\alpha}_{i,0}^p$ – свободный коэффициент полинома $\tilde{A}_i^p(z, T_{\text{ди}}) = z^{v_i^p} + \tilde{\alpha}_{i,v_i^p-1}^p z^{v_i^p-1} + \dots + \tilde{\alpha}_{i,1}^p z + \tilde{\alpha}_{i,0}^p$, который является знаменателем ПФ $\tilde{W}_{y_i u_i}^p(z, T_{\text{ди}})$; $\tilde{\Delta}_0$ – допустимое по условиям точности значение $|\tilde{\alpha}_{i,0}^p|$ [12].

Определение 2. Если уравнения (2) соответствуют такому периоду дискретизации $T_{\text{ди}}$, при котором выполняется условие

$$|\tilde{\alpha}_{i,0}^p| \geq \tilde{\Delta}_0, \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

то ρ -я ДПС (2) является «корректной» по отношению к ρ -й системе (1). В противном случае эта ДПС является «некорректной».

Свойство корректности ДПС обусловлено тем, что если характеристический полином ρ -й системе (1) содержит хотя бы один корень с отрицательной вещественной частью, то при слишком большом значении периода $T_{\text{ди}}$ значение соответствующего корня ДПС может стать меньше вычислительной погрешно-

сти проводимых расчетов. В результате соответствующая ДПС не будет содержать полной информации о системе (1), т.е. она будет не корректной. Так как модуль $|\tilde{\alpha}_{i,0}^p|$ равен произведению модулей корней характеристического полинома соответствующей ДПС, то в случае некорректной ДПС, условие (5) нарушается.

Отметим, что преобразование (4) легко реализуется, в частности, функцией «d2c» с расширением «'zoh'» пакета MATLAB.

Итак, для решения задачи идентификации роботов (1) достаточно найти степени $\tilde{v}_i^p = n_i^p$ и ПФ $\tilde{W}_{y,u_i}^p(z, T_{\text{ди}})$, $i = \overline{1, 2}$, $\rho = \overline{1, N_{\text{гр}}}$. Для этой цели здесь используются марковские параметры отдельных каналов «вход-выход» $\tilde{u}_i^p \rightarrow \tilde{y}_i^p$ каждой системы ДПС, которые определяются выражениями:

$$\tilde{\mu}_{i,0}^p = \tilde{d}_{ii}^p, \quad \tilde{\mu}_{i,v}^p = \tilde{C}_i^p (A^p)^{v-1} \tilde{B}^{p,i},$$

$$v = \overline{1, 2}, \dots, i = \overline{1, 2}, \rho = \overline{1, N_{\text{гр}}}, \quad (6)$$

где $\tilde{d}_{i,i}^p$ – элементы матрицы $\tilde{D}^p$; $\tilde{C}_i^p$ – строки матрицы $\tilde{C}^p$, а $\tilde{B}^{p,i}$ – столбцы матрицы $\tilde{B}^p$.

Как показано в [12], при выполнении условия (3) марковские параметры (6) можно найти по следующим формулам:

$$\tilde{\mu}_{i,0}^p = \frac{y_{i,0}^p}{u_{i,0}^p}, \quad \tilde{\mu}_{i,v}^p = \frac{y_{i,v}^p}{u_{i,0}^p} - \sum_{\varsigma=0}^{v-1} \tilde{\mu}_{i,\varsigma}^p, \\ v = \overline{1, 2}, \dots, i = \overline{1, 2}, \rho = \overline{1, N_{\text{гр}}}. \quad (7)$$

Степени $\tilde{v}_i^p$ знаменателей ПФ $\tilde{W}_{y,u_i}^p(z, T_{\text{и}})$, в соответствии со свойствами марковских параметров определяются выражениями

$$n_i^p = \tilde{v}_i^p = \left\{ \max v | d_{i,v}^p \geq \tilde{\Delta}_1 \right\},$$

$$d_{i,v}^p = \frac{1}{\eta_{\max}} \sum_{\eta=0}^{\eta=\eta_{\max}} |\det M_{i,v}^{p,\eta}|, \quad (8)$$

где $\tilde{\Delta}_1$ – допустимое по условиям точности значение $|\det M_{i,v}^p|$; $M_{i,v}^{p,\eta}$ – $v \times v$ -матрица, определяемая выражением

$$M_{i,v}^{p,\eta} = \begin{bmatrix} \tilde{\mu}_{i,\eta+1}^p & \tilde{\mu}_{i,\eta+2}^p & \dots & \tilde{\mu}_{i,\eta+v}^p \\ \tilde{\mu}_{i,\eta+2}^p & \tilde{\mu}_{i,\eta+3}^p & \dots & \tilde{\mu}_{i,\eta+v+1}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\mu}_{i,\eta+v}^p & \tilde{\mu}_{i,\eta+v+1}^p & \dots & \tilde{\mu}_{i,\eta+2v-1}^p \end{bmatrix}. \quad (9)$$

При известных значениях n_i^p можно найти коэффициенты $\tilde{\alpha}_{i,\varsigma}^p$ знаменателей передаточных функций $\tilde{W}_{y,u_i}^p(z, T_{\text{и}}) = \tilde{C}_i^p (zE - \tilde{A}^p)^{-1} \tilde{B}^{p,i} + \tilde{d}_{ii}^p$ по формуле

$$\tilde{\alpha}_{i,\varsigma}^p = \eta_{\max}^{-1} \sum_{\eta=0}^{\eta_{\max}} \bar{\alpha}_{i,\varsigma,\eta}^p; \quad \varsigma = \overline{0, \tilde{n}_i^p - 1}, \quad (10)$$

где коэффициенты $\bar{\alpha}_{i,\varsigma,\eta}^p$ определяются решением следующей системы:

$$\bar{\alpha}_{i,\eta}^p = \left[M_{i,n_i^p}^{p,\eta} \right]^{-1} m_{i,n_i^p+1}^{p,\eta}; \\ \eta = \overline{0, \eta_{p,\max}}. \quad (11)$$

Здесь матрица $M_{i,n_i^p}^{p,\eta}$, определяется выражением (9) при $v = n_i^p$, а векторы $\bar{a}_{i,\eta}^p$ и $m_{i,n_i^p+1}^{p,\eta}$ представляются следующим образом:

$$\bar{\alpha}_{i,\eta}^p = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_{i,0,\eta}^p \\ \bar{\alpha}_{i,1,\eta}^p \\ \vdots \\ \bar{\alpha}_{i,n_i^p-1,\eta}^p \end{bmatrix}, \quad m_{i,n_i^p+1}^{p,\eta} = \begin{bmatrix} \tilde{\mu}_{i,\eta+n_i^p+1}^p \\ \tilde{\mu}_{i,\eta+n_i^p+2}^p \\ \vdots \\ \tilde{\mu}_{i,\eta+2n_i^p}^p \end{bmatrix}, \\ \eta = \overline{0, \eta_{p,\max}}. \quad (12)$$

Если полученное значение модуля $|\tilde{\alpha}_{i,0}^p|$ удовлетворяет условию (5), т.е. ρ -я

ДПС (2) при данном $T_{\text{ди}}$ является корректной, то имеется возможность идентифицировать i -й канал ρ -го робота (1) при текущем значении $T_{\text{ди}}$. В противном случае, необходимо найти такое *меньшее* значение $T_{\text{ди}}$, при котором будет выполняться условие (5).

Из свойств марковских параметров следует [12], что коэффициенты $\tilde{\beta}_{i,\zeta}^{\rho}$ полиномов числителей ПФ i -го канала ρ -й ДПС находятся по формулам:

$$\tilde{\beta}_{i,\zeta}^{\rho} = \eta_{\max}^{-1} \sum_{\eta=0}^{\eta_{\max}} \bar{\beta}_{i,\zeta,\eta}^{\rho}, \quad \zeta = 0, \overline{n_i^{\rho}}, \quad (13)$$

где $\bar{\beta}_{i,\zeta,\eta}^{\rho} = \tilde{\mu}_{i,\tilde{n}-\zeta+\eta}^{\rho} + \sum_{v=0}^{\tilde{n}-1-\zeta} \tilde{\mu}_{i,\eta+v}^{\rho} \alpha_{i,\zeta+v}^{\rho}$,

$$\eta = 0, \overline{\eta_{\rho,\max}}. \quad (14)$$

По коэффициентам $\tilde{\alpha}_{i,\zeta}^{\rho}$ и $\tilde{\beta}_{i,\zeta}^{\rho}$ записывается передаточная функция

$$\begin{aligned} \tilde{W}_{y_i u_i}^{\rho}(z, T_{\text{и}}) = \\ = \frac{\tilde{\beta}_{i,0}^{\rho} + \tilde{\beta}_{i,1}^{\rho} z + \dots + \tilde{\beta}_{i,n_i^{\rho}}^{\rho} z^{n_i^{\rho}}}{\tilde{\alpha}_{i,0}^{\rho} + \tilde{\alpha}_{i,1}^{\rho} z + \dots + \tilde{\alpha}_{i,n_i^{\rho}-1}^{\rho} z^{n_i^{\rho}-1} + z^{n_i^{\rho}}}, \end{aligned} \quad (15)$$

Применение Z_T^{-1} -преобразования к ПФ (15) позволяет найти

$$\begin{aligned} W_{y_i u_i}^{\rho}(p) = Z_T^{-1} \{ \tilde{W}_{y_i u_i}^{\rho}(z, T_{\text{ди}}) \} = \\ = B_{y_i u_i}^{\rho}(p) / A_{y_i u_i}^{\rho}(p). \end{aligned} \quad (16)$$

Эти ПФ $W_{y_i u_i}^{\rho}(p)$, $i = 1, 2$ (16) представляют собой результат идентификации ρ -го робота марковским методом. Соотношения (7) – (16) фактически являются расчетными соотношениями марковского метода идентификации. При заданных уровнях пробных воздействий и максимально возможных значениях порядков моделей роботов, он может быть выполнен автоматически.

Задача синтеза. Для решения задачи синтеза локальных систем управления

(ЛСУ) предлагается использовать метод аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям (АССУВВ) [13]. Существенным преимуществом этого метода, по сравнению, например, с методом АКОР, является возможность синтеза систем управления со значениями прямых показателей качества не хуже заданных.

Указанные уравнения «вход-выход», в данном случае, мобильных роботов, как объектов управления, вытекают из передаточных функций (16), полученных методом идентификации, и записываются в виде

$$\begin{aligned} A_i^{\rho}(p) y_i^{\rho} &= B_i^{\rho}(p) u_i^{\rho}, \\ i &= 1, 2; \quad \rho = \overline{1, N_{\text{гр}}}, \end{aligned} \quad (17)$$

где $A_i^{\rho}(p)$ и $B_i^{\rho}(p)$ – некоторые полиномы с известными степенями и коэффициентами, вытекающие непосредственно из ПФ (16). При этом предполагается, что полином $A_i^{\rho}(p)$ нормирован по старшей степени переменной p ; причем $m_i^{\rho} = \deg B_i^{\rho}(p) \leq n_i^{\rho} = \deg A_i^{\rho}(p)$.

Уравнения адаптивного устройства управления, реализующего принцип управления по выходу и воздействиям, ищутся в виде

$$\begin{aligned} R_i^{\rho}(p) u_i^{\rho} &= Q_i^{\rho}(p) g_i^{\rho} - L_i^{\rho}(p) y_i^{\rho}, \\ i &= 1, 2; \quad \rho = \overline{1, N_{\text{гр}}}, \end{aligned} \quad (18)$$

где $R_i^{\rho}(p)$, $Q_i^{\rho}(p)$, $L_i^{\rho}(p)$ – полиномы, определяемые в процессе синтеза ЛСУ, причем $r_i^{\rho} = \deg R_i^{\rho}(p)$, $q_i^{\rho} = \deg Q_i^{\rho}(p)$, $l_i^{\rho} = \deg L_i^{\rho}(p)$ [13].

Качество адаптивных ЛСУ (17), (18) каждым каналом $u_i^{\rho} \rightarrow y_i^{\rho}$ ρ -го робота определяется требованиями к прямым показателям качества, которые состоят в следующем: порядок астатизма к задающим воздействиям $g_i^{\rho} = g_i^{\rho}(t)$ равен $\nu_{g,i}^{\rho*}$;

время регулирования не более $t_i^{\rho*}$ с; перерегулирование не более $\sigma_i^{\rho*}$ %; степень устойчивости не менее $\eta_{\text{сис},i}^{\rho*}$. Адаптивное устройство управления (АдУУ) физически реализуемо, если $\mu_{yy,i}^{\rho} \geq \mu_{yy}^{\rho*}$, где $\mu_{yy,i}^{\rho}$ – относительный порядок АдУУ (18), а $\mu_{yy}^{\rho*}$ – его заданное значение [13].

С целью большей простоты изложения будем считать, что при всех возможных значениях порядка и параметров роботов (1) в уравнениях (17)

$$\text{НОД}\{A_i^{\rho}(p), B_i^{\rho}(p)\} = 1, \quad (19)$$

а корни $p_j^{B_i^{\rho}}$ полиномов $B_i^{\rho}(p)$ удовлетворяют условию

$$\text{Re } p_j^{B_i^{\rho}} \leq \eta_{\text{сис},i}^{\rho*}, \quad j = \overline{1, m_i^{\rho}}. \quad (20)$$

Если полученная модель канала робота не удовлетворяет условию (20), то можно использовать несколько более сложный, но также аналитический метод синтеза ЛСУ [13, с. 177-181].

Необходимое число дополнительных интеграторов в составе АдУУ, для обеспечения некоторого порядка астатизма, можно найти по формуле

$$\bar{\nu}_i^{\rho} = \max\{\nu_{g,i}^{\rho*} - n_A^{\rho,i}, 0\}, \quad (21)$$

где $n_A^{\rho,i}$ – число корней полинома $A_i^{\rho}(p)$, равных нулю.

Для получения менее сложного адаптивного устройства рассматриваемым методом, прежде всего, проводится редукция модели ρ -го робота, которая заключается в исключении тех множителей полинома $A_i^{\rho}(p)$, которым соответствуют малые постоянные времени $T_{i,j}^{\rho} < t_i^{\rho*}/(50 \div 100)$ [13]. С этой же целью далее проводится факторизация полиномов $A_i^{\rho}(p)$ и $B_i^{\rho}(p)$:

$$A_i^{\rho}(p) = A_{i,\Omega}^{\rho}(p) A_{i,\bar{\Omega}}^{\rho}(p),$$

$$B_i^{\rho}(p) = \beta_{m_i^{\rho}} B_{i,\Omega}^{\rho}(p), \quad (22)$$

где $A_{i,\Omega}^{\rho}(p)$ и $B_{i,\Omega}^{\rho}(p)$ – полиномы, корни которых совпадают с корнями полиномов $A_i^{\rho}(p)$ и $B_i^{\rho}(p)$, удовлетворяющими условию (20); полином $A_{i,\bar{\Omega}}^{\rho}(p)$ включает остальные корни полинома $A_i^{\rho}(p)$; вводятся обозначения: $n_i^{\rho} = \deg A_i^{\rho}(p)$, $n_{i,\Omega}^{\rho} = \deg A_{i,\Omega}^{\rho}(p)$, $n_{i,\bar{\Omega}}^{\rho} = \deg A_{i,\bar{\Omega}}^{\rho}(p)$.

С учетом соотношений (20) – (22) полиномы из уравнения АдУУ (18) принимают следующий вид:

$$R_i^{\rho}(p) = p^{\bar{\nu}_i^{\rho}} B_i^{\rho}(p) \tilde{R}_i^{\rho}(p),$$

$$L_i^{\rho}(p) = A_{i,\Omega}^{\rho}(p) \tilde{L}_i^{\rho}(p),$$

$$Q_i^{\rho}(p) = A_{i,\Omega}^{\rho}(p) \tilde{Q}_i^{\rho}(p), \quad (23)$$

где $\tilde{R}_i^{\rho}(p)$, $\tilde{L}_i^{\rho}(p)$ и $\tilde{Q}_i^{\rho}(p)$ – вспомогательные полиномы степеней: $\tilde{r}_i^{\rho} = r_i^{\rho} - \bar{\nu}_i^{\rho} - m_i^{\rho}$, $\tilde{l}_i^{\rho} = r_i^{\rho} - n_{i,\Omega}^{\rho}$ и $\tilde{q}_i^{\rho} = q_i^{\rho} - n_{i,\Omega}^{\rho}$. В силу равенств (23) характеристический полином замкнутой системы управления (17), (18) определяется выражением:

$$D(p) = A_{i,\bar{\Omega}}^{\rho}(p) B_{i,\bar{\Omega}}^{\rho}(p) A_{i,ls}^{\rho}(p) \tilde{D}_i^{\rho}(p), \quad (24)$$

где $A_{i,ls}^{\rho}(p)$ – полином, корни которого были опущены в процессе редукции модели ρ -го робота, а $\tilde{D}_i^{\rho}(p)$ – полином, коэффициенты которого назначаются в соответствии с требованиями к качеству управления. Степени полиномов $\tilde{R}_i^{\rho}(p)$, $\tilde{L}_i^{\rho}(p)$ и $\tilde{D}_i^{\rho}(p)$ определяются выражениями:

$$\tilde{r}_i^{\rho} = n_i^{\rho} + \mu_{yy,i}^{\rho*} - m_i^{\rho} - 1,$$

$$\tilde{l}_i^{\rho} = n_{i,\bar{\Omega}}^{\rho} + \bar{\nu}_i^{\rho} - 1,$$

$$\tilde{q}_i^{\rho} = n_i^{\rho} + \bar{\nu}_i^{\rho} + \mu_{yy,i}^{\rho*} + n_{i,\bar{\Omega}}^{\rho} - m_i^{\rho} - 1. \quad (25)$$

По значениям $v_{g,i}^{p*}$, $\sigma_i^{p*}\%$ и $n_{\text{таб}} = \tilde{\vartheta}_i^p$ из таблиц стандартных нормированных передаточных функций, приведенных, например, в [13, с. 344–346], выбираются соответствующие коэффициенты Δ_j , $j = \overline{0, \tilde{\vartheta}_i^p}$, СНПФ и величина $t_{p,\text{таб}}$ с, а затем вычисляются величина $\omega_{i,0}^p$ и коэффициенты $\delta_{i,j}^p$ полинома $\tilde{D}_i^p(p)$ по формулам:

$$\begin{aligned}\omega_{i,0}^p &= t_{p,\text{таб}} / (t_i^{p*} - \tau_0), \\ \delta_{i,j}^p &= \Delta_j \times (\omega_{i,0}^p)^{\tilde{\vartheta}_i^p - j}, \quad j = \overline{0, \tilde{\vartheta}_i^p}.\end{aligned}\quad (26)$$

Здесь τ_0 – малая величина, обеспечивающая запас по времени регулирования.

Вычисляются коэффициенты полинома

$$\begin{aligned}\tilde{A}_i^p(p) &= p^{\tilde{\nu}_i^p} A_{i,\Omega}^p(p) = \\ &= \alpha_{i,0}^p + \alpha_{i,1}^p p + \dots + \alpha_{i,\tilde{n}_i^p}^p p^{\tilde{n}_i^p},\end{aligned}\quad (27)$$

где $\alpha_{i,\tilde{n}_i^p}^p = 1$, и составляется следующая система алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix} \beta_m & 0 & \dots & \alpha_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_m & \ddots & \alpha_1 & \alpha_0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots & \alpha_1 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \alpha_{\tilde{n}} & \vdots & \ddots & \alpha_0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & \alpha_{\tilde{n}} & \ddots & \alpha_1 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \alpha_{\tilde{n}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_{\tilde{l}} \\ \rho_0 \\ \vdots \\ \delta_{\tilde{g}-1} \\ \delta_{\tilde{g}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_0 \\ \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \delta_{\tilde{g}-1} \\ \delta_{\tilde{g}} \end{bmatrix}.\quad (28)$$

Здесь для краткости введены упрощенные обозначения: $\beta_m = \beta_{m_i^p}$, $\alpha_j = \alpha_{j,i}^p$, $\lambda_j = \lambda_{i,j}^p$, $\rho_j = \rho_{i,j}^p$, $\delta_j = \delta_{i,j}^p$, $\tilde{n} = \tilde{n}_i^p$, $\tilde{l} = \tilde{l}_i^p$, $\tilde{r} = \tilde{r}_i^p$, $\tilde{\vartheta} = \tilde{\vartheta}_i^p$. Отметим, что матрица системы (28) имеет $\tilde{l}_i^p + 1$ столбцов, составленных из коэффициента $\beta_m = \beta_{m_i^p}$, и $\tilde{r}_i^p + 1$ столбцов, составленных из коэффициентов полинома (27).

По результатам решения системы (28) записываются полиномы

$$\begin{aligned}\tilde{R}_i^p(p) &= \rho_{i,0}^p + \rho_{i,1}^p p + \dots + \rho_{i,\tilde{r}_i^p}^p p^{\tilde{r}_i^p}, \\ \tilde{L}_i^p(p) &= \lambda_{i,0}^p + \lambda_{i,1}^p p + \dots + \lambda_{i,\tilde{l}_i^p}^p p^{\tilde{l}_i^p},\end{aligned}$$

а затем – полиномы

$$\begin{aligned}R_i^p(p) &= p^{\tilde{\nu}_i^p} \tilde{R}_i^p(p) B_{i,\Omega}^p(p), \\ L_i^p(p) &= A_{i,\Omega}^p(p) \tilde{L}_i^p(p).\end{aligned}\quad (29)$$

Полином $Q_i^p(p)$ из уравнения АДУУ (18) находится по формуле

$$\begin{aligned}Q_i^p(p) &= \beta_{m_i^p}^{-1} A_{i,\Omega}^p(p) \times \\ &\times (\delta_{i,\nu_{g,i}^{p*}-1}^p p^{\nu_{g,i}^{p*}-1} + \dots + \delta_{i,1}^p p + \delta_{i,0}^p).\end{aligned}\quad (30)$$

Период дискретизации управления находится по формулам:

$$\begin{aligned}T_{\text{упр}} &= \pi / 4 \omega_{i,\text{max}}^p, \\ \omega_{i,\text{max}}^p &= \max_{j \in \{0, \tilde{\vartheta}_i^p\}} \left\{ |p_{i,j}^{p,B}|, |\text{Im } p_{i,j}^{p,K}| \right\},\end{aligned}\quad (31)$$

где $p_{i,j}^{p,B}$ и $p_{i,j}^{p,K}$ – вещественные и комплексные корни полинома

$$\tilde{D}_i^p(p) = \delta_{i,0}^p + \delta_{i,1}^p p + \dots + \delta_{i,\tilde{\vartheta}_i^p}^p p^{\tilde{\vartheta}_i^p}.$$

Затем передаточные функции $W_{i,Q}^p(p) = Q_i^p(p) / R_i^p(p)$ и $W_{i,L}^p(p) = L_i^p(p) / R_i^p(p)$ подвергаются при $T = T_{\text{упр}}$ преобразованию

$$\begin{aligned}W_{i,Q}^p(z) &= \frac{z-1}{z} Z_T \left\{ \frac{W_{i,Q}^p(p)}{p} \right\}, \\ W_{i,L}^p(z) &= \frac{z-1}{z} Z_T \left\{ \frac{W_{i,L}^p(p)}{p} \right\}, \quad i = 1, 2; \\ \rho &= \overline{1, N_{\text{гп}}}.\end{aligned}\quad (32)$$

Подчеркнём, что преобразование (32) удобно выполнять с помощью функции «с2d» пакета MATLAB. В результате получаются ПФ $W_{i,Q}^p(z) = \bar{Q}_i^p(z) / \bar{R}_i^p(z)$ и $W_{i,L}^p(z) = \bar{L}_i^p(z) / \bar{R}_i^p(z)$.

В некоторых случаях полином $\bar{R}_i^p(p)$ имеет вид $\bar{R}_i^p(p) = p^v R_{i,1}^p(p)$. При этом коэффициенты полинома $\bar{R}_i^p(z)$ округляются так, чтобы он приобрёл вид $\bar{R}_i^p(z) = (z-1)^v \bar{R}_{i,1}^p(z)$. При этом уравнения АдУУ записываются в виде

$$\begin{aligned} (z-1)^v u_i^p(z) &= w_i^p(z), \\ \bar{R}_{i,1}^p(z) w_i^p(z) &= \bar{Q}_i^p(z) g_i^p(z) - \\ &- \bar{L}_i^p(z) y_i^p(z), \end{aligned} \quad (33)$$

где $w_i^p(z)$ – z -изображение вспомогательной переменной $w_{i,k}^p$. Алгоритм работы микроконтроллера по вычислению значений управляющего воздействия $u_{i,k}^p$, $k = 0, 1, 2, \dots$ формируется путем перехода в уравнениях (33) к оригиналам.

Соотношения (5), (7) – (33) в совокупности с таблицами СНПФ являются новыми, оригинальными соотношениями аналитического метода синтеза адаптивных систем управления с идентификацией. Этот метод является более быстродействующим, по сравнению с известными. Использование марковских параметров и простых пробных воздействий придаёт этому методу высокие идентификационные возможности и существенно расширяет область применения адаптивных систем. Кроме того, он допускает распараллеливание процесса идентификации, что особенно важно при большем числе идентифицируемых каналов объектов управления.

Заключение

Таким образом, применение марковского метода идентификации и метода аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям позволяет автоматически найти дискретные

уравнения адаптивных устройств управления, соответствующих новым значениям порядка и параметров каждого p -го робота. Эти устройства обеспечивают устойчивость и качество процессов управления в условиях неопределённости не хуже заданного. Предложенный метод может использоваться при создании современных адаптивных систем управления техническими объектами различных областей производства. Существенным преимуществом является его ориентация на современные цифровые средства управления.

Публикация подготовлена в рамках реализации в ЮФУ и ЮНЦ РАН ПФИ Президиума РАН № 1.29 «Актуальные проблемы робототехнических систем» (ГЗ ЮНЦ РАН на 2018 г., № гр. проекта АААА-А18-118020190041-1) и грантов РФФИ № 16-29-04194; № 17-29-07054.

Список литературы

1. Капустян С.Г. Децентрализованный метод коллективного распределения целей в группе роботов // Известия вузов. Электроника. 2006. № 2. С.84-91.
2. Cheng, T.M. and Savkin, A.V. Decentralized control for mobile robotic sensor network self-deployment: Barrier and sweep coverage problems // Robotica. 2011. No. 29. P. 283-294.
3. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Управление подвижными объектами в определённых и неопределённых средах. М.: Наука, 2011. 350 с.
4. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: Физматлит, 2009. 280 с.
5. Tayebi, A. Unit quaternion-based output feedback for the attitude tracking problem // IEEE Transactions on Automatic Control. 2008. No. 53(6). P. 1516-1520.

6. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1976. 263 с.

7. Гайдук А.Р. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления. 2-е изд. Кисловодск: Изд-во КГТИ, 2018. 261 с.

8. Назарова А.В., Рыжкова Т.П. Система управления коллективом мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 4. С. 45-50.

9. Лотоцкий В.А. Идентификация структур и параметров систем управления // Измерения, контроль, автоматизация. 1991. № 3-4. С. 30-39.

10. Goodwin G.C., Payne R.L. Dynamic system identification: experiment design and analysis. New York: Academic Press, 1977. 291 p.

11. Куценко К.В. Статистическая идентификация технологических объектов методом численного решения уравнения Винера-Хопфа // Труды XIX Меж-

дународной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». Секция 7. Информатика и управление в технических системах. Томск, 2013. С. 268-269.

12. Интеллектуальное управление мобильными роботами в условиях неопределенности / А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян, М.Ю. Медведев, А.А. Дьяченко, И.О. Шаповалов // Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции (с. Дивноморское, Геленджик, Россия). Т. 2. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2017. С. 253-255.

13. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитических систем автоматического управления (Полиномиальный подход). М.: Физматлит, 2012. 415 с.

14. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: Физматлит, 2007. 288 с.

Поступила в редакцию 20.06.18

UDC 681.5.013 + 007.52: 004.896

A.R. Gaiduk, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southern Federal University (SFEDU) (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: gaiduk_2003@mail.ru)

I.A. Kalyaev, RAS Academician, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: kaliae@niimvms.ru)

S.G. Kapustyan, Doctor of Engineering Sciences, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: kap56@mail.ru)

I.O. Shapovalov, Institute of Robotics and Control Processes, Institute of Robotics and Management Processes (Taganrog, Russia) (e-mail: shapovalovio@gmail.com)

DESIGN OF THE CONTROL SYSTEM BY MOVEMENT OF ROBOTS MOBILE GROUP IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Many controlled plants, in particular mobile robots, solve various tasks in a priori uncertain conditions. In this connection their mathematical models necessary for creation of qualitative control systems are unknown. Therefore development of design methods of adaptive control systems is actuality. The big uncertainty of this control problem makes application of adaptive systems with identification by the most expedient. In article the new analytical design method of adaptive control systems by movement of mobile robots group in the uncertainty conditions is offered. This method is focused on the decision of a task of identification of the current mathematical models of robots with the subsequent design of a control system by movement of each robot. The suggested method can be realized automatically as required. It is developed on a basis of the markov method of identification, the method of analytical design of systems with control on output and impacts, and also the standard normalized transfer functions are used. As a whole this method allows to design of the adaptive control systems with desirable qualitative properties. Trial

step functions of the small intensity and the original method of digital processing of the information are used at identification. Property of system invariancy of the markov parameters and their direct connection with factors of the discrete dynamic systems transfer functions are a basis of the method of digital processing of the information. It is supposed, that the mobile robots are full or can be stabilized at all possible values of their order and parameters. The suggested method can be used for creation of control systems by the various technical plants functioning in conditions of uncertainty.

Key words: mobile robot; group; uncertainty; identification; markov parameter; control on output and impacts; direct parameter of quality.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-112-122

For citation: Gaiduk A.R., Kalyaev I.A., Kapustyan S.G., Shapovalov I.O. Design of the Control System by Movement of Robots Mobile Group in Conditions of Uncertainty. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 112-122 (in Russ.).

Reference

1. Kapustjan S.G. Decentralizovannyj metod kollektivnogo raspredelenija celej v gruppe robotov. *Izvestija vuzov. Jelektronika*, 2006, no. 2, pp.84-91.
2. Cheng, T.M. and Savkin, A.V. Decentralized control for mobile robotic sensor network self-deployment: Barrier and sweep coverage problems. *Robotica*, 2011, no. 29, pp. 283-294.
3. Pshihopov V.H., Medvedev M.Ju. Upravlenie podvizhnymi ob#ektami v opredeljonnyh i neopredeljonnyh sredah. Moscow, Nauka Publ., 2011, 350 p.
4. Kaljaev I.A., Gajduk A.R., Kapustjan S.G. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravlenija v gruppah robotov. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009, 280 p.
5. Tayebi, A. Unit quaternion-based output feedback for the attitude tracking problem. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2008, no. 53(6), pp. 1516-1520.
6. Aleksandrov A.G. Optimal'nye i adaptivnye sistemy. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1976, 263 p.
7. Gajduk A.R. Optimal'nye i adaptivnye sistemy avtomaticheskogo upravlenija. 2th ed. Kislovodsk, 2018, 261 pp.
8. Nazarova A.V., Ryzhkova T.P. Sistema upravlenija kollektivom mobil'nyh robotov. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie*, 2014, no. 4, pp. 45-50.
9. Lotockij V.A. Identifikacija struktur i parametrov sistem upravlenija. *Izmerenija, kontrol', avtomatizacija*, 1991, no. 3-4, pp. 30-39.
10. Goodwin G.C., Payne R.L. Dynamic system identification: experiment design and analysis. New York, Academic Press Publ., 1977, 291 p.
11. Kucenko K.V. Statisticheskaja identifikacija tehnologicheskikh ob#ektov metodom chislennogo reshenija uravnenija Vinera-Hopfa. Sovremennye tehnika i tehnologii Trudy XIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Sekcija 7. Informatika i upravlenie v tehniceskikh sistemah. Tomsk, 2013, pp. 268-269.
12. Gajduk A.R., Kapustjan S.G., Medvedev M.Ju., D'jachenko A.A., Shapovalov I.O. Intellektual'noe upravlenie mobil'nymi robotami v uslovijah neopredelennosti. Materialy 10-j Vserossijskoj mul'tikonferencii (s. Divnomorskoe, Gelendzhik, Rossija.) Tom 2. Rostov-on-Don, Izd-vo JuFU, 2017, pp. 253-255.
13. Gajduk A.R. Teorija i metody analiticheskogo si sistem avtomaticheskogo upravlenija (Polynomial'nyj podhod). Moscow, Fizmatlit Publ., 2012, 415 p.
14. Kim D.P. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. Vol. 1. Linejnye sistemy. 2th ed. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007, 288 p.

УДК 004.032.26; 615.4

А.В. Киселев, преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kiselevalexey@gmail.com)

Т.В. Петрова, соискатель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ptata@ya.ru)

С.В. Дегтярев, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sergeyd12@gmail.com)

А.Ф. Рыбочкин, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: truten01@yandex.ru)

С.А. Филист, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sfilist@gmail.com)

О.В. Шаталова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: shatolg@mail.ru)

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДУЛИ С ВИРТУАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена проблема построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений по классификации и прогнозированию функционального состояния сложных систем. Для прогнозирования состояния сложных систем предложены нейросетевые решающие модули с виртуальными потоками, которые отражают скрытые системные связи между наблюдаемыми и не наблюдаемыми признаками. При этом вектор информативных признаков на входе решающего модуля состоит из двух подвекторов, первый из которых соответствует реальным потокам, а второй – виртуальным потокам.

Проведено имитационное моделирование процессов классификации с использованием латентных переменных, которое позволило оценить влияние на качество классификации искусственно введенных виртуальных потоков.

Разработана структура нейросетевой модели с виртуальными потоками рекуррентного типа. Структура состоит из N последовательно включенных нейросетевых аппроксиматоров. Выходы предыдущих аппроксиматоров объединяются с вектором информативных признаков последующих аппроксиматоров, что позволяет формировать виртуальные потоки различной размерности.

Разработан метод формирования нелинейных моделей виртуальных потоков, отличающийся использованием метода МГУА-моделирования для получения моделей влияния реальных потоков на виртуальные потоки, получаемых посредством нелинейных адалинов. Метод позволяет формировать подвектор латентных переменных неограниченной размерности.

Нелинейные модели виртуальных потоков формируются посредством метода, основанного на использовании МГУА-моделирования. Метод позволяет получить нейросетевые структуры, построенные на основе МГУА-моделей и нелинейных адалинов, позволяющие формировать подвектор латентных переменных неограниченной размерности.

Ключевые слова: функциональное состояние сложных систем; нейросетевой решающий модуль; латентная переменная; аппроксиматоры; МГУА-модель; виртуальные потоки.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-123-134

Ссылка для цитирования: Нейросетевые модули с виртуальными потоками для классификации прогнозирования функционального состояния сложных систем / А.В. Киселев, Т.В. Петрова, С.В. Дегтярев, А.Ф. Рыбочкин, С.А. Филист, О.В. Шаталова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 123-134.

Введение

Использование инструментария нейросетевого анализа дает возможность создавать качественно новые интеллекту-

альные системы, позволяющие решать большой круг задач классификации и прогнозирования состояния сложных систем [1, 2, 3]. Однако при решении задач

посредством нейросетевых технологий возникают проблемы, обусловленные недостаточным качеством принимаемых решений лицом, принимающим решение (ЛПР), при использовании этих технологий в системах поддержки принятия решений (СППР). Это обусловлено тем, что как при анализе состояния живой системы, так и при прогнозировании ее перехода из одного состояния в другое, необходимо учитывать латентные переменные, которые не входят в исследуемый комплекс параметров системы, на основе которого строится пространство информативных признаков. Эти дополнительные информативные признаки несут информацию о скрытых связях между исходными признаками [4, 5, 6]. Вектор, соответствующий дополнительным латентным информативным признакам, назовем виртуальным потоком. Для определения этих дополнительных признаков необходима системная надстройка, имеющая самоорганизующуюся структуру.

Материалы и методы. Идея построения такой надстройки состоит в следующем. Если данные в системе носят поточный характер, сущность которого заключается в том, что каждый из N потоков формируется множеством информативных признаков, сгруппированных по некоторому принципу, а затем сжатых, вплоть до скаляра, по определенному формальному методу, то к имеющимся N потокам могут быть добавлены дополнительные потоки – виртуальные потоки, представленные своими агрегированными латентными переменными (латентными признаками).

Присутствующие на входе нейронной сети признаки не отражают полностью свойства исследуемого объекта или системы, которые входят в область интересов лица, принимающего решение (ЛПР). Следовательно, можем выдвинуть гипотезу, что есть хотя бы один сегмент информативных признаков $(N+1)$ -й, который включает хотя бы один информативный признак, существенно влияющий на качество принимаемых решений.

Латентные информативные признаки связаны с наблюдаемыми признаками скрытыми системными связями, которые определяются аппроксимирующей функцией, построенной по данным, извлеченным из обучающей выборки (независимым наблюдаемым переменным) и зависимым переменным (латентным переменным), полученным посредством вероятностного программирования [4, 7]. Если такая аппроксимирующая функция будет построена, то по данным неизвестного образца может быть найден дополнительный признак как функция входных наблюдаемых переменных.

Полагаем, что неизвестный образец характеризуется вектором наблюдаемых информативных признаков X с компонентами $x_1, x_2, \dots, x_m$. Необходимо получить функциональную зависимость латентной переменной Y от наблюдаемого вектора X , то есть

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1)$$

полагая априорно, что присутствие на входе классифицирующей модели этого латентного информативного признака улучшит качество классификации.

Модель нейросетевой структуры с виртуальным потоком показана на рис. 1 [8, 9].

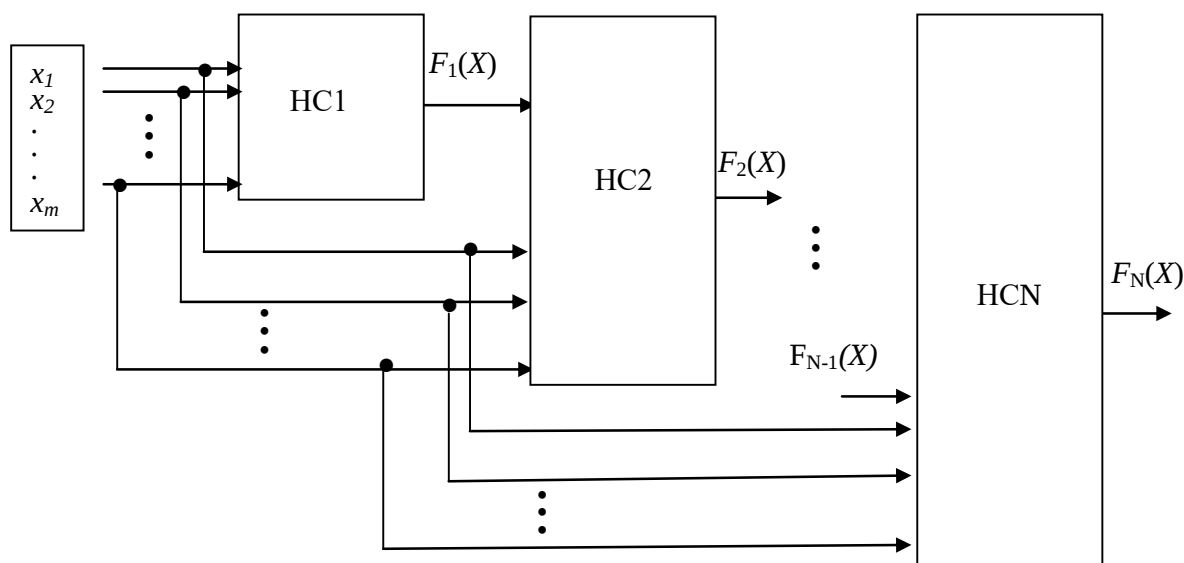


Рис. 1. Структура нейросетевой модели с виртуальными потоками

Отметим, что в обучающую выборку для аппроксиматоров – нейронных сетей входят не только экспериментальные данные, полученные на соответствующем интервале наблюдения сложной системы, но и данные, полученные в результате имитационного моделирования на предшествующей нейросетевой модели. Таким образом, каждый нейросетевой модуль (НС на рис. 1) в этой модели, кроме первого и последнего, является не только анализатором латентной переменной $F_i(X)$, но и источником виртуальных данных для настройки параметров (обучения) последующего нейросетевого модуля.

Для построения аппроксиматоров, которыми являются нейронные сети $HC1 \dots HC(N-1)$ на рис. 1, используем метод группового учета аргументов (МГУА) [10]. В качестве аппроксимирующей функции (1) при использовании этого метода очень часто используется полином Колмогорова-Габора [11]:

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \alpha_{ijk} x_i x_j x_k + \dots, \quad (2)$$

так как с помощью такого полинома можно добиться достаточно точной аппроксимации любой дифференцируемой функции F .

Эта сложная зависимость заменяется множеством простых функций:

$$\begin{aligned} y_1 &= f(x_1, x_2); \quad y_2 = f(x_1, x_3), \dots, \\ y_s &= f(x_{m-1}, x_m), \end{aligned} \quad (3)$$

где $s = C_m^2$, причем функция f повсюду одинакова.

В качестве функции f выбираются простые зависимости

$$y(x_i, x_j) = a_0 + a_i x_i + a_j x_j + a_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

или

$$\begin{aligned} y(x_i, x_j) &= a_0 + a_i x_i + a_j x_j + \\ &+ a_{ij} x_i x_j + a_{ii} x_i^2 + a_{jj} x_j^2, \end{aligned} \quad (5)$$

связывающие только две переменные. Коэффициент этих зависимостей определяются с помощью МНК, имея соответственно 4 (уравнение (4)) или 6 (уравнение (5)) точек наблюдений в обучающей последовательности.

Среди моделей первого ряда выбираются несколько, например, S^* наилучших, показавших хорошие результаты на контрольной выборке. Среди отобранных

моделей остаются те, которые не только хорошо аппроксимируют данные в узлах интерполяции, но и «угадывают» поведение функции (2) в области, не охваченной экспериментом.

Во втором ряду алгоритма МГУА полученные на обучающей выборке значения y_i , соответствующие отобранным моделям, рассматриваются в качестве аргументов нового ряда:

$$\begin{aligned} z_1 &= f(y_1, y_2); \\ z_2 &= f(y_1, y_3); \dots; \\ z_{S^*} &= f(y_{S^*-1}, y_{S^*}). \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь функции f остаются прежними и соответствуют соотношениям (4) или (5), но аргументами этих функций выступают переменные y_i . Коэффициенты новых моделей (6) находятся по МНК на точках той же обучающей последовательности. Новые модели проверяются на точках проверочной последовательности, и среди них выбирается S^* наилучших, которые используются в качестве аргументов следующего третьего ряда и т.д. Сложность полиномов возрастает от ряда к ряду.

Входные аргументы и промежуточные переменные сопрягаются попарно, и сложность комбинаций на каждом этапе (ряде) обработки информации возрастает (как при массовой селекции), пока не будет получена единственная модель оптимальной сложности.

Каждое частное описание является функцией только двух аргументов. Поэтому его коэффициенты легко определить по данным обучающей последовательности при малом числе узлов интерполяции. Исключая промежуточные переменные (если это удастся), можно получить аналог полного описания. Напри-

мер, по десяти узлам интерполяции можно получить в результате оценки коэффициентов полинома сотой степени и т.д.

Из ряда в ряд селекции пропускается только некоторое количество самых регулярных переменных. Степень регулярности оценивается по величине среднеквадратичной ошибки (средней для всех выбираемых в каждом поколении переменных или для одной самой точной переменной) на отдельной проверочной последовательности данных. Иногда в качестве показателя регулярности используется коэффициент корреляции.

Ряды селекции наращиваются до тех пор, пока регулярность повышается. Как только достигнут минимум ошибки, селекцию, во избежание «инцухта», следует остановить. Практически рекомендуется остановить селекцию даже несколько раньше достижения полного минимума, как только ошибка начинает падать слишком медленно. Это приводит к более простым и более достоверным уравнениям [11].

Среди множества МГУА - моделей выбираем L наилучших, которые могут быть представлены в виде множества

$$\{f_\ell(X_k) = \tilde{y}\}, \quad (7)$$

где $X_k \subseteq X$, $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – множество информативных признаков, используемых решающими модулями; $\ell = \overline{1, L}$.

На рис. 2 представлена обобщенная структурная схема классифицирующего модуля, предназначенного для работы с дополненным на основе МГУА-моделей пространством информативных признаков.

Рассмотрим метод формирования множества (7). Метод должен синтезировать множество аппроксимирующих связей между элементами входного вектора X и позволить выбрать из этого множе-

ства L функциональных связей, которые формируют L дополнительных признаков, включение которых во входной вектор приводит к повышению качества классификации решающего модуля.

В случае вырождения нелинейных моделей в линейные многомерные аппроксиматоры блок нелинейных моделей (рис. 2) включает множество пар (в случае двухальтернативной классификации) классифицирующих функций (аппрокси-

маторов), каждый из которых выдает число, соответствующее состоянию входного вектора. При необходимости, эти два числа (a и b ,) могут быть агрегированы в одно посредством одного из следующей группы агрегаторов:

$$\begin{aligned} x_{N+i} &= \max(a, b); \quad x_{N+i} = a - b; \\ x_{N+i} &= \min(a, b); \\ x_{N+i} &= \begin{cases} 0, & \text{при } a \leq b; \\ 1, & \text{при } a > b. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

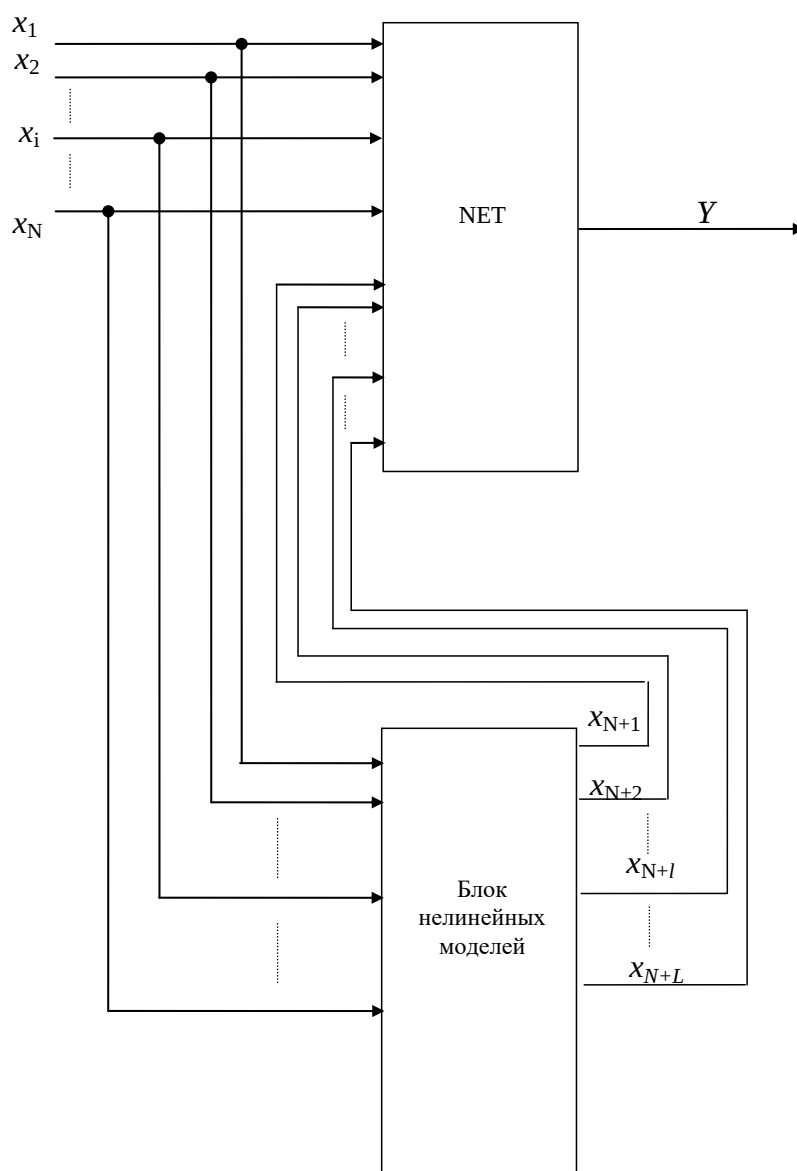


Рис. 2. Обобщенная структурная схема классифицирующего модуля, предназначенного для работы с виртуальными потоками, полученными на основе МГУА-моделей исходного пространства информативных признаков

При этом необходимо учитывать, что соответствующие выходы блоков, моделирующие корреляционные связи исходных информативных признаков, могут быть как двухкомпонентными векторами, так и скалярами, в зависимости от наличия в моделирующих модулях агрегирующих блоков вида (2).

Включение в множество моделей очередной, $(\ell + 1)$ -й, модели, осуществляется по рекуррентной схеме, представленной на рис. 1. Эта схема позволяет оценить вклад в показатели качества принятия решений $(\ell + 1)$ -го дополнительного информативного признака при наличии (ℓ) дополнительных признаков.

В общем случае, для построения модели рис. 2 привлекаются алгоритмы эволюционного типа («жадные» алгоритмы) [11].

Блок нелинейных моделей виртуальных потоков составляет основу классифицирующего модуля (см. рис. 2). Блок нелинейных моделей состоит из двух слоев. Первый слой формирует множество моделей $\hat{Y}$. Для каждого виртуального потока посредством МГУА - моделирования получено свое подмножество моделей $\{z_j\}_i \subseteq Z, \forall i = \overline{1, M}$. Каждое подмножество моделей $\{z_j\}_i, j = 1 \dots K_i$, где K_i – число МГУ - моделей для i -го виртуального потока, полученных на основе МГУА-моделирования, которые предполагается использовать для описания взаимного влияния известных информативных признаков (реальных потоков) в системе простых комбинаций реальных и виртуальных потоков. Множество статических моделей $\hat{Y}$ получается не посредством усложнения МГУА-моделей, а посредством МГУА-нейрон-

ной сети [10]. Отличие предлагаемой МГУА-нейронной сети от рассмотренной в [10] состоит в том, что каждый блок модели виртуального потока (второй слой модели) является МГУА-нейронной сетью, на входы которой поступают полученные путем МГУА-моделирования модели, включающие множество X реальных и виртуальных потоков. Структурная схема i - го блока модели виртуального потока представлена на рис. 3.

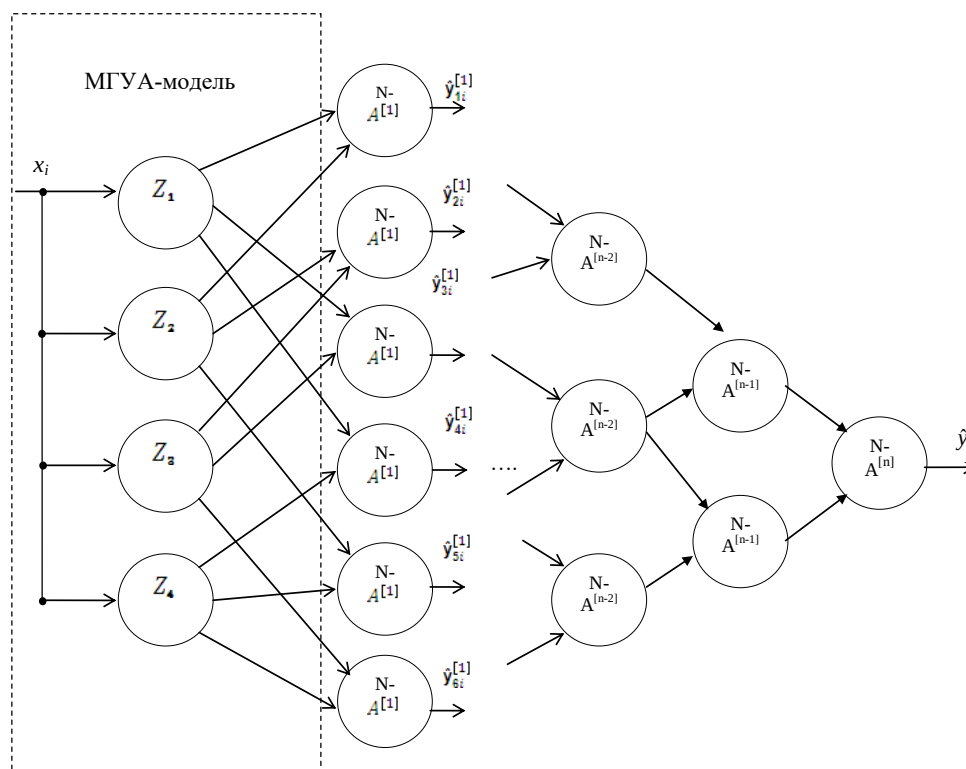
В качестве примера в ней использованы четыре МГУА - модели виртуального потока $X_i : z_1, z_2, z_3, z_4$ с нелинейными адалинами (N-A).

МГУА-сеть имеет переменную структуру, которая настраивается в процессе обучения. Каждый нейрон сети – N-A представляет собой адаптивный линейный ассоциатор с двумя входами z_g и z_h и нелинейным процессором, образованным тремя блоками умножения, и вычисляет квадратичную комбинацию входов вида

$$\begin{aligned} \hat{y}_{gh} = f_{gh}(z_g, z_h) = & w_{gh_0} + w_{gh_1} z_g + \\ & + w_{gh_2} z_g^2 + w_{gh_3} z_g z_h + \\ & + w_{gh_4} z_h^2 + w_{gh_5} z_h = w_{gh}^T z_{gh}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $w_{gh} = (w_{gh_0}, w_{gh_1}, w_{gh_2}, w_{gh_3}, w_{gh_4}, w_{gh_5})^T$, $z_{gh} = (1, z_g, z_g^2, z_g z_h, z_h^2, z_h)^T$.

Процесс обучения МГУА-модели виртуального потока состоит в конфигурации нейронных сетей (рис. 3), начиная с первого скрытого слоя, независимой настройке синаптических весов каждой нелинейной адалины и наращивании количества слоев для достижения необходимой точности прогнозирования.

Рис. 3. Структурная схема i -й нелинейной модели на основе МГУА-моделирования

Количество нейронов первого скрытого слоя сети определяется количеством K МГУА – моделей соответствующего эндогенного фактора и не превышает значение $K(K-1)/2$ – количества сочетаний из K по 2.

После обучения нейронной сети посредством любого из известных алгоритмов обучение [12, 13, 14] оценивается точность моделирования, например, с помощью дисперсии ошибки предсказания для каждого нейрона и формируется группа нейронов, дающих ошибку ниже некоторого априорно заданного порога. Выходы этой группы $\hat{y}_i^{[1]}$ являются входами нейросетевой структуры (см. рис.3) [10, 15].

Для оценки степени управляемости показателями качества классификации нейронной сети посредством виртуального входа использовалось имитационное моделирование в среде MATLAB [7].

Графики зависимости показателя качества классификации S от величины дисперсии виртуального входа, представлены на рис. 4. Управляемость величиной S посредством изменения дисперсии виртуального потока исследовалась при различных размерностях пространства информативных признаков 3, 5 и 7.

Представленные на рис. 4 зависимости показывают, что для широкого значения размерностей пространства информативных признаков может быть подобрана дисперсия виртуального потока, которая позволяет управлять показателем качества классификации нейронной сети в широком диапазоне. При этом управляемость показателя качества классификации снижается с ростом пространства информативных признаков, откуда следует, что при увеличении размерности пространства информативных признаков необходимо увеличивать число виртуальных потоков.

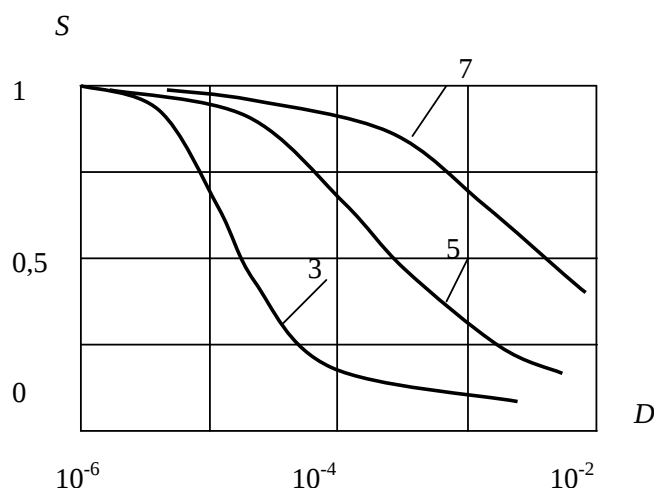


Рис. 4. Влияние дисперсии виртуального входа на качество классификации нейронной сети прямого распространения при размерности пространства информативных признаков три, пять и семь

Выводы

1. Для прогнозирования состояния сложных систем предложены нейронные сети с виртуальными потоками, которые отражают скрытые системные связи между наблюдаемыми и не наблюдаемыми независимыми параметрами системы. При этом вектор информативных признаков состоит из двух подвекторов, первый из которых соответствует реальным потокам, а второй – виртуальным потокам.

2. Имитационное моделирование процессов классификации с использованием латентных переменных позволили оценить влияние на качество классификации искусственно введенных виртуальных потоков.

3. Разработана структура нейросетевой модели с виртуальными потоками рекуррентного типа, состоящая из N последовательно включенных нейросетевых аппроксиматоров, отличающаяся тем, что выходы предыдущих аппроксиматоров объединяются с вектором информативных признаков последующих аппроксима-

торов, позволяющая формировать виртуальные потоки различной размерности.

4. Разработан метод формирования нелинейных моделей виртуальных потоков, отличающийся использованием метода МГУА-моделирования для получения моделей влияния реальных потоков на виртуальные потоки, получаемых посредством нелинейных адалинов, позволяющий формировать подвектор латентных переменных неограниченной размерности.

Список литературы

1. Филист С.А., Волков И.И., Емельянов С.Г. Метод классификации сложных объектов на основе анализа структурных функций медленных волн // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. №4. С.6-11.
2. Филист С.А., Томакова Р.А., Яа Зар До. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43). Ч. 2. С. 44-50.
3. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем

классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С.А. Филист, А.Г. Курочкин, В.В. Жилин [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. Научно-технический журнал. 2015. № 3 (31). С.85-95.

4. Синтез дополнительного информативного признака для нейронной сети прямого распространения / А.О. Позин, С.А. Филист, А.Н. Шуткин [и др.] // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. Курск, 2016. С. 212-217.

5. Позин А.О., Филист С.А., Шуткин А.Н. Тестирующие гибридные системы с дополнительным пространством информативных признаков // Современные информационные технологии в управлении качеством: сборник статей V Международной научно-прикладной конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. С.46-50.

6. Теория проектирования нечетких сетевых экспертных систем для управления медико-экологической безопасностью / Н.А. Кореневский, С.А. Филист, А.Б. Красковский [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. № 9-1 (64). Т. 11. С.146-151.

7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. 736 с.

8. Шуткин А.Н., Позин А.О., Филист С.А. Адаптируемые к структуре данных классификаторы в задачах прогнозирования профессиональных заболеваний // Искусственный интеллект в решении ак-

туальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Второй Всерос. науч.-практ. конф. Пермь, 2017. С.161-164.

9. Старцев Е.А., Шаталова О.В., Уварова В.В. Двумерные нейросетевые структуры мета-анализа медико-экологических данных // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Пермь, 2016. С.161-164.

10. Позин А.О., Старцев Е.А., Уварова В.В. МГУА-нейронные сети для прогнозирования состояния сложных систем с временными лагами // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных: материалы XXIV Всероссийского семинара. Красноярск: Институт вычислительного моделирования СО РАН, 2016. С. 50-55.

11. Артеменко М.В., Калугина Н.М., Шуткин А.Н. Формирование множества информативных показателей на основании аппроксимирующего полинома Колмогорова-Габора и максимального градиента функциональных различий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. №1(18). С.116-123.

12. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: [пер. с англ.]. 2-е изд., испр. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. 1104 с.

13. Мохаммед А.А., Филист С.А., Шаталова О.В. Моделирование импеданса биоматериалов в среде MATLAB // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 4. С. 73-78.

14. Томакова Р.А., Шаталова О.В., Томаков М.В. Теоретико-множественный подход и теория графов в обработке сложноструктурируемых изображений : монография. Курск, 2012. 119 с.

15. Способ моделирования нечетких моделей в пакете MATLAB для биомеди-

цинских приложений / В.В. Жилин, С.А. Филист, Халед Абдул Рахим, О.В. Шаталова // Медицинская техника. 2008. №2. С. 15-17.

Поступила в редакцию 29.06.18

UDC 004.032.26; 615.4

A.V. Kiselev, Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: kiselevalexey@gmail.com)

T.V. Petrova, Competitor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ptata@ya.ru)

S.V. Degtyaryov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sergeyd12@gmail.com)

A.F. Rybochkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: truten01@yandex.ru)

S.A. Filist, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sfilist@gmail.com)

O.V. Shatalova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: shatolg@mail.ru)

HYBRID DECIDING MODULES WITH VIRTUAL STREAMS FOR CLASSIFICATION AND PREDICTION OF FUNCTIONAL STATE OF COMPLEX SYSTEMS

The problem reviewed of building intelligent decision support systems for classification and prediction of the functional state of complex systems in the article. To predict the state of complex systems, hybrid decision modules with virtual flows are proposed, which reflect the hidden system connections between real and virtual data. The vector of informative features at the input of the hybrid decision module consists of two subsectors, the first of which corresponds to real flows, and the second – to virtual flows.

Simulation modeling of classification processes using latent variables was performed, which allowed to evaluate the effect on the quality of classification of artificially introduced virtual flows.

The structure of a neural network model with virtual recurrent-type streams is developed. The structure consists of N consecutively included neural network approximants. The outputs of the previous approximators are combined with the vector of in-formative attributes of the subsequent approximators, which allows forming virtual flows of different dimensions.

A method is developed for the formation of non-linear models of virtual flows, characterized by the use of the GMDH-simulation method to obtain models of the influence of real flows on virtual flows, learned through nonlinear adalines. The method makes it possible to form a subvector of latent variables of unlimited dimension.

Non-linear models of virtual flows are formed through a method based on the use of GMDH modeling. The method makes it possible to obtain neural network structures built on the basis of GMDH models and nonlinear adalines, which make it possible to form a subvector of latent variables of unlimited dimensionality.

Key words: functional state of complex systems; neural network decision module; latent variable; approximants; GMDH model; virtual flows.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-123-134

For citation: Kiselev A.V., Petrova T.V., Degtyaryov S.V., Rybochkin A.F., Filist S.A., Shatalova O.V. Hybrid Deciding Modules with Virtual Streams for Classification and Prediction of Functional State of Complex Systems. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 123-134 (in Russ.).

Reference

1. Filist S.A., Volkov I.I., Emel'yanov S.G. Metod klassifikatsii slozhnykh ob"ektov na osnove analiza strukturnykh funktsiy medlennyykh voln [Method of classification of complex objects based on the analysis of structural functions of slow waves]. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical radioelectronics], 2012, no.4, pp.6-11.
2. Filist S.A., Tomakova R.A., Yaa Zar Do. Universal'nye setevye modeli dlya zadach klassifikatsii biomeditsinskiykh dannykh [Generic network model for classification of biomedical data]. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Southwest State University], 2012, no. 4 (43), part. 2, pp. 44-50.
3. Filist S.A., Kurochkin A.G., Zhilin V.V. i dr. Ispol'zovanie gibridnykh neyrosetevykh modeley dlya mnogoagentnykh sistem klassifikatsii v geterogennom prostranstve informativnykh priznakov [Use of hybrid neural network models for multi-agent classification systems in heterogeneous space of informative features]. *Pri-kaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal* [Caspian journal: management and high technologies. Scientific and technical journal], 2015, no. 3 (31), pp.85-95.
4. Pozin A.O., Filist S.A., Shutkin A.N. i dr. Sintez dopolnitel'nogo informativnogo priznaka dlya neyronnoy seti pryamogo rasprostraneniya [Synthesis of additional informative feature for direct propagation neural network]. *Novye resheniya v oblasti uprochnyayushchih tekhnologiy: vzglyad molodykh spetsialistov. Sbornik nauchnykh statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New solutions in the field of strengthening technologies: the view of young professionals: collection of scientific articles on the materials of the International scientific-practical conference]. Kursk, 2016, pp. 212-217.
5. Pozin A.O., Filist S.A., Shutkin A.N. Testiruyushchie gibridnye sistemy s dopolnitel'nym prostranstvom informativnykh priznakov [Testing hybrid systems with additional space of informative features]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii v upravlenii kachestvom. Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prikladnoy konferentsii* [Modern information technologies in quality management: collection of articles of the V International scientific and applied conference]. Penza, 2016, pp.46-50.
6. Korenevskiy N.A., Filist S.A., Kraskovskiy A.B. i dr. Teoriya proektirovaniya nechetkiykh setevykh ekspertnykh sistem dlya upravleniya mediko-ekologicheskoy bezopasnost'yu [The theory of network designing of fuzzy expert systems to manage health and environmental safety]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika* [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies], 2009, no. 9-1 (64), vol. 11, pp.146-151.
7. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTECH [Fuzzy modeling in Matlab and fuzzyTECH]. St. Petersburg, 2005, 736 p.
8. Shutkin A.N., Pozin A.O., Filist S.A. Adaptiruemye k strukture dannykh klassifikatory v zadachah prognozirovaniya professional'nykh zabolevaniy [Adapted to structure given qualifiers in problem of the forecasting of the professional diseases]. *Iskusstvennyy intellekt v reshenii aktual'nykh sotsial'nykh i ekonomicheskikh problem XXI veka. Sb. st. po materialam Vtoroy Vseros.*

nauch.-prakt. konf. [Artificial intelligence in the solution of urgent social and economic problems of the XXI century. Collection of articles on materials of all-Russian scientific.-practice. conf.] Perm', 2017, pp.161-164.

9. Startsev E.A., Shatalova O.V., Uvarova V.V. Dvumernye neyrosetevye struktury meta-analiza mediko-ekologicheskikh dannykh [Two-dimensional neural networks structures meta-analysis physician-ecological data]. *Iskusstvennyy intellekt v reshenii aktual'nykh sotsial'nykh i ekonomicheskikh problem XXI veka. Sb. st. po materialam Vseros. nauch.-prakt. konf. [Artificial intelligence in the solution of urgent social and economic problems of the XXI century: collection of articles on materials of all-Russian scientific.-practice. conf.] Perm', 2016, pp.161-164.*

10. Pozin A.O., Startsev E.A., Uvarova V.V. MGUA-neyronnye seti dlya prognozirovaniya sostoyaniya slozhnykh sistem s vremennymi lagami [MGAA-neural networks for predicting the state of complex systems with time lags]. *Neyroinformatika, ee prilozheniya i analiz dannykh. Materialy XXIV Vserossiyskogo seminar [Neuroinformatics and its applications. Proceedings XXIV National Workshop]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 50-55.*

11. Artemenko M.V., Kalugina N.M., Shutkin A.N. Formirovanie mnozhestva informativnykh pokazateley na osnovanii aproksimiruyushchego polinoma Kolmogorova-Gabora i maksimal'nogo gradienta funktsional'nykh razlichiy [Formation of a set of informative indicators on the basis of the approximating Kolmogorov-Gabor polynomial and the maximum gradient of function-

al differences]. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, Vychislitel'naya Tekhnika, Informatika. Meditsinskoe priborostroenie [Proceedings of Southwest State University. Series: Control, computer engineering, computer science. Medical devices], 2016, no. 1(18), pp.116-123.*

12. Haykin S. Neyronnye seti: polnyy kurs. [Neural networks: full course: Translation from English] 2-e izd., ispr. Moscow, 2006, 1104 p.

13. Mokhammed A.A., Filist S.A., Shatalova O.V. Modelirovanie impedansa biomaterialov v srede MATLAB [Modeling of impedance of biomaterials in MATLAB]. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, Vychislitel'naya Tekhnika, Informatika. Meditsinskoe priborostroenie [Proceedings of Southwest State University. Series: Control, computer engineering, computer science. Medical devices], 2013, no. 4, pp. 73-78.*

14. Tomakova R.A., Shatalova O.V., Tomakov M.V. Teoretiko-mnozhestvennyi podkhod i teoriya grafov v obrabotke slozhnostrukturiruemyykh izobrazhenii. [A set-theoretic approach and graph theory in the treatment of difficult structured images: monography]. Kursk, 2012, 119 p.

15. Zhilin V.V., Filist S.A., Khaled Abdul Rahim, Shatalova O.V. Sposob modelirovaniya nechetkikh modeley v pakete MATLAB dlya biomeditsinskiykh prilozheniy [Method of modeling fuzzy models in MATLAB for biomedical applications]. *Meditsinskaya tekhnika [Medical technics], 2008, no. 2, pp. 15-17.*

УДК 004.896

М.В. Бобырь, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

А.Е. Архипов, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alex.76_09@mail.ru)

Н.А. Милостная, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: nat_mil@mail.ru)

М.А.А. Абдулджаббар, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mohammed88@mail.ru)

УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрено моделирование процесса расчета управляющих параметров в задаче охлаждения поверхностей деталей при их обработке на оборудовании с ЧПУ. Предложена нечеткая модель определения силы тока, питающего термоэлемент, с целью управления интенсивностью охлаждения поверхностей обрабатываемых изделий. Нечеткая модель состоит из четырех шагов. На первом шаге осуществляется расчет степеней истинности функций принадлежности. Входные функции принадлежности имеют треугольную форму, а выходная переменная представлена синглтонной функцией. На втором шаге выполняется расчет степеней предпосылок двадцати семи нечетких правил. На третьем шаге производится расчет одиннадцати уровней заключений нечетких правил. На четвертом шаге реализована дефаззификация четкого значения на основе упрощенного нечеткого вывода. После этого определяются коэффициент масштабирования, уровень выходного напряжения. Также осуществляется проверка условия равенства коллекторного тока расчетному значению. В случае невыполнения данного условия, осуществляется перерасчет уровня выходного напряжения, до тех пор, пока не будет выполняться заданное условие. Основной проблемой при работе данной системы является расчет напряжения на выходе микроконтроллера, соответствующего требуемой силе тока на термоэлементе с максимальным быстродействием. Для обеспечения высокого быстродействия при расчете напряжения, устройство, выполняющее эту операцию, реализовано на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), и в нечеткой системе дефаззификация основана на упрощенном нечетко-логическом выводе. В статье приведено численное моделирование, поясняющее суть предложенного технического решения. Представлены временные диаграммы работы устройства управления охлаждением и устройств преобразования напряжения-ток в системе управления охлаждением изделий.

Ключевые слова: нечеткая логика; ПЛИС; преобразование напряжения; термоэлемент.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-135-147

Ссылка для цитирования: Устройство преобразования напряжения для нечеткой системы управления охлаждением изделий / М.В. Бобырь, А.Е. Архипов, Н.А. Милостная, М.А.А. Абдулджаббар // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 135-147.

Введение

Большинство современных устройств управления различными технологическими процессами используют нечеткую логику для расчета управляющих параметров. Например, в работе [1] для прогнозирования технического состояния объектов управления при вибрации используется нейро-нечеткая модель. В статье

[2] нечеткая модель используется для решения задачи оценки интегральных метрик маршрутов в QoS-ориентированных протоколах. В статье [3] рассмотрен расчет силы тока для управления температурным режимом на основе методов нечеткой логики. Следует отметить, что управление техническими объектами осуществляется в современных системах

управления с помощью программируемых логических контроллеров [4], которые формируют на выходе только сигналы управляющего напряжения. Большинство нечетких моделей, предложенных в различных научных исследованиях, рассчитывают выходные сигналы, которые не являются уровнями напряжения, формируемого на выходе управляющего контроллера. Поэтому разработка устройств, позволяющих преобразовывать выходные переменные, полученные в нечетких моделях, в сигналы управляющего напряжения, является актуальной задачей.

Постановка задачи

Заключается в разработке вычислительного устройства, способного преобразовать расчетные величины, полученные с помощью нечетких моделей, в сигнал электрического напряжения, передаваемый на исполнительные механизмы с высоким быстродействием, порядка сотен наносекунд.

На практике существуют программные методы решения данной проблемы. Следует учитывать, что большинство устройств, реализующие эти модели, обрабатывают информацию последовательно. Так, например, при использовании логических контроллеров и/или микропроцессоров арифметические операции $a+b+c+d=e$ и $e+f=g$ будут выполнены за 4 такта, так как каждое вычисление “+” выполняется за один такт. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) за счет параллельно-конвейерной обработки информации выполняют эту операцию за 2 такта, что позволяет существенно увеличить производитель-

ность любого вычислительного устройства. Варианты использования ПЛИС в устройствах преобразования напряжения-ток представлены в статьях [5–7]. Однако гибридным моделям, сочетающим модели нечеткой логики с устройствами преобразования напряжения-ток, мало уделено времени в научной литературе. В статье рассмотрена гибридная модель расчета управляющей величины силы тока для управления термоэлементами в устройстве охлаждения изделий на оборудовании с ЧПУ и назначения управляющего напряжения формируемого на выходе микроконтроллера.

Метод и устройство управления охлаждением изделий

Рассмотрим задачу преобразования величины управляющего сигнала в напряжение, которое необходимо сформировать на выходе микроконтроллера. На рис. 1 представлена схема устройства для вычисления силы тока, передаваемой на термоэлемент, с целью охлаждения поверхностей изделий в процессе их обработки на оборудовании с ЧПУ.

Устройство работает следующим образом. Расчет силы тока, передаваемой на термоэлемент 7, осуществляется в ПЛИС 1 по математической модели, состоящей из последовательного решения 4 шагов [6].

Шаг 1. Расчет степеней функции принадлежности входных переменных по формуле (1), причем функции принадлежности входных переменных представлены на рисунке 2 [8, 9].

Шаг 2. Расчет двадцати семи степеней истинности предпосылок нечетких правил [10–16].

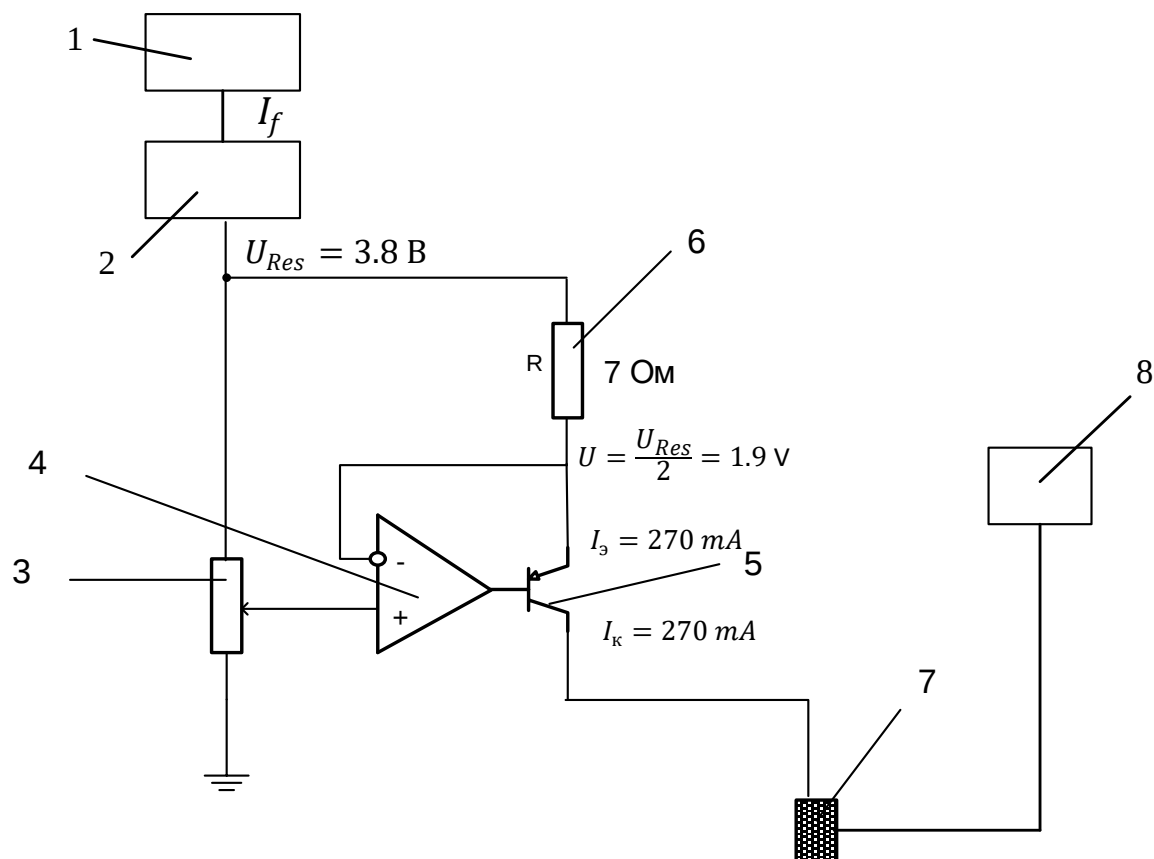


Рис. 1. Устройство управления охлаждением деталей: 1 – ПЛИС, 2 – блок преобразователя; 3 – потенциометр; 4 – операционный усилитель; 5 – биполярный транзистор; 6 – резистор; 7 – термоэлемент; 8 – источник питания

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (1)$$

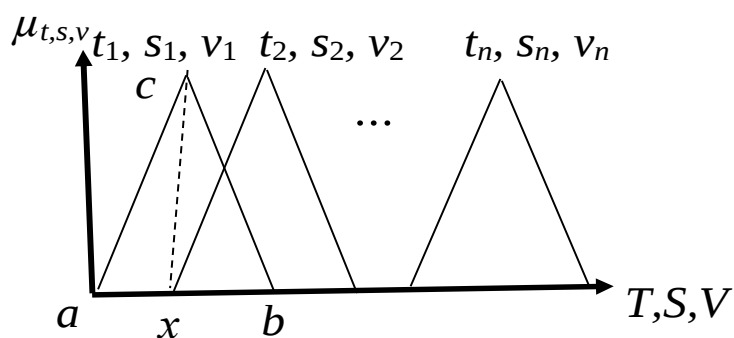


Рис. 2. Функции принадлежности входных переменных:
T, S, V – значения температуры в зоне резания, подачи и скорости резания, соответственно

Таблица 1

Формулы для расчета степеней истинности предпосылок нечетких правил

$N_1 = \min(t_1, s_1, v_1)$	$N_{10} = \min(t_2, s_1, v_1)$	$N_{19} = \min(t_3, s_1, v_1)$
$N_2 = \min(t_1, s_1, v_2)$	$N_{11} = \min(t_2, s_1, v_2)$	$N_{20} = \min(t_3, s_1, v_2)$
$N_3 = \min(t_1, s_1, v_3)$	$N_{12} = \min(t_2, s_1, v_3)$	$N_{21} = \min(t_3, s_1, v_3)$
$N_4 = \min(t_1, s_2, v_1)$	$N_{13} = \min(t_2, s_2, v_1)$	$N_{22} = \min(t_3, s_2, v_1)$
$N_5 = \min(t_1, s_2, v_2)$	$N_{14} = \min(t_2, s_2, v_2)$	$N_{23} = \min(t_3, s_2, v_2)$
$N_6 = \min(t_1, s_2, v_3)$	$N_{15} = \min(t_2, s_2, v_3)$	$N_{24} = \min(t_3, s_2, v_3)$
$N_7 = \min(t_1, s_3, v_1)$	$N_{16} = \min(t_2, s_3, v_1)$	$N_{25} = \min(t_3, s_3, v_1)$
$N_8 = \min(t_1, s_3, v_2)$	$N_{17} = \min(t_2, s_3, v_2)$	$N_{26} = \min(t_3, s_3, v_2)$
$N_9 = \min(t_1, s_3, v_3)$	$N_{18} = \min(t_2, s_3, v_3)$	$N_{27} = \min(t_3, s_3, v_3)$

Шаг 3. Расчет одиннадцати уровней заключений нечетких правил.

Таблица 2

Формулы для расчета уровней заключений нечетких правил

$I_{11} = N_1$		
$I_{10} = \max(N_2; N_4)$	$I_7 = \max(N_9; N_{11}; N_{13})$	$I_4 = \max(N_{18}; N_{20}; N_{22})$
$I_9 = \max(N_3; N_5; N_7)$	$I_6 = \max(N_{12}; N_{14}; N_{16})$	$I_3 = \max(N_{21}; N_{23}; N_{25})$
$I_8 = \max(N_6; N_8; N_{10})$	$I_5 = \max(N_{15}; N_{17}; N_{19})$	$I_2 = \max(N_{24}; N_{26})$
$I_1 = N_{27}$		

Шаг 4. Расчет четкого значения величины силы тока, передаваемой на термоэлемент, по формуле

$$I_f = \frac{\sum_{i=1}^{11} I_i M_i}{\sum_{i=1}^{11} I_i} = \frac{I_1 M_1 + I_2 M_2 + \dots + I_{11} M_{11}}{I_1 + I_2 + \dots + I_{11}}, \quad (2)$$

где $M_i, i=1\dots n$ – значение (по оси абсцисс) меток синглтонной функции принадлежности выходной переменной.

При работе устройства управления охлаждением деталей (см. рис. 1) необходимо учитывать, что выходными сигналами ПЛИС являются только значения напряжения. Формировать уровни силы тока ПЛИС не может. Следовательно, возникает задача преобразования величины силы тока в напряжение. Для этого вначале необходимо рассчитать коэффициент масштабирования PS1:

$$PS1 = \left(\frac{100 \cdot (I_f - I_{min})}{I_{max} - I_{min}} \right) \cdot (U_{max} - U_{min}), \quad (3)$$

где I_f – величина требуемой силы тока, передаваемой на термоэлемент, рассчитывается по формуле (2); I_{min}, I_{max} – мини-

мальное и максимальное значение величины силы тока, передаваемой на термоэлемент; U_{min}, U_{max} – минимальное и максимальное значение напряжения, передаваемого с выхода ПЛИС.

Расчет выходного значения напряжения U_{Res} , передаваемого с выхода ПЛИС, осуществляется по формуле

$$U_{Res} = U_{min} + \left(\frac{PS1}{100} \right) \cdot (U_{max} - U_{min}). \quad (4)$$

После расчета выходного напряжения необходимо смоделировать процесс генерации расчетного значения силы тока коллектора биполярного транзистора 5. Пусть потенциометр 3 устанавливается на 50%, деля напряжение U_{Res} пополам, то есть на неинвертирующем входе операционного усилителя 4 будет напряжение, равное $U = U_{Res}/2$ (см. рис. 1). Операционный усилитель 4 выполнен по схеме повторителя напряжения, следовательно, в точке соединения резистора 6 и инвертирующего входа операционного усили-

теля 4 напряжение также будет равняться $U_{Res}/2$. Таким образом, ток эмиттера I_3 биполярного транзистора 5 будет равняться $I_3 = \frac{U}{R} = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R}$. Как известно, в биполярном транзисторе 5 ток эмиттера I_3 приблизительно равен току коллектора I_k , следовательно, на термозлемент 7 будет подаваться ток коллектора, равный

$$I_k = \frac{U}{R} = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R},$$

и он должен соответствовать значению, полученному при расчете I_f по формуле (2). Условие соответствия равенства проверяется по формуле:

$$I_k = I_f = \frac{U_{Res}}{2 \cdot R}. \quad (5)$$

Величина силы тока, определенной с помощью нечеткой модели (2) в сигнал

напряжения U_{Res} , преобразуется в блоке 2 и передается на потенциометр 3.

Быстродействующее устройство преобразования напряжения

Устройство преобразования напряжения для нечеткой системы управления охлаждением изделий работает следующим образом (рис. 3). На вход устройства преобразователя напряжения 2 поступают от ПЛИС 1 следующие сигналы: минимальное и максимальное значение силы тока I_{min} , и рассчитанное по формуле (1) значение силы тока I_f , а также минимальное U_{min} и максимальное U_{max} значение напряжения с ПЛИС.

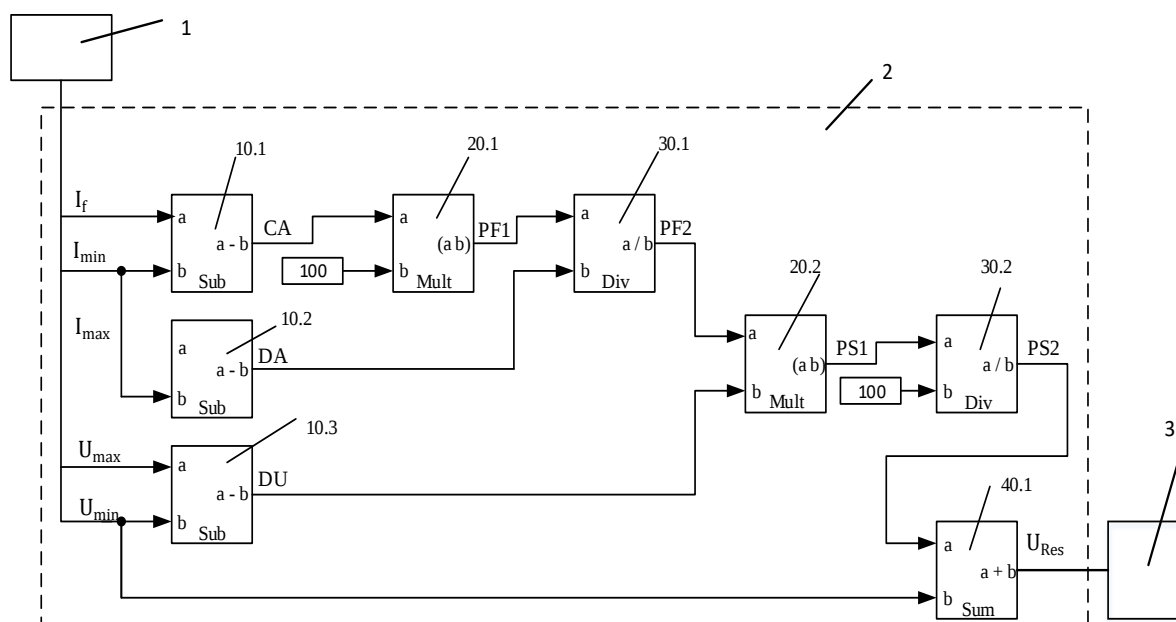


Рис. 3. Схема устройства преобразователя напряжения: 1 – ПЛИС; 2 – блок преобразователя напряжения; 3 – потенциометр; 10.1, 10.2, 10.3 – вычитатели; 20.1, 20.2 – умножители; 30.1, 30.2 – делители; 40.1 – сумматор

В блоках 10.1, 10.2, 10.3, 20.1, 30.1 и 20.2 по формуле (3) осуществляется расчет коэффициента масштабирования PS1. Далее в блоках 30.2 и 40.1 выполняется по формуле (4) расчет величины выходного напряжения U_{res} .

С целью увеличения производительности работы устройства, представленного на рисунке 2, и учитывая особенность работы ПЛИС, модернизируем расчетную схему вычисления результирующего напряжения U_{res} .

Для этого преобразуем формулу (3) вычисления коэффициента масштабирования PS1 в формулу

$$PS1 = (I_f - I_{min}) \cdot (U_{max} - U_{min}). \quad (6)$$

После этого вычисление результирующего значения напряжения осуществ-

ствится по формуле:

$$U_{Res} = U_{min} + \frac{PS1}{I_{max} - I_{min}}. \quad (7)$$

Быстродействующее устройство, реализующее преобразование на основе формулы (7), представлено на рисунке 4.

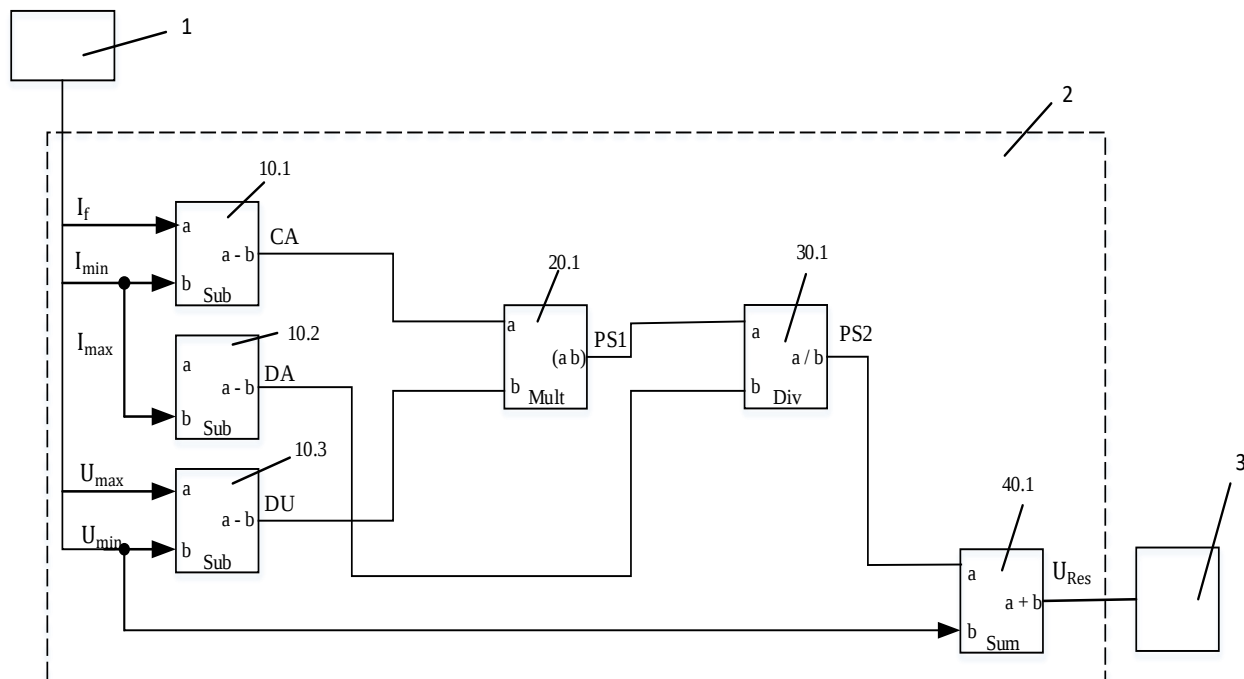


Рис. 4. Быстродействующее устройство преобразования напряжения: 1 – ПЛИС; 2 – быстродействующий блок преобразователя напряжения; 3 – потенциометр; 10.1, 10.2, 10.3 – вычитатели; 20.1 – умножитель; 30.1 – делитель; 40.1 – сумматор

В блоках 10.1, 10.3 и 20.1 по формуле (6) осуществляется расчет коэффициента масштабирования PS1. Далее блоки 10.2, 20.1, 30.1 и 40.1 выполняют по формуле (7) расчет величины выходного напряжения U_{res} .

По сравнению с устройством, предложенным на рисунке 3, в быстродействующем устройстве (рис. 4) исключены по одной операции умножения и деления. Следует отметить, что операция деления является одной из самых труднореализуемых операций в ПЛИС, поэтому ее исключение повышает быстродействие устройства.

Численное моделирование и эксперимент

Построение функций принадлежности (ФП) для входных величин температуры, подачи, скорости резания (T , S , V) и выходной переменной силы тока I_f [9]. Графики функций принадлежности приведены на рисунке 5.

Моделирование расчета результирующего напряжения U_{Res} , в зависимости от требуемого значения силы тока I_f осуществляется следующим образом. Пусть $t=159$ °C (рис. 3, а), $s=0,3$ мм/об (рис. 3, б) и $v=160$ м/мин (рис. 3, в), и $I_{min} = 230$ мА, $I_{max} = 350$ мА, $U_{min} = 3.2$ В, $U_{max} = 5$ В.

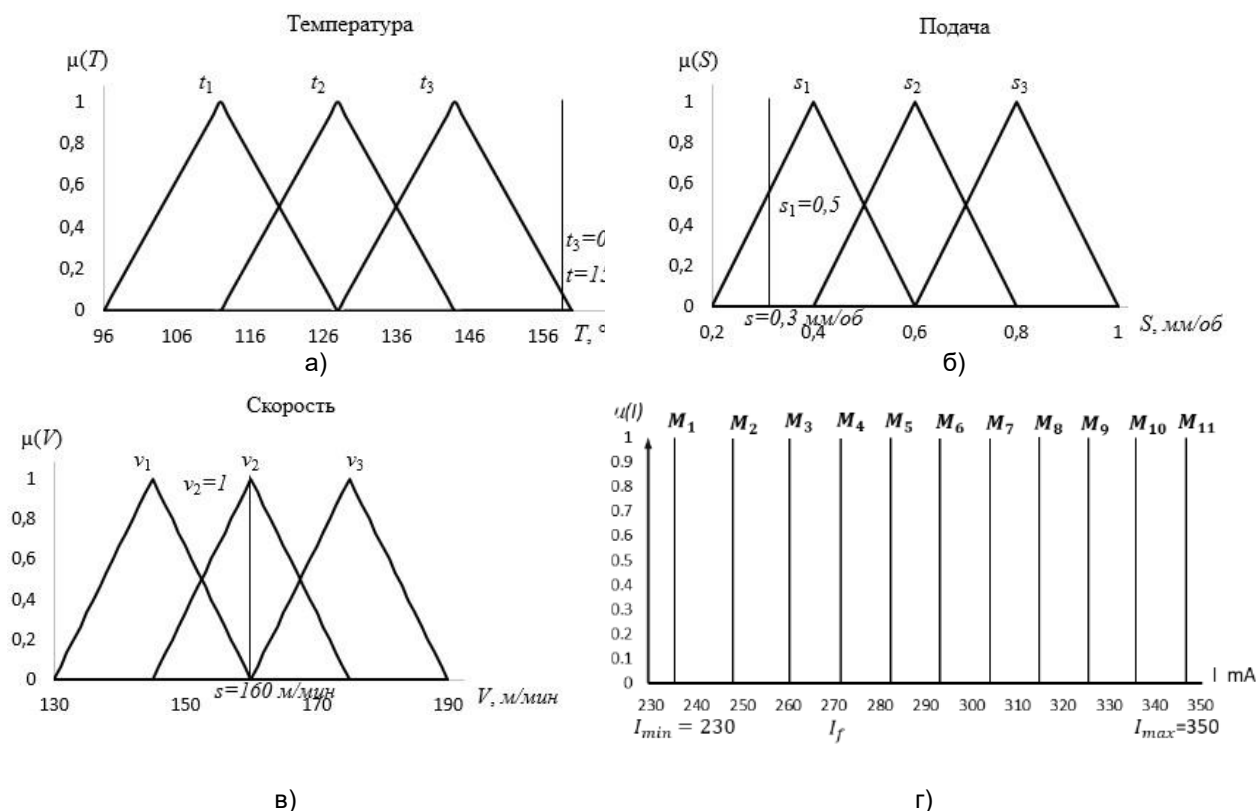


Рис. 5. Графики функций принадлежности: а – входная переменная температура в зоне резания (t_1, t_2, t_3); б – входная переменная подача (s_1, s_2, s_3); в – входная переменная скорость резания (v_1, v_2, v_3); г – выходная переменная сила тока ($I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}$)

Тогда степени функций принадлежности будут равны:

$$t = (t_1, t_2, t_3) = (0; 0; 0,033);$$

$$s = (s_1, s_2, s_3) = (0,5; 0; 0);$$

$$v = (v_1, v_2, v_3) = (0; 1; 0).$$

Степени принадлежности предпосылок нечетких правил определяются по следующим формулам:

$N_1 = \min(t_1, s_1, v_1) = 0$	$N_{10} = \min(t_2, s_1, v_1) = 0$	$N_{19} = \min(t_3, s_1, v_1) = 0$
$N_2 = \min(t_1, s_1, v_2) = 0$	$N_{11} = \min(t_2, s_1, v_2) = 0$	$N_{20} = \min(t_3, s_1, v_2) = 0,033$
$N_3 = \min(t_1, s_1, v_3) = 0$	$N_{12} = \min(t_2, s_1, v_3) = 0$	$N_{21} = \min(t_3, s_1, v_3) = 0$
$N_4 = \min(t_1, s_2, v_1) = 0$	$N_{13} = \min(t_2, s_2, v_1) = 0$	$N_{22} = \min(t_3, s_2, v_1) = 0$
$N_5 = \min(t_1, s_2, v_2) = 0$	$N_{14} = \min(t_2, s_2, v_2) = 0$	$N_{23} = \min(t_3, s_2, v_2) = 0$
$N_6 = \min(t_1, s_2, v_3) = 0$	$N_{15} = \min(t_2, s_2, v_3) = 0$	$N_{24} = \min(t_3, s_2, v_3) = 0$
$N_7 = \min(t_1, s_3, v_1) = 0$	$N_{16} = \min(t_2, s_3, v_1) = 0$	$N_{25} = \min(t_3, s_3, v_1) = 0$
$N_8 = \min(t_1, s_3, v_2) = 0$	$N_{17} = \min(t_2, s_3, v_2) = 0$	$N_{26} = \min(t_3, s_3, v_2) = 0$
$N_9 = \min(t_1, s_3, v_3) = 0$	$N_{18} = \min(t_2, s_3, v_3) = 0$	$N_{27} = \min(t_3, s_3, v_3) = 0$

Уровни заключений нечетких правил будут рассчитаны следующим образом:

$I_{11} = N_1 = 0$		
$I_{10} = \max(N_2; N_4) = 0$	$I_7 = \max(N_9; N_{11}; N_{13}) = 0$	$I_4 = \max(N_{18}; N_{20}; N_{22}) = 0,033$
$I_9 = \max(N_3; N_5; N_7) = 0$	$I_6 = \max(N_{12}; N_{14}; N_{16}) = 0$	$I_3 = \max(N_{21}; N_{23}; N_{25}) = 0$
$I_8 = \max(N_6; N_8; N_{10}) = 0$	$I_5 = \max(N_{15}; N_{17}; N_{19}) = 0$	$I_2 = \max(N_{24}; N_{26}) = 0$
$I_1 = N_{27} = 0$		

Величина силы тока, передаваемой на термоэлемент, определится

$$I_f = 270 \text{ мА.}$$

С учетом формулы (3) вычисляется коэффициент масштабирования:

$$PS1 = \left(\frac{100 \cdot (I_f - I_{min})}{I_{max} - I_{min}} \right) \cdot (U_{max} - U_{min}) = \left(\frac{100 \cdot (270 - 230)}{350 - 230} \right) \cdot (5 - 3.2) = 60.$$

По формуле (4) определится величина выходного напряжения:

$$U_{Res} = U_{min} + \left(\frac{PS1}{100} \right) = 3.2 + \left(\frac{60}{100} \right) = 3.8 \text{ В.}$$

Проверка условия равенства требуемого значения силы тока I_f с рассчитанным значением напряжения осуществляется по формуле

$$I_f = I_k = \left(\frac{U_{Res}}{2R} \right) = \left(\frac{3.8}{2 \cdot 7} \right) = 0.270 \text{ А.}$$

Рассчитанное значение тока коллектора $I_k = 0.270 = I_f$, передаваемого на термоэлемент, совпадает с расчетом значения требуемого тока I_f .

В быстродействующем устройстве коэффициент масштабирования имеет значение

$$PS1 = (I_f - I_{min}) \cdot (U_{max} - U_{min}) = (270 - 230) \cdot (5 - 3.2) = 72. \quad (6)$$

После этого результирующее значение напряжения будет определено:

$$U_{Res} = U_{min} + \frac{PS1}{I_{max} - I_{min}} = 3.2 + \frac{72}{350 - 230} = 3.8. \quad (7)$$

Проверка условия равенства требуемого значения силы тока I_f так же, как и для устройства преобразования напряжения (рис. 3), дает положительный ответ.

Разработанные три устройства управления охлаждением деталей (см. рис. 1), преобразования напряжения (см. рис. 3), быстродействующее устройство преобразования напряжения (см. рис. 4) были спроектированы на программируемой интегральной логической схеме Spartan 3E семейства Xilinx. Временные тесты при частоте 50 МГц, выполненные в программной среде Modelsim, показали, что для вычисления величины силы тока I_f по формулам (1)÷(2), подаваемой на устройство преобразования напряжения, составляет около 380 нс (рис. 6).

При использовании устройства преобразования напряжения (см. рис. 3) временные тесты показали, что расчет напряжения U_{Res} осуществляется за 370 нс (см. рис. 7).

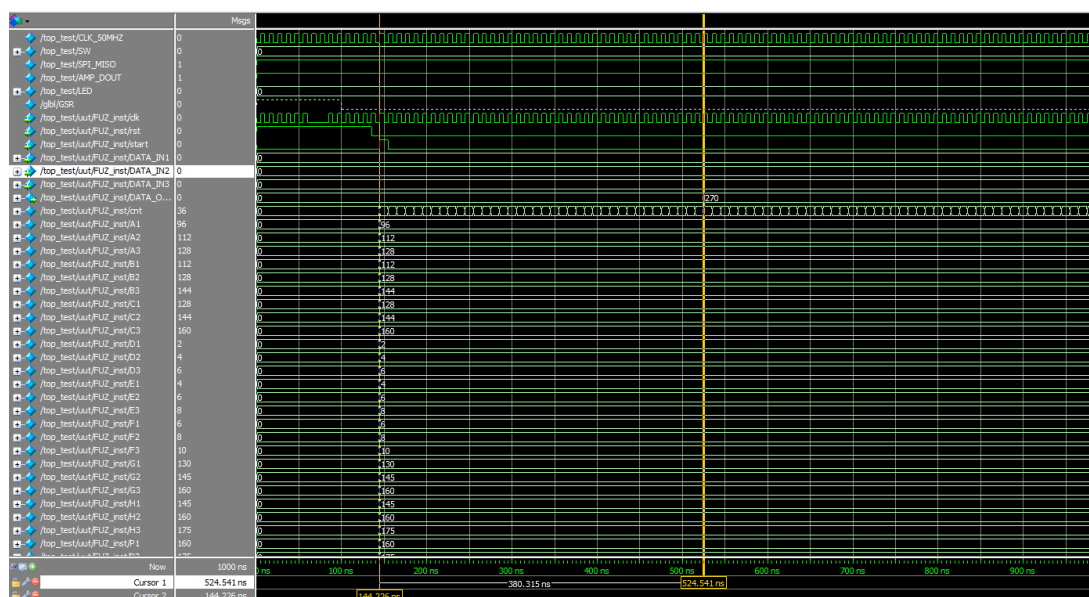


Рис. 6. Диаграмма времени расчета величины I_f устройства управления охлаждением изделий

Таблица 3

Эксплуатационные характеристики устройства

Модель	Вычислитель, нс	Преобразователь, нс	Суммарное время, нс
[5]	2000000	320	2000320
[6]	—	—	20000000
[7]	—	—	10 000 000
Преобразователь (рис. 3)	380	370	740
Быстродействующий преобразователь (рис. 4)	380	190	560

Таким образом, в случае возникновения внешних воздействий, действующих при охлаждении изделий при обработке деталей на оборудовании с ЧПУ в режиме реального времени, за 550 нс будет принято решение о назначении новой величины силы тока.

Обсуждение результатов и заключение

Предлагаемое устройство управления охлаждением деталей, основанное на нечеткой логике, позволяет с большой вычислительной скоростью по сравнению с известными моделями рассчитывать управляющие сигналы, передаваемые на систему охлаждения, выполненную на термозлементе. Высокое быстродействие реализации нечеткой модели на ПЛИС достигается за счет использования упрощенного нечеткого вывода при дефаззификации расчета величины силы тока, передаваемой на термозлемент.

Обеспечение требуемого питания термозлемента выполняет быстродействующий преобразователь напряжения, реализованный на ПЛИС. За счет рационального сокращения числа арифметических операций возможно повышение его быстродействия. Временные диаграммы, представленные в статье, показывают его высокие эксплуатационные характеристики.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение №2.3440.2017/4.6.

Список литературы

1. Круглова Т.Н. Применение аппарата нечеткой логики и нейронных сетей для управления техническим состоянием модулей движения технологического оборудования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 8. С. 28-35.
2. Симаков Д.В. Применение систем нечеткого вывода для расчета интегральных метрик сетевых маршрутов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 10 (136). С. 38-43.
3. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Моделирование процесса управления температурным режимом в зоне резания на основе нечеткой логики // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 3. С. 76-82.
4. Новожилов Б.М. Вычисление производной аналогового сигнала в программируемом логическом контроллере // Аэрокосмический научный журнал. 2016. № 4. С. 1-12.

5. Karakuzu, C., Karakaya, F., Zavuşlu, M. A. (2016). FPGA implementation of neuro-fuzzy system with improved PSO learning // *Neural Networks*, 79, 128–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.02.004>
6. Joseph Anthony Prathap, T.S. Anandhi, T.S. Sivakumaran Xilinx Spartan 3A DSP FPGA based DC Voltage Regulators for PV Systems // *Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy*. 2018. Pp. 1348–1358.
7. Karthigeyan P., Senthil Raja M., Siva Kumar T., SR Sivaa Ganesh, J Lavanya simulation of bi-directional DC-DC converter using FPGA // *7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization*. 2016. P. 708 – 714.
8. Бобырь М.В. Метод нелинейного обучения нейро-нечеткой системы вывода // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2018. № 1. С. 67-75.
9. Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Милостная Н.А. Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016. № 4. С. 15-26.
10. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Дефаззификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 9 (135). С. 32-41.
11. Bobyr M.V., Milostnaya N.A., Kulabuhov S.A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio // *Applied Soft Computing*. 2017. Vol. 59. P. 19-32.
12. Бобырь М.В., Титов Д.В., Кулабухов С.А. О некоторых свойствах мягкого алгоритма нечетко-логического вывода // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2015. № 2 (59). С. 39-51.
13. Титов В.С., Бобырь М.В., Яхонтова Е.С. Адаптивный алгоритм нечетко-логического вывода и его обучение // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2012. № 2-2. С. 17-23.
14. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Дефаззификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 9 (135). С. 32-41.
15. Chernova I.V., Sumin S.A., Bobyr M.V., Seregin S.P. forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 49. no. 5. P. 263-267.
16. Бобырь М.В., Милостная Н.А. Анализ использования мягких арифметических операций в структуре нечетко-логического вывода // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2015. № 7 (133). С. 7-15.

Поступила в редакцию 12.07.18

UDC 004.896

M.V. Bobyr, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

A.E. Arkhipov, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: alex.76_09@mail.ru)

N.A. Milostnaya, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: nat_mil@mail.ru)

M.A. Abduldgabar, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: mohammed88@mail.ru)

DEVICE OF CONVERSION VOLTAGE FOR CONTROL COOLING DETAILS BASED ON THE FUZZY LOGIC

Simulation of control parameters calculating process in the problem of cooling the parts surfaces machined on CNC equipment is considered in the article. A fuzzy model for determining the transmitted to the thermoelement current to control surfaces details cooling intensity proposed in the article. The fuzzy model consists of four steps. At the first step, the calculation of the degrees of the membership functions is produced. Input membership functions are having a triangular shape, and the output variable is represented by a singleton function. The second step, the degrees of the premises of the twenty-seven fuzzy rules is calculated. The third step, the eleven levels of conclusions of fuzzy rules is calculated. At the fourth step, defuzzification a crisp value from a simplified fuzzy inference is derived. After that, the scaling ratio and the output voltage level are determined. Also the condition of equality of the collector current for the calculated value is checked. If this condition is not implemented, the level of the output voltage is recalculated, until the set condition is fulfilled. The main problem in the system operation is the voltage calculation at the microcontroller output corresponding to the required current on the thermoelement with the maximum speed. To provide voltage calculating high speed in device was made on a field-programmable gate array (FPGA). Defuzzification in the fuzzy inference is based on a simplified fuzzy inference. The explaining the essence of the proposed technical solution numerical modeling is presented in the article. Timing diagrams of the cooling control device and voltage-current conversion devices in the cooling control system are presented in the article.

Key words: fuzzy logic; FPGA; conversion voltage; thermoelement.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-135-147

For citation: Bobyr M.V., Arkhipov A.E., Milostnaya N.A., Abduldgabar M.A. Device of Conversion Voltage for Control Cooling Details Based on the Fuzzy Logic. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 135-147 (in Russ.).

Reference

1. Kruglova T.N. Primenenie apparata nechetkoj logiki i nejronnyh setej dlja upravleniya tehnicheskim sostojaniem modulej dvizheniya tehnologicheskogo oborudovaniya. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij*, 2010, no. 8, pp. 28-35.

2. Simakov D.V. Primenenie sistem nechetkogo vyvoda dlja rascheta integral'nyh metrik setevyh marshrutov. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 10 (136), pp. 38-43.

3. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Modelirovanie processa upravleniya temperaturnym rezhimom v zone rezaniya na os-

nove nechetkoj logiki. *Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin*, 2017, no. 3, pp. 76-82.

4. Novozhilov B.M. Vychislenie proizvodnoj analogovogo signala v programmiruemom logicheskom kontrollere. *Ajerkosmicheskij nauchnyj zhurnal*, 2016, no. 4, pp. 1-12.

5. Karakuzu C., Karakaya F., Zavuşlu M. A. (2016). FPGA implementation of neuro-fuzzy system with improved PSO learning. *Neural Networks*, 79, pp. 128–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.02.004>

6. Joseph Anthony Prathap, Anandhi T.S., Sivakumaran T.S. Xilinx Spartan 3A DSP FPGA based DC Voltage Regulators for PV Systems. Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy, 2018, pp. 1348–1358.

7. P Karthigeyan, M Senthil Raja, T Siva Kumar, SR Sivaa Ganesh, J Lavanya simulation of bi-directional DC-DC converter using FPGA. 7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization, 2016, pp. 708 – 714.

8. Bobyr' M.V. Metod nelinejnogo obuchenija nejro-nechetkoj sistemy vyvoda. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij*, 2018, no. 1, pp. 67-75.

9. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A., Milostnaja N.A. Obuchenie nejronechetkoj sistemy na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij*. 2016, no. 4, pp. 15-26.

10. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Defazzifikacija vyvoda iz bazy nechetkih pravil na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 9 (135), pp. 32-41.

11. Bobyr M.V., Milostnaya N.A., Kulabuhov S.A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio. *Applied Soft Computing*, 2017, vol. 59, pp. 19-32.

12. Bobyr' M.V., Titov D.V., Kulabuhov S.A. O nekotoryh svojstvah mjagkogo algoritma nechetko-logicheskogo vyvoda. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 2 (59), pp. 39-51.

13. Titov V.S., Bobyr' M.V., Jahontova E.S. Adaptivnyj algoritm nechetko-logicheskogo vyvoda i ego obuchenie. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2012, no. 2-2, pp. 17-23.

14. Bobyr' M.V., Kulabuhov S.A. Defazzifikacija vyvoda iz bazy nechetkih pravil na osnove metoda raznosti ploshhadej. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 9 (135), pp. 32-41.

15. Chernova I.V., Sumin S.A., Bobyr M.V., Seregin S.P. forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models. *Biomedical Engineering*. 2016, vol. 49, no. 5, pp. 263-267.

16. Bobyr' M.V., Milostnaja N.A. Analiz ispol'zovanija mjagkih arifmeticheskikh operacij v strukture nechetko-logicheskogo vyvoda. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2015, no. 7 (133), pp. 7-15.

К сведению авторов

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3. Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

А.Л. Иванов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ivanov@gmail.com)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность. ...

Ключевые слова: агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω , η , β , μ , ω , ν и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций ($\sin$, $\cos$, $\tg$ и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 dpi и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы.**

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с отбечиванием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и отбечивания **не допускаются**.

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 22-25-26, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: <http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php>.