

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Издаётся с января 1996 г.

№4(29), ДЕКАБРЬ 2015

Журнал входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Редакционный совет

Председатель редсовета:

С.И. Лукьянов – проф., д-р техн. наук, директор института энергетики и автоматизированных систем МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Зам. председателя редсовета:

Г.П. Корнилов – проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Члены редакционного совета:

Н.Ф. Джагаров – проф., д-р техн. наук, г. Варна, Болгария;

В.Д. Дмитриенко – проф. д-р техн. наук, НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина;

Р.А. Сытдыков – проф., д-р техн. наук, Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан;

К.Т. Тергемес – проф., канд. техн. наук, г. Актау, Казахстан.

Dr. Boris Levin – School of Computer Science, The Academic College of Tel-Aviv-Yaffo, Jaffa, Израиль.

О.И. Осипов – проф., д-р техн. наук, НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия;

А.Е. Козярук – проф., д-р техн. наук, НМСУ Горный, г. Санкт-Петербург, Россия;

Л.И. Цытович – проф., д-р техн. наук, ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск, Россия;

А.М. Зюзев – проф., д-р техн. наук, УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия;

Ю.П. Журавлев – канд. техн. наук, гл. энергетик ОАО «ММК», г. Магнитогорск, Россия.

Д.В. Чистяков – канд. социол. наук, исполнительный директор ЗАО «КонсОМ СКС».

Редакционная коллегия

Главный редактор:

А. С. Сарваров – проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Члены редакционной коллегии:

А.С. Карандаев – проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

И.И. Баранкова – проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

О.С. Логунова – проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

С.М. Андреев – доц., канд. техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

Е.Б. Агапитов – доц., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

Ю.И. Савченко – доц., канд. физ.-мат. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Ответственный редактор:

И.М. Ячиков – доц., д-р техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Технические редакторы:

Е.А. Панова – канд. техн. наук, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

Д.А. Савинов – МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015

Подписной индекс издания 45083 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-58181 от 29 мая 2014 г.

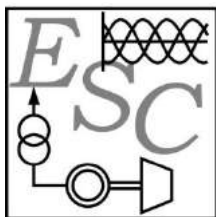
Адрес редакции:

455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск,
пр. Ленина, д. 38. ФГБОУ ВПО «МГТУ»
e-mail: ecis.red@gmail.com

Журнал отпечатан на полиграфическом участке
МГТУ им. Г.И. Носова.

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Выход в свет 25.12.2015. Заказ ... Тираж 500 экз. Цена
свободная.



ELECTROTECHNICAL SYSTEMS AND COMPLEXES

PUBLISHED SINCE JAN., 1996

NO.4(29) DEC., 2015

Journal is included in the database of Russian Scientific Citation Index (RSCI).

Editorial committee

Head of editorial committee:

Sergey I. Lukianov – Professor, D.Sc. (Eng.), director of Power Engineering and Automated Systems Institute of NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

Vice Chairman of editorial committee:

G.P. Kornilov – Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

Members of Editorial committee:

N.F. Dzhagarov – Professor, D.Sc. (Eng.), Varna, Bulgaria;

V.D. Dmitrienko – Professor, D.Sc. (Eng.), NTU «KhPI», Kharkov, Ukraine;

R.A. Sitdikov – Prof., D.Sc. (Eng.), Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan;

K.T. Tergemes – Professor, Ph.D. (Eng.), Aktau, Kazakhstan.

Dr. Boris Levin – School of Computer Science, The Academic College of Tel-Aviv-Yaffo, Jaffa, Israel.

O.I. Osipov – Professor, D.Sc. (Eng.), NRU «MPEI», Moscow, Russia;

A.E. Kozyaruk – Professor, D.Sc. (Eng.), NMRU (University of Mines), Saint-Petersburg, Russia;

L.I. Tsitovitch – Professor, D.Sc. (Eng.), «SUSU» (NRU), Chelyabinsk, Russia;

A.M. Ziyzev – Professor, D.Sc. (Eng.), UrFU named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia;

I.P. Zhuralev – Ph.D.(Eng.), chief power engineer «MMK» JSC, Magnitogorsk, Russia.

D.V. Chistyakov – Ph.D.(Sociology), chief executive «KonsOM SKS» JSC.

Editorial board

Editor-in-chief:

A.S. Sarvarov – Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

Editorial board members:

A.S. Karandaev – Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

I.I. Barankova – Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

O.S. Logunova – Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

S.M. Andreev – Associate Professor, Ph.D.(Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

E.B. Agapitov – Associate Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

Yu.I. Savchenko – Associate Professor, Ph.D. in Physics and Mathematics, NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

Executive editor:

I.M. Yachikov – Associate Professor, D.Sc. (Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

Typographers:

E.A. Panova – Ph.D.(Eng.), NMSTU, Magnitogorsk, Russia;

D.A. Savinov – NMSTU, Magnitogorsk, Russia.

© FSBEI HPE NMSTU, 2015

The subscription index of the journal is 45083 in the «Pressa Rossii» union catalog, vol.1.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor).

Registration certificate PI No. FS77-58181 on May 29, 2014 .

The publisher:

455000, 38, Lenin ave., Magnitogorsk, Chelyabinsk region, Russia

The Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University

e-mail: ecis.red@gmail.com

Printed by the NMSTU printing section,

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk, 455000, Russia.

Publication date: 25.12.2015. Order. Circulation: 500.

Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и практика автоматизированного электропривода.....	4
<i>Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э.</i> Влияние электроприводов стана по производству арматуры на глубину насечки.....	4
<i>Шубин А.Г., Гостев А.Н., Храмишин Р.Р., Одинцов К.Э.</i> Исследование системы компенсации межклетевых усилий в черновой группе прокатного стана методом математического моделирования.....	10
Электроэнергетика.....	22
<i>Варганов Д.Е.</i> Оптимизация режимов работы источников распределенной генерации в условиях промышленных систем электроснабжения.....	22
<i>Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Агапитов А.Е., Каблуква М.С.</i> Математическое обеспечение программного модуля GRID-системы оценки эффективности работы электростанций на металлургическом предприятии.....	25
Мониторинг, контроль и диагностика электрооборудования.....	31
<i>Хисаметдинов Ф.З.</i> Компьютерное моделирование особенностей распределения защитного потенциала подземного трубопровода вблизи катодной станции.....	31
<i>Крюков О.В., Серебряков А.В.</i> Метод и система принятия решений по прогнозированию технического состояния электроприводных газоперекачивающих агрегатов.....	35
<i>Панов А.Н., Ишметьев Е.Н., Чистяков Д.В., Коробейников С.М., Гузей К.Е.</i> Применение автоматизированной стационарной системы виброконтроля на главном приводе прокатного стана.....	39
Промышленная электроника, автоматика и системы управления.....	42
<i>Посохов И.А., Логунова О.С., Миков А.Ю., Мацко И.И., Павлов В.В.</i> Каскадная классификация изображений серного отпечатка поперечного темплета непрерывнолитой заготовки.....	42
Теория и методика профессионального образования.....	52
<i>Ефимова И.Ю., Мовчан И.Н.</i> Методические аспекты обучения основам бизнеса и предпринимательства бакалавров направления «педагогическое образование».....	52
<i>Чичиланова С.А., Курзаева Л.В., Григорьев А.Д., Новикова Т.Б.</i> Отечественный опыт реализации массовых открытых онлайн курсов в формате xMOOC.....	57
<i>Стащук П.В.</i> Выбор симулятора логических схем при изучении цифровых автоматов для неэлектротехнических специальностей вузов.....	63
Сведения об авторах.....	69

CONTENT

Theory and practise of automated electric drive.....	4
<i>Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E.</i> Influence of Electric Drives of Reinforcing Bar Mill on Notch Depth.....	4
<i>Shubin A.G., Gostev A.N., Khramshin R.R., Odintsov K.E.</i> System of Interstand Tension Compensation in Roughing Train of Rolling Mill Research Using Mathematical Modeling Method.....	10
Power engineering.....	22
<i>Varganov D.E.</i> operating Condition Optimization of Distributed Generation Sources in Terms of Industrial Electric Power Systems.....	22
<i>Agapitov E.B., Mikhailovskiy V.N., Agapitov A.E., Kablukova M.S.</i> Mathematical Software of GRID Module Efficiency Evaluation System for Power Stations at Metalurgical Enterprise.....	25
Monitoring, diagnostics and control of electric equipment.....	31
<i>Khisametdinov F.Z.</i> Computer Modeling Features of Distribution of Protective Potential of Underground Pipelines Near Cathodic Station.....	31
<i>Kryukov O.V., Serebryakov A.V.</i> Method and System of Decision Making of Technical State Forecast of Electric Gas Compressor Units.....	35
<i>Panov A.N., Ishmetiev Ye.N., Chistyakov D.V., Korobeynikov S.M., Gusev K.E.</i> Automated Stationary Vibration System Application for Rolling Mill Drive.....	39
Power electronics, automation and control systems.....	42
<i>Posokhov I.A., Logunova O.S., Mikov A.Yu., Matsko I.I., Pavlov V.V.</i> Cascade Classification of Sulphur Print Images of Continuous Cast Billet Transverse Template.....	42
Theory and methods of professional education.....	52
<i>Efimova I.Yu., Movchan I.N.</i> Methodical Aspects of Teaching Fundamentals of Business and Entrepreneurship in Bachelor Degree Course «Teacher Education».....	52
<i>Chichilanova S.A., Kurzaeva L.V., Grigoryev A.D., Novikova T.B.</i> Domestic Experience of Implementing Mass Open On-Line Courses in xMOOC Format.....	57
<i>Stashchuk P.V.</i> Choice of Logic Diagrams Simulator in The Study of Digital Automatic Machines for Non-Electrotechnical Specialties of Universities.....	63
Information About the Authors.....	70

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

УДК 621.771.25-83

Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ПО ПРОИЗВОДСТВУ АРМАТУРЫ НА ГЛУБИНУ НАСЕЧКИ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» и статистической обработки данных влияния электроприводов стана по производству арматуры на показатели глубины насечки арматуры. По итогам регрессионного анализа массивов данных влияния натяжения в проволоке, создаваемого электроприводом размоточного аппарата между роликовым правильным устройством и клетью профилирования, на изменение глубины насечки на арматуре, получены адекватные экспериментальным данным регрессионные модели для технологических условий производства арматуры на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Ключевые слова: метизное производство, арматурная проволока, размоточный аппарат, клеть профилирования, электропривод, глубина насечки.

ВВЕДЕНИЕ

Арматурный прокат для железобетонных конструкций, получаемый способом холодной деформации на станах по производству арматуры (СПА) типа ISF 5, является одним из самых массовых видов продукции черной металлургии в Российской Федерации. Технология производства холодноотянутой арматуры, оборудование и системы управления электроприводами отдельных агрегатов станов по производству высокопрочной стабилизированной арматурной проволоки постоянно совершенствуются в направлении повышения качества продукции, производительности станов и снижения себестоимости арматуры. Однако по данным служб контроля качества часть арматуры, изготовленной на СПА и предназначенной для получения ответственных железобетонных изделий, например, железобетонных шпал переназначается для изготовления менее ответственных железобетонных изделий по причине несоответствия глубины насечки требуемым технологическими картами параметрам. Потери заявленного производства могут достигать 5 и более процентов от общего объема производства. Одним из резервов повышения качества арматуры и снижения доли несортной продукции по указанной причине является совершенствование систем управления электроприводами основных агрегатов СПА. В технической литературе информация о влиянии электроприводов СПА на показатели глубины насечки отсутствует [1-6].

В связи с этим появилась необходимость проведения экспериментальных и теоретических исследований влияния отдельных электроприводов СПА на глубину насечки и установления эмпирических закономерностей этого влияния.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА НА ГЛУБИНУ НАСЕЧКИ

Современный СПА (рис. 1) представляет собой последовательно расположенные участки размотки и нанесения насечки, формирования механических свойств арматуры, намотки арматуры в бунты или резки арматуры на прутки. В рабочем режиме работы стана проволока последовательно сматывается и разгибается в размоточном аппарате 1, выпрямляется в роликовом правильном устройстве 2 и поступает в клеть профилирования 3, в которой осуществляется нанесе-

ние насечки на проволоку. Далее с помощью первой группы кабестанов 6, 7 арматура дополнительно выпрямляется в роликовом рихтовальном устройстве 4 и промывается водой в ванне 5. Затем с помощью второй группы кабестанов 10, 11 арматура нагревается в индукционной печи 8 и охлаждается в ванне 9 с целью формирования в металле требуемых механических свойств. После этого с помощью подающих роликов 12 через отрезную станцию 13 арматура (диаметром от 3 до 8 мм) подается на намоточные аппараты 14 для намотки в бунты либо (диаметром более 8 мм) с помощью подающих роликов 15 поступает на отрезной станок 16 для ее резки на мерные прутки. На СПА ISF 5 ОАО «ММК - МЕТИЗ» производят арматуру диаметром $d_1 = 5$ мм и $d_2 = 9,6$ мм, предназначенную для изготовления железобетонных шпал.

Согласно [7-10] качество арматуры формируется на участке размотки и нанесения насечки и участке формирования механических свойств. При этом глубина насечки является одним из важнейших показателей качества арматуры.

С целью определения реального влияния электроприводов РА и кабестанов 10, 11 (см. рис. 1), создающих натяжения в проволоке, на глубину насечки на стане ISF 5 ОАО «ММК - МЕТИЗ» проведен полный активный двухфакторный эксперимент, в ходе которого варьировались задания на момент торможения электродвигателя размоточного аппарата (фактор X_1) и задание на натяжение в проволоке, создаваемое кабестанами 10, 11 (фактор X_2). Эксперимент проводился отдельно для случаев изготовления арматуры диаметром $d_1 = 5$ мм и арматуры диаметром $d_2 = 9,6$ мм. На каждом уровне варьирования факторов X_1 и X_2 штатным прибором выполнялось 15-кратное измерение глубины насечки на арматуре. Общий объем выборки изменения глубины насечки для случая изготовления арматуры диаметром d_1 составил $N_1 = 300$ наблюдений, а арматуры диаметром d_2 - $N_2 = 180$ наблюдений [11].

В результате дисперсионного анализа экспериментальных данных было доказано: изменение момента торможения электродвигателя размоточного аппарата значимо влияет на показатели глубины насечки (для арматуры диаметром d_1 расчетное значение критерия Фишера составило $F_p = 303,1$ при квантильном значении $F_{1-0,05} = 3,18$, а для арматуры диаметром d_2

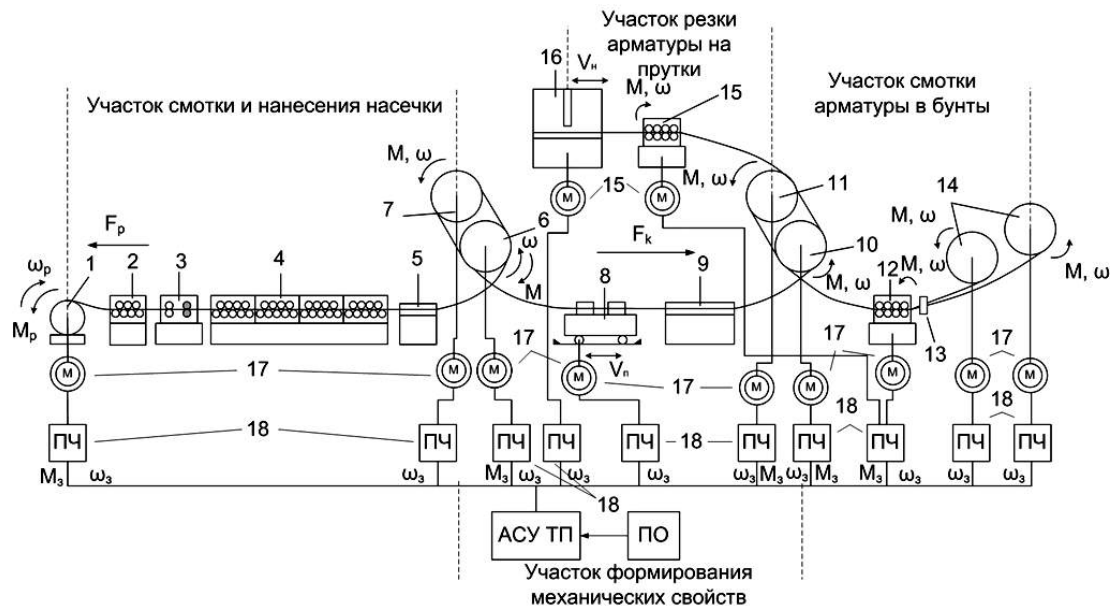


Рис. 1. Структурная схема технологической линии стана типа ISF 5

соответственно $F_p = 67,0$ при $F_{1-0,05} = 5,0$); влиянием изменения натяжения, создаваемого электроприводами кабестанов 10, 11 и взаимодействия факторов X_1 и X_2 , можно пренебречь (расчетные значения критерия Фишера меньше табличных). По итогам 3-кратного дублирования эксперимента в различные интервалы времени доказана стационарность влияния электропривода размоточного аппарата на показатели глубины насечки (фактором «время» можно пренебречь) [12].

На основании изложенного сделан вывод: изменение момента торможения электродвигателя размоточного аппарата вызывает изменение натяжений проволоки в пространстве между размоточным аппаратом и клетью профилирования и, в частности, между роликковым правильным устройством и клетью профилирования (см. рис. 1), что значимо влияет на изменение глубины насечки на проволоке.

С целью анализа влияния натяжения, создаваемого электроприводом размоточного аппарата, на глубину насечки на основе известных математических соотношений разработана общая математическая модель расчета натяжения в проволоке на входе в клеть профилирования с учетом изменения радиуса заполнения катушки проволокой [13]:

$$F_C = F_d + F_{str} + \frac{M_{xx} \cdot i_p}{R_k} + \frac{M_p \cdot i_p}{R_k} + \frac{M_g}{R_k}, \quad (1)$$

где F_C – натяжение в проволоке между роликковым правильным устройством и клетью профилирования; F_d – усилие сопротивления протягиванию проволоки через роликковое правильное устройство; F_{str} – усилие сопротивления разгибу проволоки; M_{xx} – момент холостого хода электродвигателя размоточного аппарата с установленной пустой катушкой; M_p – момент торможения электродвигателя размоточного аппарата в рабочем режиме производства арматуры; M_g – момент сопротивления, обусловленный действием сил трения в опорах цапфы катушки от веса проволоки; i_p – эквивалентное передаточное число редуктора электропривода размоточного аппарата; R_k – радиус заполнения катушки проволокой.

В процессе размотки проволоки с катушки размоточного аппарата происходит уменьшение радиуса R_k с наибольшего значения $R_{k,max}$ до наименьшего его значения $R_{k,min}$ что, при условии постоянства линейной скорости обработки проволоки V_l на стане приводит к увеличению угловой скорости $\omega_p(R_k)$ вращения катушки и электродвигателя размоточного аппарата. Предложено расчет R_k и $\omega_p(R_k)$ выполнять по выражениям:

$$R_k = \sqrt{R_{k,max}^2 - \frac{d_n^3}{4b} \int_0^t V_l(t) dt}; \quad (2)$$

$$\omega_p(R_k) = \frac{i_p V_l}{R_k}. \quad (3)$$

Согласно [14] изменение R_k приводит к изменению усилия сопротивления разгибу проволоки F_{str} и уменьшению веса проволоки на катушке и, как следствие, изменению в функции радиуса R_k величин момента холостого хода M_{xx} электропривода размоточного аппарата и момента сопротивления M_g .

В технической литературе выражения для расчета величин момента холостого хода M_{xx} и момента сопротивления M_g в функции изменения радиуса R_k заполнения катушки проволокой отсутствуют. Поэтому на стане ISF 5 ОАО «ММК - МЕТИЗ» проведены экспериментальные исследования по их определению. В ходе эксперимента выполнялось изменение угловой скорости вращения ω_p электродвигателя размоточного аппарата и фиксировались величины моментов M_{xx} электропривода размоточного аппарата с пустой и $M_{p,e}$ электропривода размоточного аппарата с полной катушкой. В результате статистической обработки экспериментальных данных установлено: при увеличении угловой скорости вращения ω_p электродвигателя размоточного аппарата происходит значимое (до 50 %) изменение момента холостого хода M_{xx} ; при изменении фактора времени происходит также значимое изменение (до 20%) момента холостого хода M_{xx} ; величина момента сопротивления $M_{g0} = M_{p,e} - M_{xx}$ от действия сил

трения в опорах цапфы с полной катушкой составляет до 30% от величины M_{xx} , и им пренебрегать нецелесообразно; изменение момента холостого хода M_{xx} при изменении угловой скорости вращения ω_p электродвигателя размоточного аппарата соответствует линейной зависимости

$$M_{xx} = A_0 + A_1 \omega_p, \quad (4)$$

причем величина коэффициента $A_1 = 0,045 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ остается практически неизменной при изменении фактора времени; величина коэффициента A_0 может существенно изменяться во времени, но в пределах одного межремонтного периода (одна неделя) практически не изменяется. Величину коэффициента $A_{0,i}$ для конкретного межремонтного периода времени можно рассчитать по уравнению

$$A_{0,i} = M_{xx,i} - 0,045 \omega_{p,i} \quad (5)$$

по результатам единичного измерения величин $M_{xx,i}$ и $\omega_{p,i}$; величина момента $M_{g,0}$ при изменении угловой скорости вращения электродвигателя размоточного аппарата и фактора времени остается практически неизменной и для технологических параметров размоточного аппарата и значений диаметра арматуры соответственно составляет: $M'_{g,0} = 3,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при $d_1 = 5 \text{ мм}$ и $M''_{g,0} = 2,72 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при $d_1 = 9,6 \text{ мм}$. В общем виде величину момента M_g можно определить из выражения

$$M_g = M_{g,0} \frac{R_k - R_{k,\min}}{R_{k,\max} - R_{k,\min}}. \quad (6)$$

Доказана адекватность экспериментальным данным результатов расчета натяжений на математической модели (1) с учетом выражений (2) – (6).

В результате анализа влияния составляющих выражения (1) на величину натяжения в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования доказано, что изменение момента торможения электродвигателя размоточного аппарата и момента холостого хода M_{xx} электропривода размоточного аппарата значимо влияет на изменение натяжения в проволоке [13, 14].

С целью определения условий выполнения одного из основных технологических требований к электроприводу размоточного аппарата, а именно недопустимости буксовки проволоки на барабанах кабестанов 6, 7, экспериментально определены величины минимальных натяжений $F_{c,\min}$ в проволоке между роликовым

правильным устройством и клетью профилирования для технологических условий производства арматуры диаметром d_1 и d_2 . Эти величины соответственно составили для $d_1 - F'_{c,\min} = 2,63 \text{ кН}$, а для $d_2 - F''_{c,\min} = 10,2 \text{ кН}$.

В результате замены величин момента торможения электродвигателя РА на величины натяжений, рассчитанных на математической модели (1), были получены отдельно для арматуры диаметром d_1 и d_2 массивы данных влияния натяжения в проволоке, создаваемого электроприводом размоточного аппарата между роликовым правильным устройством и клетью профилирования, на изменение глубины насечки на арматуре. По итогам регрессионного анализа указанных массивов для технологических условий производства арматуры на стане ISF 5 ОАО «ММК - МЕТИЗ» получены адекватные экспериментальным данным регрессионные модели вида $\Delta a = b_0 + b_1 F_C + b_2 F_C^2$:
– для арматуры диаметром d_1

$$\Delta a' = 0,0087 - 0,0072 \cdot F'_C - 0,000334 \cdot F'^2_C; \quad (7)$$

– для арматуры диаметром d_2

$$\Delta a'' = 0,648 - 0,112 \cdot F''_C - 0,0047 \cdot F''^2_C. \quad (8)$$

Результаты расчета величин F -критерия Фишера, дисперсий адекватности S_{ad}^2 и воспроизводимости $S_{\Delta a}^2$ для полученных уравнений регрессии приведены в табл. 1. В табл. 1 также приведены квантильные величины распределения Фишера на уровне значимости $q = 0,05$ при числе степеней свободы $f_1 = f_{ad}$ и $f_2 = f_{\Delta a}$.

Из данных табл. 1 следует, что для полученных уравнений регрессии эмпирические значения F_p критерия Фишера не превышают табличного значения распределения Фишера на уровне значимости $q = 0,05$ при числе степеней свободы $f_1 = f_{ad}$ и $f_2 = f_{\Delta a}$ ($F_p < F_{1-0,05}$).

Таким образом, полученные уравнения регрессии на уровне значимости $q = 0,05$ адекватно описывают изменение значений отклонения глубины насечки арматуры Δa , вызванного изменением величины натяжения F_C в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования.

Результаты расчета величин дисперсий $S_{b_0}^2$, $S_{b_1}^2$, $S_{b_2}^2$, коэффициентов уравнения регрессии b_0 , b_1 , b_2 , эмпирических t_{b_0} , t_{b_1} , t_{b_2} и табличных значений t -статистики Стьюдента на уровне значимости $q = 0,05$ с числом степеней свободы $f = f_{\Delta a}$ (см. табл. 1) приведены в табл. 2.

Таблица 1
Результаты расчета величин F -критерия Фишера, дисперсий адекватности S_{ad}^2 и воспроизводимости $S_{\Delta a}^2$ для полученных уравнений регрессии

Уравнение регрессии	$S_{\Delta a}^2$	S_{ad}^2	F_p	f_{ad}	$f_{\Delta a}$	$F_{1-0,05}$
$\Delta a' = 0,0087 - 0,0072 \cdot F'_C - 0,000334 \cdot F'^2_C$	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	0,066	16	280	1,67
$\Delta a'' = 0,648 - 0,112 \cdot F''_C - 0,0047 \cdot F''^2_C$	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	0,028	8	168	1,99

Таблица 2
Результаты расчета величин дисперсий коэффициентов уравнения регрессии, эмпирических и табличных значений t -статистики Стьюдента

Уравнение регрессии	$S_{b_0}^2$	$S_{b_1}^2$	$S_{b_2}^2$	t_{b_0}	t_{b_1}	t_{b_2}	$t_{1-0,025}$
$\Delta a' = 0,0087 - 0,0072 \cdot F'_C - 0,000334 \cdot F'^2_C$	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$6,76 \cdot 10^{-6}$	$2,04 \cdot 10^{-8}$	2,42	2,76	2,34	1,96
$\Delta a'' = 0,648 - 0,112 \cdot F''_C - 0,0047 \cdot F''^2_C$	0,069	0,0022	$4,42 \cdot 10^{-6}$	2,45	2,38	2,26	1,97

Из данных табл. 2 следует, что условия $|t_{b0}| > t_{1-0,025}$, $|t_{b1}| > t_{1-0,025}$, $|t_{b2}| > t_{1-0,025}$ выполняются. Следовательно, значения коэффициентов b_0 , b_1 и b_2 уравнений регрессии (7) и (8) на уровне значимости $q = 0,05$ значимо отличаются от нуля и ими пренебрегать нецелесообразно. Таким образом, доказана значимость коэффициентов уравнений регрессии (7) и (8). И для уровня значимости $q = 0,05$ были рассчитаны их доверительные интервалы.

Графическое представление уравнений регрессии (7) и (8) (графики 1), их доверительных интервалов (графики 2), минимально допустимых значений натяжения $F_{C,min}$, а также допусков на отклонения глубины насечки Δa_{min} и Δa_{max} для арматуры диаметром d_2 соответственно приведено на рис. 2. Из данных графиков (см. рис. 2) с вероятностью $p = 0,95$ можно утверждать: при производстве арматуры диаметром $d_1 = 5$ мм для обеспечения глубины насечки в пределах допусков величина натяжения $F_{C,d}$ в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования не должна превышать 4,18 кН, а арматуры диаметром $d_2 = 9,6$ мм соответственно – 10,75 кН; с учетом ограничения величины натяжения на уровне $F_{C,min}$ при производстве арматуры диаметром d_1 допустимый диапазон изменения натяжения составляет от 2,63 до 4,18 кН, а при производстве арматуры диаметром d_2 соответственно от 10,2 до 10,75 кН [13].

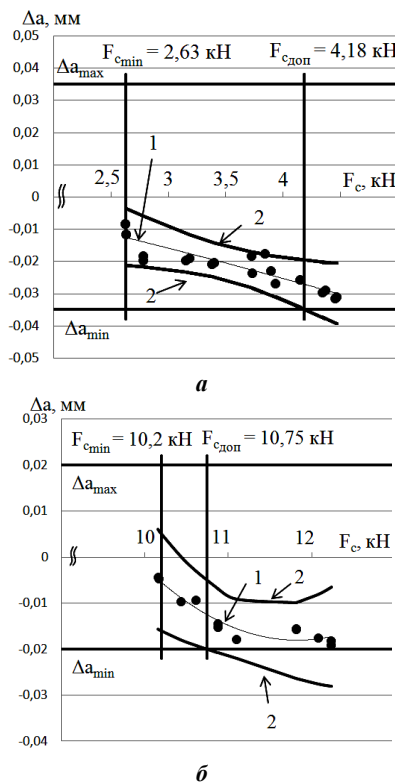


Рис. 2. Графическое представление зависимости $\Delta a = f(F_C)$ для арматуры диаметром d_1 (а), d_2 (б)

Из полученных графиков (см. рис. 2) следует:

1. С вероятностью $p = 0,95$ можно утверждать: при производстве арматуры диаметром $d_1 = 5$ мм для обеспечения глубины насечки в пределах допусков величина натяжения F_C в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования не должна превышать 4,18 кН; при производстве армату-

ры диаметром $d_2 = 9,6$ мм величина F_C не должна превышать 10,75 кН.

2. С учетом ограничения величины F_C по условию предотвращения проскальзыванию арматуры на кабестане 6: при производстве арматуры диаметром d_1 допустимый диапазон изменения натяжения F_C составляет от 2,63 до 4,18 кН; при производстве арматуры диаметром d_2 соответственно от 10,2 до 10,75 кН.

Проведенные исследования позволили разработать систему управления электроприводом размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры [15-16]. А также предложить техническим службам общую методику расчета допустимого, с позиции обеспечения изменения глубины насечки арматуры Δa в пределах допусков, изменения натяжения в проволоке, создаваемого электроприводом размоточного аппарата между роликовым правильным устройством и клетью профилирования [13]:

1. Создаются базы экспериментальных данных глубины насечки арматуры a на каждом уровне изменения момента M_p электродвигателя размоточного аппарата, с учетом изменения радиуса R_k заполнения катушки проволокой, линейной скорости V_l изготовления арматуры и диаметра d_n проволоки.

Выполняется расчет величины отклонения глубины насечки арматуры Δa по выражению

$$\Delta a_{j,l,u} = a_{j,l,u} - A, \quad (9)$$

где j – порядковый номер уровня варьирования фактора X_1 , $j = 1 \dots k$; l – порядковый номер уровня варьирования фактора X_2 , $l = 1 \dots m$; u – порядковый номер дублирующего измерения при каждом j и l сочетании уровней факторов X_1 и X_2 , $u = 1 \dots N$.

На каждом уровне изменения момента торможения M_p электродвигателя размоточного аппарата выполняется проверка нормальности распределений случайной величины отклонения глубины насечки арматуры Δa и однородности выборочных дисперсий $S_{\Delta a,j}^2$ по методикам, представленным в [17].

Выполняется проверка стационарности изменения случайной величины отклонения глубины насечки арматуры Δa и проводится дублирование эксперимента в различные интервалы времени.

Создаются таблицы вида:

Момент торможения M_p электродвигателя размоточного аппарата, Н·м	Радиус R_k заполнения катушки проволокой, м	Отклонение глубины насечки арматуры Δa , мм
...	...	...

2. По данным таблиц, используя зависимость (1), выполняется расчет на математической модели величин натяжения F_C в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования для технологических условий станов ISF 5 каждого уровня изменения момента M_p электродвигателя размоточного аппарата с учетом изменения радиуса R_k заполнения катушки проволокой, усилия F_{str} сопротивления разгибу проволоки, момента холостого хода M_{xx} электродвигателя размоточного аппарата с пустой катушкой и

момента сопротивления M_g , обусловленного действием сил трения в опорах цапфы катушки от веса проволоки. Величины момента холостого хода M_{xx} электропривода размоточного аппарата и момента сопротивления M_g , обусловленного действием сил трения в опорах цапфы катушки от веса проволоки, определяется либо экспериментальным путем, либо по эмпирическим зависимостям (5) и (6), полученным в ходе экспериментальных исследований.

3. Выполняется расчет уравнения регрессии $\Delta a = f(F_C)$ и его доверительного интервала.

4. Выполняется расчет минимального натяжения $F_{C,min}$ в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования в целях предотвращения проскальзывания проволоки на барабанах кабестанов 6 и 7.

5. Определяется допустимый интервал изменения величины натяжения F_C в проволоке, создаваемого электроприводом размоточного аппарата между роликовым правильным устройством и клетью профилирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований, проведенных на стане ISF5 ОАО «ММК-МЕТИЗ», доказано, что изменение момента торможения электродвигателя размоточного аппарата значимо влияет на изменение глубины насечки на арматуре. А влиянием на глубину насечки изменения натяжения в арматуре на участке формирования её механических свойств можно пренебречь.

Была разработана математическая модель расчета натяжения в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования, создаваемого в числе прочих факторов электроприводом размоточного аппарата, учитывающая изменение в процессе размотки проволоки с катушки момента холостого хода $M_{xx,p}$ электропривода размоточного аппарата и момента сопротивления M_g , обусловленного действием сил трения в опорах цапфы катушки от веса проволоки. Для технологических условий изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 на стане ISF5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» определены аналитические и эмпирические выражения для расчета величин момента холостого хода электропривода размоточного аппарата и момента сопротивления.

Исследования, проведенные на математической модели расчета натяжения в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования, позволили установить, что изменение момента торможения электродвигателя размоточного аппарата значимо влияет на изменение натяжения в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования.

Для технологических условий изготовления арматуры на стане ISF5 определены минимально допустимые значения моментов торможения электродвигателя размоточного аппарата, обеспечивающие отсутствие пробуксовки проволоки на первой группе кабестанов стана.

В результате проведенных исследований предложена общая методика расчета допустимого, с позиции обеспечения изменения глубины насечки на арматуре

Δa в пределах допусков, изменения натяжения F_C в проволоке, создаваемого электроприводом размоточного аппарата между роликовым правильным устройством и клетью профилирования. Для технологических условий изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 на стане ISF5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» определены допустимые диапазоны изменения натяжения F_C в проволоке между роликовым правильным устройством и клетью профилирования, которые составляют от 2,63 до 4,18 кН для арматуры диаметром d_1 и от 10,2 до 10,75 кН для арматуры диаметром d_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радионов А.А., Карандаев А.С. Автоматизированный электропривод намоточно-размоточных устройств агрегатов прокатного производства: монография. Магнитогорск: МГТУ, 1999. 131 с.
2. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод станов для производства стальной проволоки: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2007. 311 с.
3. Радионов А.А., Карандаев А.С. Об оптимальном законе изменения натяжения в процессе смотки металлической проволоки // Изв. вузов. Машиностроение. 2008. № 10. С. 43–58.
4. Выдрин В.Н., Федосиенко А.С. Автоматизация прокатного производства. М.: Металлургия, 1984. 472 с.
5. Пат. 2494828РФ, МПК B21B37/52. Способ автоматического регулирования натяжения полосы в черновой группе клетей непрерывного прокатного стана / И.Ю. Андрияшин, В.В. Галкин, А.Н. Гостев, И.В. Казаков, С.А. Евдокимов, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, Р.Р. Храмшин. №2012115830/02; заявл. 19.04.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28.
6. Карандаев А.С. Совершенствование автоматизированных электроприводов агрегатов прокатного производства // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №1. С. 3–15.
7. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термдеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Бюллетень «Черная металлургия». 2012. №4. С. 100 – 105.
8. Мезин И.Ю., Чукин М.В. Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал // Вестник «МГТУ им. Г.И. Носова». 2011. №04(36). С. 31 – 37.
9. Принципы проектирования непрерывного способа получения стальной проволоки с ультрамелкозернистой структурой / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, М.А. Полякова, Д.Г. Емалеева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №1. С. 43 – 45.
10. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, Э.М. Голубчик, М.А. Полякова, А.Е. Гулин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №4. С. 61 – 63.
11. Лукьянов С.И., Сафин И.Р., Бодров Е.Э. Исследование влияния параметров настройки электроприводов стана ISF 5 на качество продукции // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. 2013. Вып. 21. С. 33 – 41.
12. Лукьянов С.И., Сафин И.Р., Бодров Е.Э. Влияние параметров работы электроприводов стана по производству холоднотянутой арматуры на качество продукции // Наука и производство Урала. 2014. №10. С. 86 – 89.
13. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Методика

оценки влияния электропривода размоточного аппарата на качество периодического профиля стальной арматуры // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2014. Т.14, №3. С. 71 – 78.

14. Совершенствование системы управления электроприводом размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, О.С. Логунова, Е.Э. Бодров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. Т.15, №2. С. 77 – 83.

15. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Система управления электроприводом размоточного аппарата стана

по производству стальной арматуры / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №3(24). С. 17 – 24.

16. Пат. 152968РФ, МПК⁷ H02P25/02, H02P27/06, B21C47/18. Устройство для управления электроприводом разматывающего механизма / Е.Э. Бодров, С.И. Лукьянов, И.Р. Сафин // БИПМ 2015. №18.

17. Лукьянов С.И., Панов А.Н., Васильев А.Е. Основы инженерного эксперимента: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. 94 с.

INFORMATION IN ENGLISH

INFLUENCE OF ELECTRIC DRIVES OF REINFORCING BAR MILL ON NOTCH DEPTH

Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E.

The results of experimental studies at OJSC «MMK-METIZ» ISF 5 production line and its electric drives influence on the notch depth of the manufactured reinforcing bar as well as the results of statistical data processing are given in the article. Regression analysis of the data arrays concerning the wire tension caused by the electric drive of the decoiler located between the roller straitening device and profiling stand and the analysis of its influence on the notch depth were used to develop adequate regression models for technological conditions of reinforcing bar manufacture at the OJSC «MMK-METIZ» ISF 5.

Keywords: hardwire production, reinforcing wire, decoiler, profiling stand, electric drive, depth of notch.

REFERENCES

1. Radionov A.A., Karandaev A.S. *Avtomatizirovannyi elektroprivod namotochno-razmotochnih ustroystv agregatov prokatnogo proizvodstva* [Automated electric drive of the winding-unwinding devices of the rolling manufacturing aggregates: monograph], Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 1999, 131 p.
2. Radionov A.A. *Avtomatizirovannyi elektroprivod stanov dlya proizvodstva stalnoy provoloki* [Automatic electric drive of steel wire mills], Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, 311 p.
3. Radionov A.A., Karandaev A.S. *Ob optimalnom zakone izmeneniya natyazheniya v protsesse smotki metallicheskoy provoloki* [About optimal order of tension change in the process of metal wire unwinding], *Izvestiya Vuzov. Mashinostroenie*, 2008, vol. 10, pp. 43–58.
4. Vydrin V.N. *Avtomatizatsiya prokatnogo proizvodstva* [Automation of rolling mills], V.N. Vydrin, A.S. Fedosienko, Moscow, Metallurgy, 1984, 472 p.
5. I.U. Andrushin, V.V. Galkin, A.N. Gostev, I.V. Kazakov, S.A. Evdokimov, A.S. Karandaev, V.R. Khrumshin, R.R. Khrumshin. *Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya natyazheniya polosy v chernovoi gruppe kletey neprerivnogo prokatnogo stana* [Automated band tension regulation method in roughing train of stands on a continuous rolling mill] Patent RF no.2494828, МПІС В21В37/52. Published 10.10.2013. bulletin. no. 28.
6. Karandaev A.S. *Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh elektroprivodov agregatov prokatnogo proizvodstva* [Improving of automated electric drives of rolling equipment], *Mashinostroenie: Network electronic scientific journal*, 2014, vol. 1, pp. 3–15.
7. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. *Perspektivy proizvodstva visokoprochnoy stalnoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya na osnove termodeformatsionnogo nanostrukturirovaniya* [Prospects of high-strength steel reinforcement for new generation reinforced concrete sleepers of thermal-based nanostructuring], *Bulletin "Fer-*

rous metallurgy", 2012, vol. 4, pp. 100 – 105.

8. Mezin I.Y., Chukin M.V. *Analiz variantov formirovaniya svoystv ishodnoi zagotovki pri proizvodstve visokoprochnoy stalnoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal* [Analysis of initial billet at production of high-strength steel bars for concrete sleepers properties forming options], *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk*, 2011, vol. 04(36), pp. 31 – 37.

9. Korchunov A.G., Chukin M.V., Korchunov A.G., Polyakova M.A., Emaleeva D.G. *Principy proektirovaniya neprerivnogo sposoba polucheniya stalnoy provoloki s ultramelkozernistoy strukturoi* [Design principles of continuous ultrafine grain structure steel wire obtaining method], *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk*, 2011, vol. 1, pp. 43 – 45.

10. Chukin M.V., Korchunov A.G., Golubchik E.M., Polyakova M.A., Gulina A.E. *Analiz metoda neprerivnogo deformatsionnogo nanostrukturirovaniya provoloki s ispolzovaniem kontseptsii tekhnologicheskogo nasledovaniya* [Analysis of wire continuous deforming nanostructuring method which uses technological inheritance conception], *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk*, 2012, vol. 4, pp. 61 – 63.

11. Lukyanov S.I., Safin I.R., Bodrov E.E. *Issledovanie vliyaniya parametrov nastroyki elektroprivodov stana ISF 5 na kachestvo produktsii* [Research of electric drive settings influence on product quality at ISF5 production line], *Electrotechnical complexes and systems. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2013, vol. 21, pp. 33–41.

12. Lukyanov S.I., Safin I.R., Bodrov E.E. *Vliyanie parametrov raboty elektroprivodov stana po proizvodstvu holodnotyanutoy armatury na kachestvo produktsii* [Electric drive parameters influence on quality of products at reinforcing bar cold rolling mill], *Science and Industry in the Ural. Scientific, technical and industrial magazine*, vol. 10, Novotroitsk, NF NUST "MISA". 2014, pp. 86 – 89.

13. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. *Metodika otsenki vliyaniya elektroprivoda razmotochnogo apparata na kachestvo periodicheskogo profilya stalnoy armatury* [Evaluation of uncoiler electric drive influence on quality of steel reinforcing bar periodic profile], *Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"*, 2014, Vol. 14, no.3, pp. 71 – 78.

14. Safin I.R., Lukyanov S.I., Logunova O.S., Bodrov E.E. *Sovershenstvovanie sistemy upravleniya elektroprivodom razmotochnogo apparata stana po proizvodstvu stalnoi armatury* [Improving of uncoiler electric drive control system on steel reinforcing bar production], *Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"*, 2015, vol. 15, no.2, pp. 77 – 83.

15. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. *Sistema upravleniya elektroprivodom razmotochnogo apparata stana po proizvodstvu stalnoy armatury* [Uncoiler electric drive control

system of steel reinforcing bar production line], Electrical systems and complexes. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, vol. 3(24), pp. 17 - 24.

16. Bodrov E.E., Lukyanov S.I., Safin I.R. *Ustroistvo dlya upravleniya elektroprivodom razmativaushego mehanizma* [Control device for uncoiler electric drive]. Patent for utility model no. 152968, MPC7 H02P25/02, H02P27/06, B21C47/18. Published 27.06.2015, bulletin no. 18.

lished 27.06.2015, bulletin no. 18.

17. Lukyanov S.I., Panov A.N., Vasilyev A.E. *Osnovy inzhenernogo eksperimenta* [Basics of scientific experiment], Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, 94 p.

УДК 621.311+621.34.001

Шубин А.Г., Гостев А.Н., Храмшин Р.Р., Одинцов К.Э.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ МЕЖКЛЕТЕВЫХ УСИЛИЙ В ЧЕРНОВОЙ ГРУППЕ ПРОКАТНОГО СТАНА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проблемы ограничения динамических нагрузок электромеханических систем непрерывной подгруппы универсальных клеток широкополосного стана горячей прокатки требуют проведения исследований методами математического моделирования. Рассмотрена функциональная схема системы автоматического регулирования нулевого натяжения стана 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Подчеркнуто, что она не соответствует возрастающим требованиям к точности регулирования межклетевых усилий. Представлена структурная схема математической модели взаимосвязанных электромеханических систем горизонтальных валков непрерывной подгруппы. Сделана ссылка на разработанную математическую модель взаимосвязанных электромеханических систем вертикальных и горизонтальных валков универсальной клетки. Представлены результаты моделирования переходных процессов за цикл прокатки при существующих алгоритмах управления электроприводами. Подтверждено определяющее влияние взаимного несоответствия скорости выхода полосы из предыдущей (вертикальной либо горизонтальной) клетки и окружной скорости валков следующей клетки на натяжение либо подпор в межклетевом промежутке. Дано описание разработанного способа последовательного согласования скоростей электроприводов клеток непрерывной подгруппы. Представлены результаты исследования, выполненного с помощью разработанных математических моделей. Сделан вывод, что предложенный способ управления процессом прокатки обеспечивает компенсацию межклетевых усилий за счет установки наиболее точного соотношения скоростей валков перед захватом полосы.

Ключевые слова: широкополосный стан горячей прокатки, черновая непрерывная группа клеток, универсальная клеть, межклетевые усилия, электропривод, математическая модель, структура, способ согласования скоростей, исследование.

ВВЕДЕНИЕ

Для ограничения ударных нагрузок, возникающих в электромеханических системах непрерывной подгруппы широкополосного стана горячей прокатки, разработан способ согласования горизонтальных составляющих линейных скоростей вертикальных и горизонтальных валков универсальной клетки [1]. Результаты экспериментальных исследований алгоритма, реализующего способ на стане 2000 горячей прокатки ОАО «ММК», рассмотрены в [2–4].

В настоящее время в структуре АСУ ТП непрерывной подгруппы функционирует система автоматического регулирования нулевого натяжения (САРНН), представляющая собой управляющую программу, загруженную в контроллер DR125, который задает скоростные режимы работы электроприводов горизонтальных и вертикальных клеток [5, 6]. На рис. 1 приведена упрощенная функциональная схема САРНН. Система поддерживает заданное натяжение проката между 4-й и 5-й клетями изменением скорости 4-й клетки, натяжение между клетями 5 и 6 регулируется изменением скорости 6-й клетки. На скорость 5-й клетки в процессе работы САРНН влияния не оказывает. Поддержание заданной величины натяжения в межклетевых промежутках осуществляется безлуперным способом (косвенное регулирование).

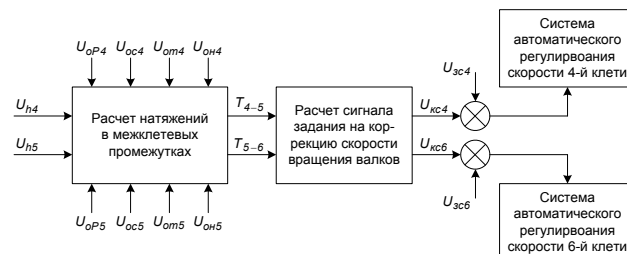


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического регулирования нулевого натяжения:

$U_{0C4}, U_{0C5}, U_{0M4}, U_{0M5}, U_{0N4}, U_{0N5}, U_{0P4}, U_{0P5}$ – сигналы, пропорциональные скоростям вращения двигателей, токов якорей и напряжений на двигателях, давлению металла на валки 4 и 5 клеток соответственно; U_{h4}, U_{h5} – сигналы, пропорциональные величинам зазоров горизонтальных валков; T_{4-5}, T_{5-6} – сигналы, пропорциональные натяжению в межклетевых промежутках между 4, 5 и 5, 6 клетями; $U_{к4}, U_{к6}$ – сигналы задания на коррекцию скоростей вращения валков 4 и 6 клеток; $U_{з4}, U_{з6}$ – сигналы задания на скорость вращения валков 4 и 6 клеток

Натяжение в межклетевом промежутке между 4 и 5 клетями рассчитывается по формуле

$$T_{4-5} = \frac{P_4}{R_{в4}} \cdot (L_{4-0} - L_4),$$

где P_4 – давление металла в 4-й клетки; $R_{в4}$ – радиус рабочих валков; L_{4-0} – плечо свободной прокатки (значение плеча прокатки до момента входа металла в 5-ю клеть); L_4 – текущее значение плеча прокатки (при на-

хождении металла одновременно 4-й и в 5-й клетях).

Косвенный расчет мгновенного плеча прокатки осуществляется по параметрам электропривода 4-й клетки

$$L_4 = \frac{\left[(U_{я4-1} - I_{я4-1} \cdot R_{я4-1}) \cdot I_{я4-1} + (U_{я4-2} - I_{я4-2} \cdot R_{я4-2}) \cdot I_{я4-2} - \omega_{\partial 6} \cdot J_4 \cdot \frac{d\omega_{\partial 6}}{dt} \right] \cdot \frac{1}{P_4}},$$

где $U_{я4-1}$, $I_{я4-1}$, $R_{я4-1}$, $U_{я4-2}$, $I_{я4-2}$, $R_{я4-2}$ – напряжения, токи и сопротивления 1-го и 2-го якорей двухякорного двигателя 4-й клетки; J_4 – суммарный момент инерции электропривода валков, приведенный к валу электродвигателя; $\omega_{\partial 6}$ – угловая скорость вращения двигателя 4-й клетки.

Аналогично рассчитываются натяжение T_{5-6} и плечо L_5 прокатки в промежутке между 5-й и 6-й клетями.

Вычисленные мгновенные значения межклетевых натяжений T_{4-5} и T_{5-6} поступают в блок регулирования, где сравниваются с заданными значениями межклетевых натяжений. В зависимости от рассогласований между расчетными и заданными значениями корректируются скорости 4-й и 6-й клеток. Пределы величин коррекции составляют [7]:

- для 4-й клетки от -0,2 до +0,2 м/с;
- для 5-й клетки от -0,25 до +0,25 м/с.

Задания натяжений вводятся в контроллер DMC АСУ 2-го уровня и для большей части сортамента:

- между 4 и 5 клетями $T_{4-5} = 5$ т;
- между 5 и 6 клетями $T_{5-6} = 10$ т.

Эта система, по существу, является системой поддержания «нулевого тока». Она не соответствует современным требованиям и малоэффективна в условиях расширения сортамента полос. В результате прокатка ведется с натяжениями, в несколько раз превышающими требуемые минимальные значения [8].

С целью совершенствования существующей САРПП разработаны технические решения, направленные на ограничение усилий в межклетевых промежутках при совместной прокатке [9–16].

Вопросы настройки регуляторов, проверки достоверности разработанных алгоритмов управления потребовали проведения исследований методом математического моделирования. С этой целью разработаны математические модели взаимосвязанных электромеханических систем непрерывной подгруппы клеток прокатного стана, отдельные звенья которых представлены в [17, 18].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГРУППЫ

На основе разработанных математических моделей отдельных объектов составлена комплексная математическая модель взаимосвязанных электромеха-

нических систем трехклетевой группы горизонтальных валков, схема модели представлена на **рис. 2**. Она содержит модели электроприводов горизонтальных клеток №4, 5, 6 и модели полосы в межклетевых промежутках 4-5 и 5-6. На схеме выделены технологические параметры прокатки: толщина полосы на выходах клеток №4 (H_4), №5 (H_5), №6 (H_6) и опережения S_{04} , S_{05} и S_{06} при прокатке в соответствующих клетях.

Структурные схемы моделей двухконтурной системы автоматического регулирования скорости электропривода, показанные на **рис. 2**, соответствуют известной системе уравнений, описывающей взаимосвязь координат силовой цепи и механической части электропривода i -й клетки [19].

Блок переключения БП введен в структуру электропривода для моделирования разработанного способа ограничения динамических нагрузок в электромеханических системах универсальной клетки. С его помощью запоминается среднее значение тока свободной прокатки, при входе полосы в следующую клеть осуществляется размыкание контура регулирования скорости, при этом запомненное значение тока подается на вход регулятора тока.

Математическая модель полосы в межклетевом промежутке получена на основе интегральных уравнений упругой деформации [20] и подробно рассмотрена в [21–24]:

$$T_i = \frac{E \cdot S_{n_i}^{6yx}}{L_{T_i}} \cdot \int_0^t (V_{n_{(i+1)}}^{6x} - V_{n_i}^{6yx}) \cdot dt - T_{нач_i},$$

$$Q_i = \frac{E \cdot S_{n_i}^{6x}}{L_{Q_i}} \cdot \int_0^t (V_{n_i}^{6x} - V_{n_{(i-1)}}^{6yx}) \cdot dt - Q_{нач_i},$$

где E_i – модуль упругости материала; $S_{n_i}^{6x}$, $S_{n_i}^{6yx}$ – площади поперечных сечений полосы на входе и выходе i -го очага деформации; L_{T_i} , L_{Q_i} – длины участков полосы, на которых действуют силы T_i и Q_i соответственно; $T_{нач_i}$, $Q_{нач_i}$ – начальные натяжения в полосе.

Также разработана математическая модель взаимосвязанных электромеханических систем универсальной клетки (вертикальных и горизонтальных валков). Структура и описание представлены в [25]. Модели реализованы в программной среде Simulink, являющейся приложением пакета MATLAB. Их адекватность исследуемому объекту доказана по результатам сопоставления динамических процессов, полученных при моделировании, реальным процессам, зафиксированным в ходе экспериментов на стане [26].

Разработанные модели позволяют анализировать совместную работу электроприводов вертикальных и горизонтальных валков универсальной клетки, оценить степень их взаимного влияния и используются при исследовании усовершенствованных алгоритмов управления.

Ниже представлены результаты исследований, выполненных с помощью данных моделей.

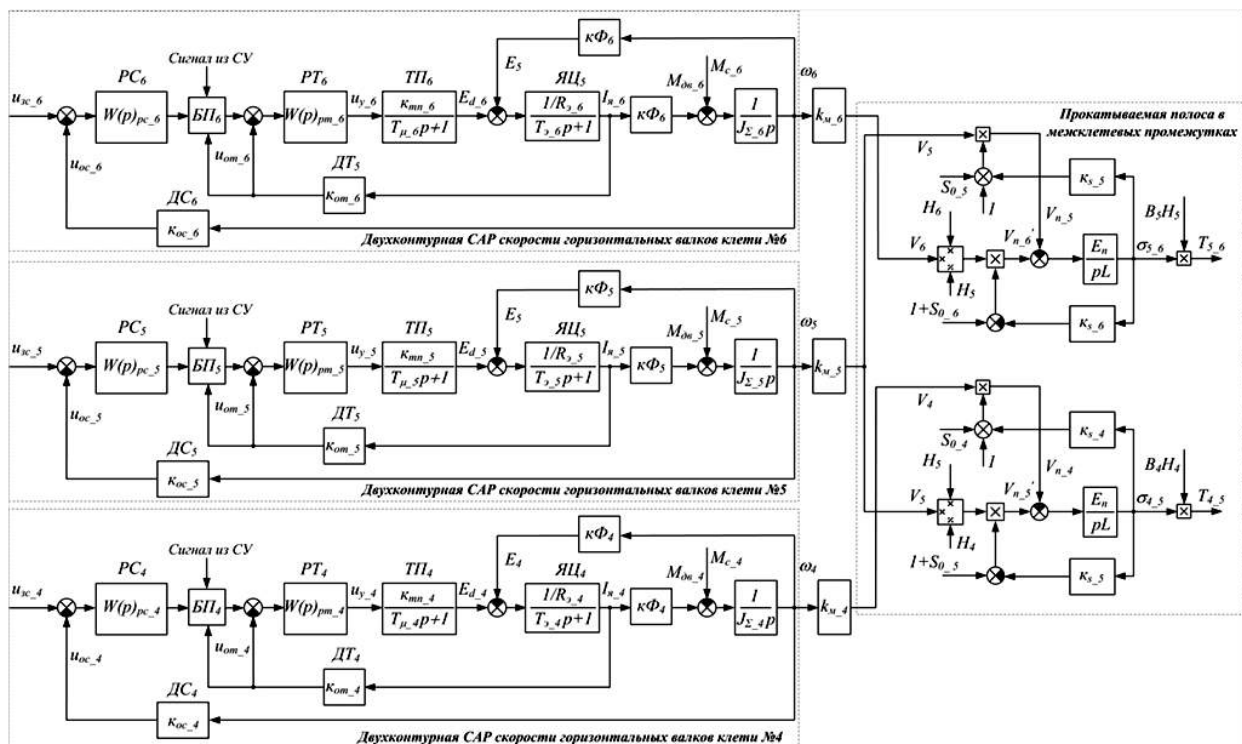


Рис. 2. Математическая модель взаимосвязанных электромеханических систем горизонтальных валков трехклетевой непрерывной подгруппы

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗА ЦИКЛ ПРОКАТКИ В СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ НУЛЕВОГО НАТЯЖЕНИЯ

С помощью разработанных моделей проведены исследования процесса прокатки при существующих алгоритмах управления электроприводами. Результаты моделирования представлены на рис. 3. В момент времени t_1 прокатываемый металл входит в валки эджера №4. Система регулирования электропривода этих валков до входа металла в валки 4-й горизонтальной клетки обеспечивает пропорциональное регулирование скорости с внутренним контуром регулирования тока. При входе металла (рис. 3, а) происходит просадка скорости валков эджера от 0,709 до 0,664 м/с, что составляет 6,4%. При этом ток двигателя (рис. 3, б) достигает 1310 А, что вызвано обжатием прокатываемого металла по ширине.

После входа металла в горизонтальную клеть №4 в момент времени t_2 система регулирования электропривода эджера размыкается по скорости и обеспечивает регулирование тока (момента) двигателя. При этом скорость эджера №4 повышается за счет связи клеток через металл (клеть №4 разгоняет эджер №4) и становится равной скорости прокатки металла в горизонтальной клетке №4. Это следует из рис. 3, в момент времени t_2 происходит разгон валков эджера №4 до скорости 0,71 м/с, при динамическом снижении тока двигателя на 250–300 А. При дальнейшей работе изменения скорости эджера полностью повторяют изменения скорости валков горизонтальной клетки №4.

Из рис. 3, а видно, что неучет статической просадки скорости валков эджера №4 или же неверный расчет скорости заправки приводят к дополнительному разгону (торможению) валков в момент входа металла в горизонтальные валки клетки №4.

Система регулирования скорости горизонтальных валков также выполнена двухконтурной: внутренний контур регулирования с ПИ-регулятором тока и внешний контур регулирования с П-регулятором скорости. На рис. 3, в показано, что вследствие пропорционального регулирования при входе прокатываемого металла в валки скорость снижается от 1,0 до 0,976 м/с, т.е. на 2,8%. Ток двигателя этой клетки (рис. 3, г) увеличивается от уровня тока холостого хода 180 А до тока прокатки 10500 А. Дополнительного воздействия на электропривод валков клетки №4 до входа металла в валки горизонтальной клетки №5 не происходит.

В момент времени t_3 прокатываемый металл входит в валки эджера №5. Из рис. 3, е следует, что линейная скорость снижается от 1,198 до 1,155 м/с, т.е. на 3,6 %. Ток двигателя эджера №5 (рис. 3, ж) увеличивается до 750 А. В момент времени t_4 осуществляется захват проката горизонтальными валками клетки №5. Скорость валков (рис. 3, з) снижается на 2% – от 1,624 до 1,597 м/с. С этого момента времени осуществляется совместная прокатка в двух смежных клетях. В металле создается усилие растяжения/сжатия (натяжение/подпор), обусловленное разностью скоростей входа в клеть №5 и выхода из клетки №4.

На рис. 3, д представлены кривые усилий, возникающих в прокатываемом металле в межклетевом промежутке 4-5. Видно, что первоначальная разница скоростей смежных клеток 4 и 5 создает в прокатываемом металле усилие сжатия (подпора) достигающее - 11 т. При этом системой регулирования натяжения задается значение +5 т. Для обеспечения заданного натяжения осуществляется корректирующее воздействие на скорость валков предыдущей горизонтальной клетки №4 (рис. 3, в). Их скорость снижается с заданным темпом от значения 0,976 до 0,952 м/с. Аналогично изменяется и скорость валков эджера №4.

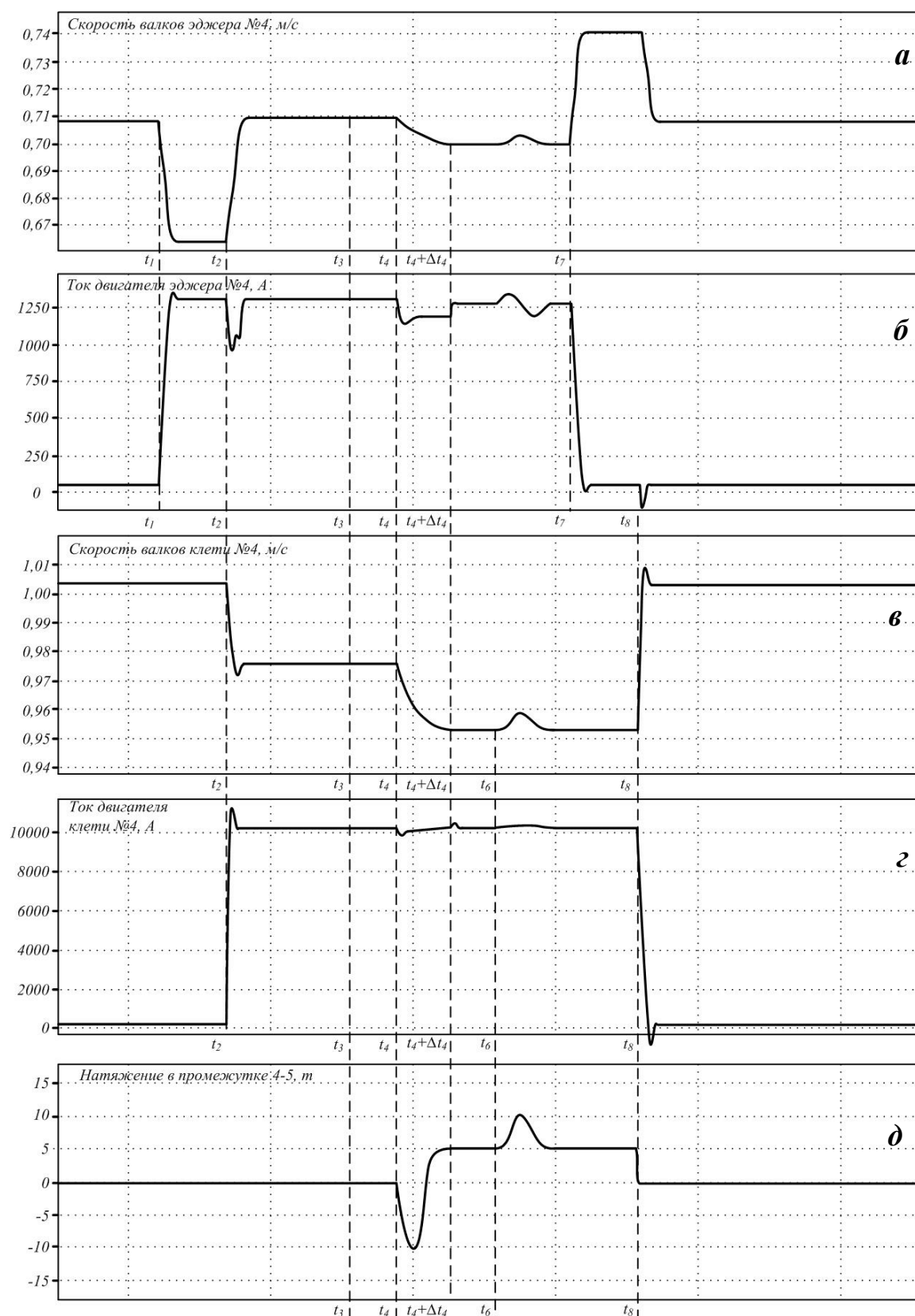


Рис. 3. Результаты моделирования переходных процессов в черновой группе:

t_1, t_3 и t_5 – вход переднего конца проката в валки эджеров №4, 5 и 6;

t_2, t_4 и t_6 – вход переднего конца проката в валки клеток №4, 5 и 6;

t_7, t_9 и t_{11} – выход заднего конца проката из валков эджеров №4, 5 и 6;

t_8, t_{10} и t_{12} – выход заднего конца проката из валков клеток №4, 5 и 6;

Δt_4 и Δt_6 – время регулирования натяжения проката в межклетевых промежутках 4-5 и 5-6

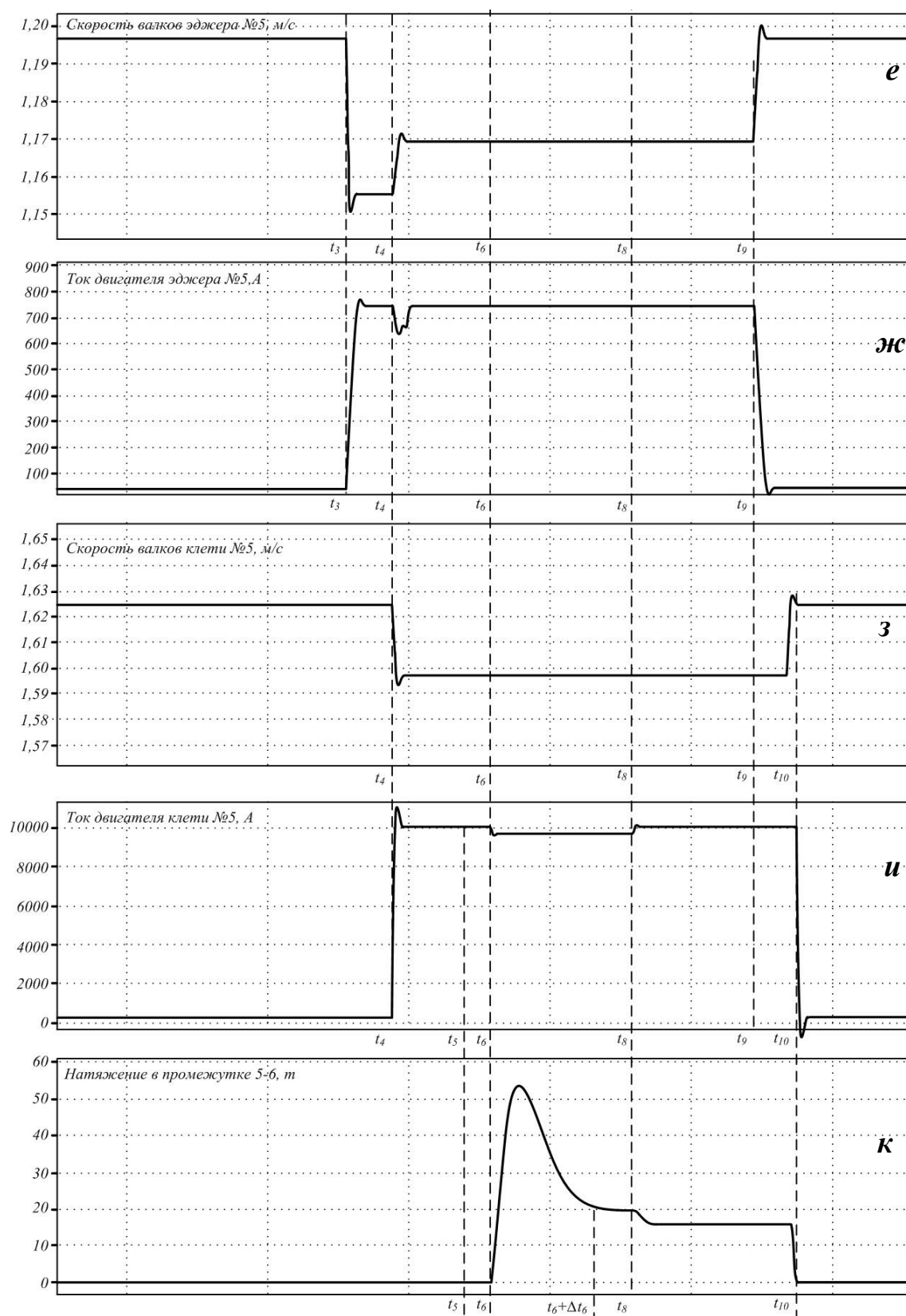


Рис. 3. Продолжение

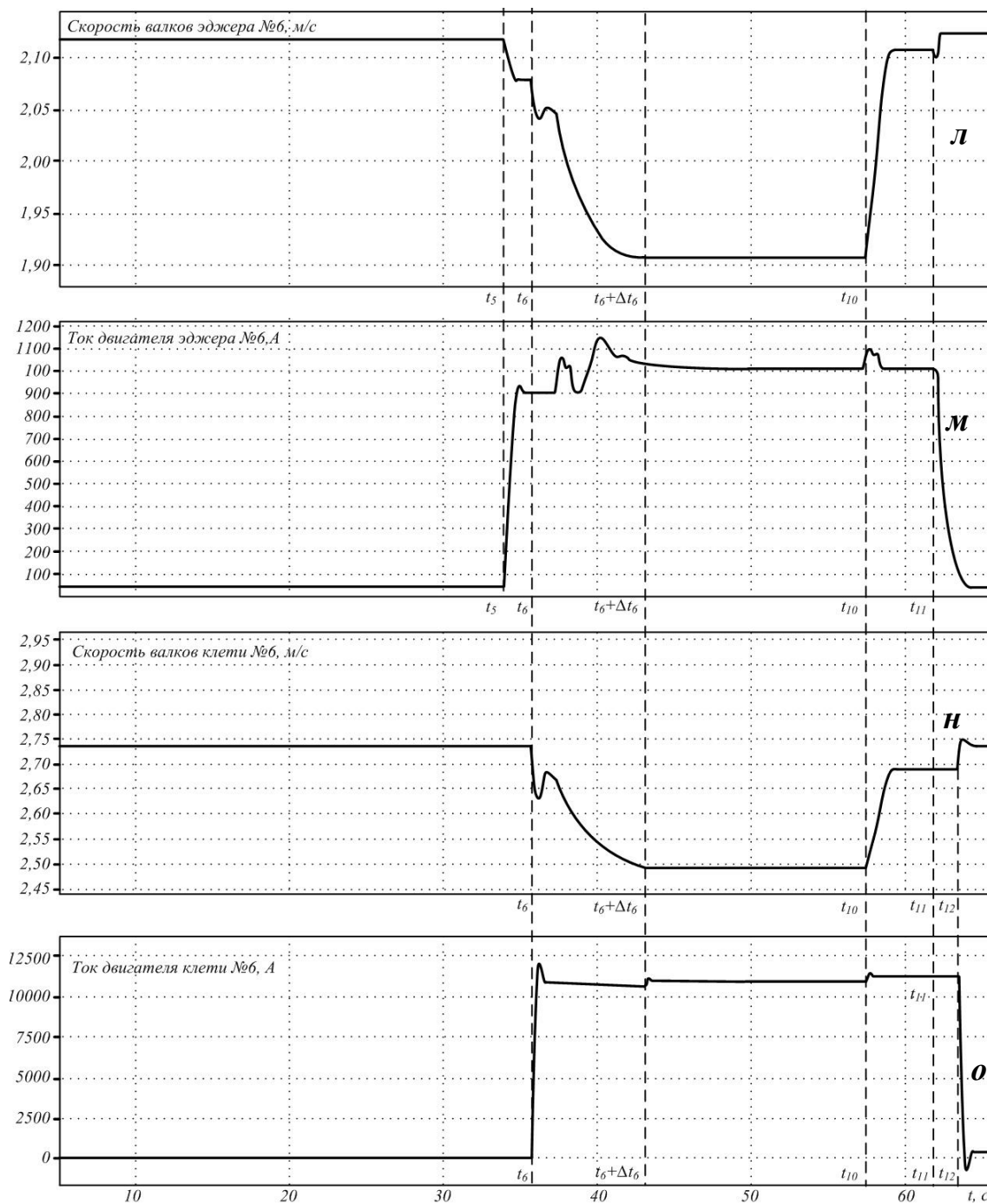


Рис. 3. Окончание

В результате корректирующего воздействия за время Δt_4 в полосу устанавливается заданное значение $+5$ т. Корректирующий сигнал не выходит за пределы допустимого значения $\pm 0,2$ м/с. Скорость валков клетки №5 остается неизменной в течение всей прокатки.

В момент времени t_5 прокатываемый металл входит в валки эджера №6, а в момент времени t_5 – в валки горизонтальной клетки №6. С этого времени и до момента времени t_8 металл прокатывается во всех трех клетях непрерывной группы. При входе металла в валки горизонтальной клетки №6 их линейная скорость снижается от 2,73 до 2,69 м/с, что составляет 1,9 %. Первоначальное рассогласование скоростей валков клеток №5 и 6 приводит к созданию в прокатываемом металле значительного натяжения величиной $+53$ т

(рис. 3, κ). При этом заданное значение натяжения в промежутке между 5-й и 6-й клетями $+10$ т. Система регулирования натяжения осуществляет коррекцию скорости последующей клетки №. Как видно из рис. 3, н, скорость валков снижается от 2,69 до 2,48 м/с. Это максимально допустимая коррекция, предусмотренная системой регулирования натяжения. Однако даже максимальная коррекция скорости валков клетки №6 не позволяет достичь требуемого натяжения, в результате натяжение остается на уровне $+20$ т. Время регулирования натяжения на рис. 3 составляет Δt_6 .

По результатам моделирования видно, что создание натяжения в межклетевом промежутке 5-6 сказывается на натяжении в промежутке 4-5. Для устранения этого влияния система регулирования натяжения до-

полнительно корректирует скорость валков клетки №4, как показано на **рис. 3, а-д**. В результате натяжение в промежутке 4-5 возвращается к заданному значению +5 т.

Процессы, возникающие при выходе прокатываемого металла из валков черновой группы, показаны на **рис. 3** в промежутке времени $t_7 - t_{12}$. В момент времени t_7 металл выходит из валков эджера №4, а в момент времени t_8 – из валков горизонтальной клетки №4. В промежутке 4-5 натяжение в прокатываемом металле снижается до нуля, скорость валков клетки устанавливается на уровне, заданном для прокатки следующей заготовки. Как видно из **рис. 3, к**, исчезновение натяжения в промежутке 4-5 в момент времени t_8 , приводит к уменьшению натяжения в промежутке 5-6. Это подтверждает существенную связь между натяжениями в смежных промежутках, т.е. возмущающее воздействие передается через клеть. При этом дополнительных воздействий на электропривод валков клетки №6 не оказывалось.

Аналогично в момент времени t_9 металл выходит из валков эджера №5, а в момент времени t_{10} – из валков горизонтальной клетки №6. Натяжение в прокатываемом металле в промежутке 5-6 снижается до нуля. Скорости валков клетки устанавливаются на уровне, заданном для прокатки следующей заготовки. Аналогичные процессы происходят и при выходе металла из валков эджера №6 в момент времени t_{11} , а также из валков горизонтальной клетки №6 в момент времени t_{12} .

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГРУППЫ

Согласно разработанному способу управления скоростными режимами [1] при свободной прокатке полосы в вертикальных валках универсальной клетки до ее захвата горизонтальными валками скорость электропривода горизонтальных валков устанавливается равной

$$\omega_{\Gamma} = \omega_B \frac{D_B}{D_{\Gamma}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_{\Gamma}}. \quad (1)$$

Это выражение получено из условия совместной прокатки без натяжения:

$$V_{\Gamma}^{zop} = V_B = V_{\Gamma} \cdot \cos \alpha_{\Gamma},$$

где V_{Γ}^{zop} – горизонтальная составляющая линейной скорости V_{Γ} горизонтальных валков в точке захвата полосы; V_B – линейная скорость вертикальных валков; D_{Γ} , D_B – диаметры горизонтальных и вертикальных валков; α_{Γ} – угол захвата полосы горизонтальными валками.

Косинус угла захвата $\cos \alpha_{\Gamma}$ полосы горизонтальными валками рассчитывается по зависимости

$$\cos \alpha_{\Gamma} = 1 - \frac{H_1 - H_2}{D_{\Gamma}},$$

где H_1 , H_2 – толщина полосы на входе и выходе горизонтальной клетки.

В результате к моменту захвата полосы валками

горизонтальной клетки линейная скорость V_M полосы становится равной горизонтальной составляющей V_{Γ}^{zop} линейной скорости V_{Γ} (принимают $V_M = V_B$). Это обеспечивает захват полосы горизонтальной клетью с меньшими динамическими нагрузками. Кроме того, решается главная задача: ограничиваются динамические удары в валках вертикальной клетки, возникающие при повторном переходном процессе в момент захвата полосы горизонтальными валками.

Расчет горизонтальных составляющих линейных скоростей поясняется с помощью **рис. 4**. Он выполняется по известным зависимостям постоянства секундного объема при совместной прокатке [27].

Горизонтальная составляющая линейной скорости вертикальных валков в точке захвата при пренебрежении обжатием равна линейной скорости вертикальных валков

$$V_{\Gamma}^{zop} = V_B.$$

Без учета опережения она определяется по зависимости

$$V_{\Gamma}^{zop} = V_{\Gamma} \frac{H_2}{H_1} = \omega R \frac{H_1}{H_1} = \frac{2\pi}{60} n R \frac{H_1}{H_1},$$

где n – скорость вращения горизонтальных валков клетки (об/мин).

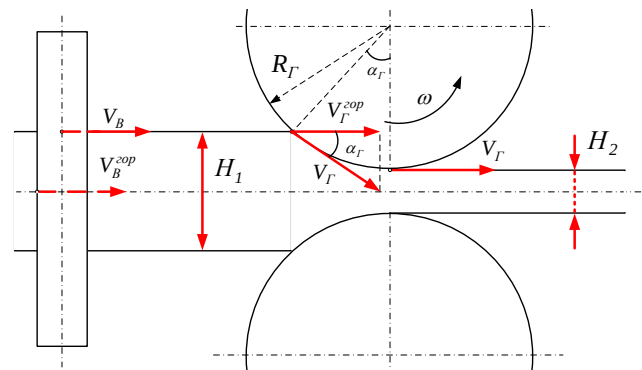


Рис. 4. Пояснение к расчету горизонтальных составляющих скоростей валков

V_B^{zop} – горизонтальная составляющая линейной скорости вертикальных валков в точке захвата

Данный способ получил развитие, обеспечивающее устранение ударных нагрузок при захвате полосы вертикальными валками. Это достигается путем согласования скорости выхода полосы из горизонтальных валков предыдущей клетки и горизонтальной составляющей линейной скорости вертикальных валков следующей клетки согласно зависимости

$$\omega_B = \omega_{\Gamma(i-1)} \frac{D_{\Gamma}}{D_B}, \quad (2)$$

где $\omega_{\Gamma(i-1)}$ – скорость горизонтальных валков (i-1)-й клетки в режиме свободной прокатки.

Техническая реализация способа обеспечит установление более точного соотношения скоростей вертикальных и горизонтальных валков перед захватом полосы. За счет этого снижаются динамические нагрузки механического и электрического оборудования.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО
СОГЛАСОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГРУППЫ

Исследования разработанного способа согласования скоростей электроприводов последовательно расположенных (вертикальных либо горизонтальных) клеток непрерывной подгруппы проводились путем поочередных расчетов процессов, происходящих в электромеханических системах каждой универсальной

клетки с использованием упомянутой выше модели, представленной в [25]. Далее полученные результаты вводились в качестве исходных данных в модель электромеханических систем горизонтальных валков межклетевого промежутка (см. **рис. 2**). Это обеспечило возможность анализа процессов прокатки без разработки универсальной модели всей непрерывной подгруппы, что является трудоемкой самостоятельной задачей.

Результаты моделирования процесса прокатки при реализации способа представлены на **рис. 5**.

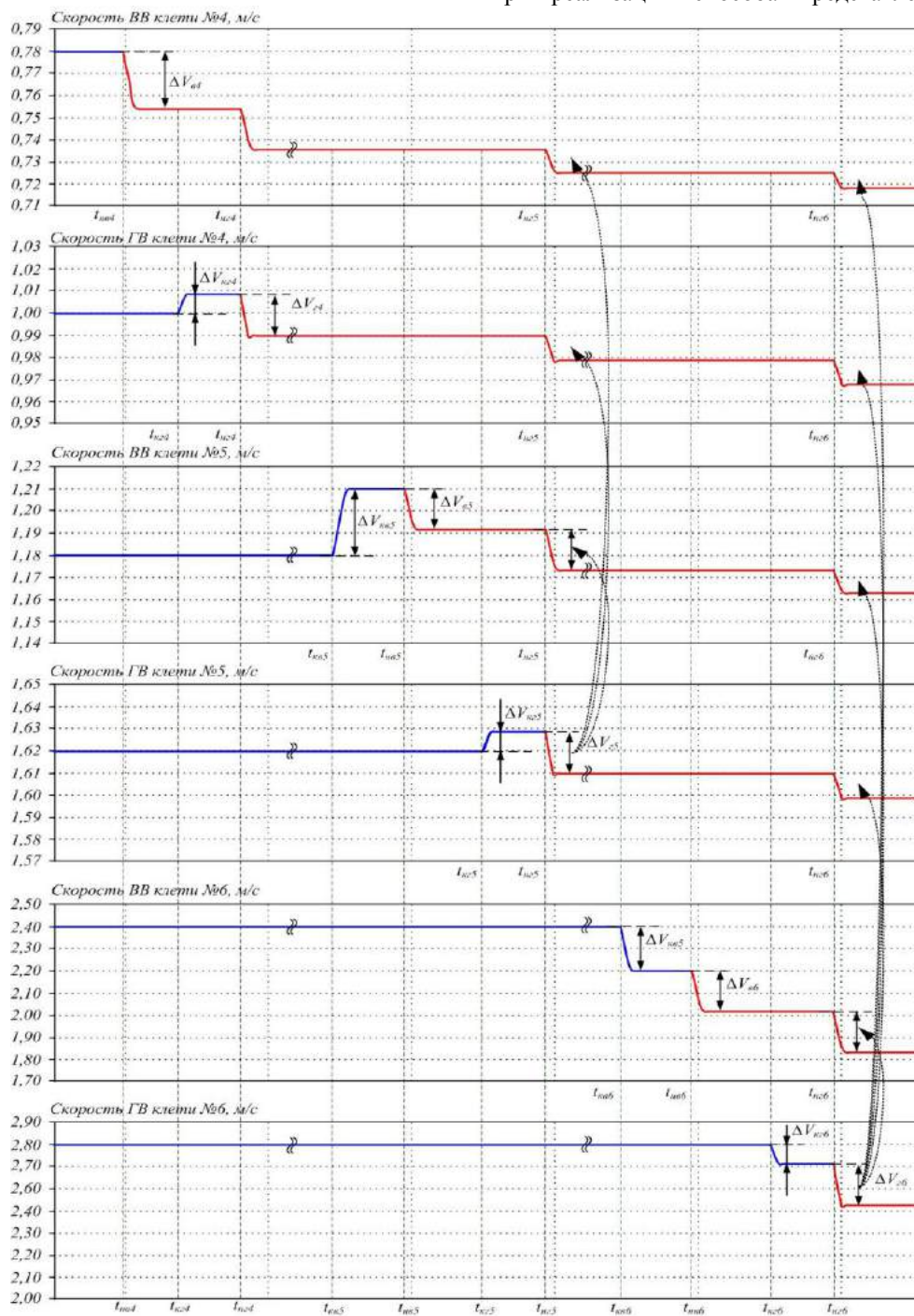


Рис. 5. Результаты моделирования разработанного способа согласования скоростей:

$t_{n45}, t_{n55}, t_{n66}$ – моменты захвата вертикальными валками клеток №4, 5, 6;
 $t_{n24}, t_{n25}, t_{n26}$ – моменты захвата горизонтальными валками клеток №4, 5, 6,
 $t_{k45}, t_{k55}, t_{k66}$ – моменты начала коррекции скорости в вертикальных валках;
 $t_{k24}, t_{k25}, t_{k26}$ – моменты начала коррекции скорости в горизонтальных валках

После входа полосы в вертикальные валки клетки №4 (момент $t_{в4}$) возникает просадка ее скорости $\Delta V_{в4}$ от 0,78 до 0,753 м/с. Согласно разработанному способу выполняется расчет коррекции скорости горизонтальных валков $\Delta V_{к24}$ пропорционально произведению скорости вертикальных валков $V_{в4}$ на отношение диаметров вертикальных и горизонтальных валков с учетом угла захвата полосы горизонтальными валками по зависимости (1). По рассчитанному значению в момент времени $t_{к24}$ происходит повышение скорости горизонтальных валков этой клетки. После входа полосы в горизонтальные валки возникает статическая просадка скорости $\Delta V_{з4}$ от 1,01 до 0,99 м/с.

Далее при свободной прокатке в горизонтальных валках клетки №4 (при движении полосы в межклетевом промежутке от горизонтальных валков клетки №4 к вертикальным валкам клетки №5) осуществляется коррекция скорости вертикальных валков клетки №5 пропорционально скорости горизонтальных валков $V_{з4}$ и отношению диаметров горизонтальных и вертикальных валков по зависимости (2). В момент времени $t_{кв5}$ происходит увеличение скорости вертикальных валков этой клетки на величину $\Delta V_{кв5}$.

После входа полосы в вертикальные валки клетки №5 (момент $t_{в5}$) возникает просадка скорости от 1,21 до 1,19 м/с. Выполняется расчет корректирующего значения скорости горизонтальных валков $\Delta V_{к25}$ согласно зависимости (1), после чего в момент времени $t_{к25}$ происходит разгон горизонтальных валков этой клетки. После входа полосы в горизонтальные валки возникает просадка скорости $\Delta V_{з5}$ от 1,63 до 1,61 м/с.

Аналогичные процессы происходят в моменты входа полосы в вертикальные и горизонтальные валки клетки №6. В качестве отличия принято то, что до заправки полосы скорость $V_{з6}$ горизонтальных валков была установлена выше требуемой при совместной прокатке. Поэтому в момент времени $t_{к26}$ происходит корректирующее снижение (а не увеличение, как в клетки №5) скорости горизонтальных валков на величину $\Delta V_{к26}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследований, выполненных на математической модели, подтвердил, что предложенный способ управления процессом прокатки обеспечивает автоматическое согласование линейной скорости валков каждой последующей (горизонтальной либо вертикальной) клетки и скорости выхода полосы из предыдущей клетки. За счет последовательной коррекции обеспечивается установка наиболее точного соотношения скоростей валков перед захватом полосы, что дает улучшение динамических процессов.

Результаты исследования переходных процессов электроприводов вертикальных и горизонтальных валков при захвате полосы горизонтальными валками, полученные методом математического моделирования, представлены в [18].

Проведенные исследования были приняты за основу при разработке алгоритма управления электроприводами универсальных клеток электроприводов непрерывной подгруппы стана 2000. Результаты экспериментальных исследований, представленные в [2, 3], подтвердили достоверность основных теоретиче-

ских выводов. Результаты промышленного внедрения рассмотрены в [25, 28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2494828 РФ, МПК В21В37/52. Способ автоматического регулирования натяжения полосы в черновой группе клеток непрерывного прокатного стана / И.Ю. Андришин, В.В. Галкин, А.Н. Гостев, И.В. Казаков, С.А. Евдокимов, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, Р.Р. Храмшин // БИПМ. 2013. №28.
2. Снижение динамических нагрузок в универсальных клетях прокатного стана / В.Р. Храмшин, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, И.Ю. Андришин, А.Г. Шубин, А.Н. Гостев // *Металлург*. 2015. №4. С. 41-47.
3. Khrumshin V.R., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Andryushin I.Yu., Shubin A.G., Gostev A.N. Reduction of the Dynamic Loads in the Universal Stands of a Rolling Mill. *Metallurgist*. Vol. 59. №3-4, July 2015. Pp. 315-323. doi:10.1007/s11015-015-0103-8.
4. Снижение динамических нагрузок механического и электрического оборудования черновой подгруппы клеток стана горячей прокатки / В.Р. Храмшин, А.С. Карандаев, А.А. Радионов, И.Ю. Андришин, А.Н. Гостев // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2013. №2. С. 69-77.
5. Согласование скоростных режимов электроприводов клеток непрерывной группы прокатного стана / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, А.А. Радионов, И.Ю. Андришин, В.В. Галкин, А.Н. Гостев // *Вестник ИГЭУ*. 2013. Вып. 1. С. 98-103.
6. Согласование скоростей взаимосвязанных электроприводов клеток черновой группы прокатного стана / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, А.А. Радионов, И.Ю. Андришин, В.В. Галкин, А.Н. Гостев // *Труды VII Международной (XVIII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу; ФГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет»*. – Иваново, 2012. С. 652-657.
7. Совершенствование алгоритма согласования скоростей электроприводов клеток черновой группы стана горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, В.В. Галкин, А.Н. Гостев // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. Вып. 16. 2011. № 34 (251). – С. 35-41.
8. Khrumshin V.R., Evdokimov S.A., Karandaev A.S., Andryushin I.Yu., Shubin A.G. Algorithm of No-Pull Control in the Continuous Mill Train. *Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)*. – Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. doi 10.1109/SIBCON.2015.7147263.
9. Пат. 2477187 РФ, МПК В 21 В 37/52. Способ автоматического управления процессом прокатки в непрерывной группе клеток / И.Ю. Андришин, В.В. Галкин, В.В. Головин, П.В. Шиляев, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, Р.Р. Храмшин // БИПМ. 2013. №7.
10. Новые технические решения в электроприводах и системах регулирования технологических параметров станов горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, И.Ю. Андришин, В.В. Головин, П.В. Шиляев, С.А. Петряков, А.А. Лукин // *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 2. С. 34-40.
11. Карандаев А.С. Храмшин В.Р. Совершенствование электроприводов и систем автоматического регулирования технологических параметров широкополосных станов горячей прокатки при расширении сортамента полос // *Электротехнические системы и комплексы*. 2014. № 1(22). С. 22-31.
12. Карандаев А.С. Совершенствование автоматизированных электроприводов агрегатов прокатного производства // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2014. №1. С. 3-15.

13. Басков С.Н., Карандаев А.С., Осипов О.И. Энергосиловые параметры приводов и система профилированной прокатки слэбов стана 2800 // Приводная техника. 1999. №1-2. С. 21-24.
14. Автоматическая коррекция скоростей электроприводов клетей стана 2000 при прокатке трубной заготовки / И.Ю. Андрушин, В.В. Галкин, В.В. Головин, А.С. Карандаев, А.А. Радионов, В.Р. Храмшин // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. № 4. С.31-35.
15. Совершенствование автоматизированных электроприводов и диагностика силового электрооборудования / И.А. Селиванов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмшин, А.А. Шеметова, А.А. Лукин // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №1. С. 5-11.
16. Храмшин В.Р. Способы компенсации статических отклонений скорости электроприводов клетей широкополосного стана горячей прокатки // Электротехника. 2013. №4. С. 49-55.
17. Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем непрерывной подгруппы клетей прокатного стана. Ч.1. Разработка математической модели / А.А. Радионов, А.С. Карандаев, А.С. Евдокимов, И.Ю. Андрушин, А.Н. Гостев, А.Г. Шубин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15. № 1. С. 59-73.
18. Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем непрерывной подгруппы клетей прокатного стана. Ч.2. Исследование динамических нагрузок в универсальных клетях / А.А. Радионов, А.С. Карандаев, А.С. Евдокимов, И.Ю. Андрушин, А.Н. Гостев, А.Г. Шубин, В.Р. Гасияров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15. № 2. С. 67-76.
19. Математическое моделирование тиристорного электропривода с переключающейся структурой / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, В.В. Галкин, А.А. Лукин // Изв. вузов. Электромеханика. 2010. №3. С. 47-53.
20. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект ав-

томатизации. М.: Металлургия, 1975. 336 с.

21. Математическая модель взаимосвязанных электротехнических систем непрерывной группы широкополосного стана / В.Р. Храмшин, И.Ю. Андрушин, А.Н. Гостев, А.С. Карандаев // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 12-21.
22. Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем межклетевого промежутка широкополосного стана горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, И.Ю. Андрушин, Шилиев П.В., В.В. Головин // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №1. С. 12-20.
23. Храмшин В.Р. Разработка электротехнических систем непрерывной группы стана горячей прокатки при расширении сортамента полос: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013. 360 с.
24. Храмшин, В.Р. Разработка и внедрение автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосного стана горячей прокатки // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2012. № 6. С. 100-104.
25. Гостев, А.Н. Ограничение динамических нагрузок электроприводов универсальных клетей непрерывной подгруппы широкополосного стана горячей прокатки: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. 166 с.
26. Андрушин И.Ю., Шубин А.Г., Гостев А.Н. Разработка математической модели взаимосвязанных электромеханических систем черновой группы прокатного стана // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №3(24). С. 24-31.
27. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высш. шк., 1977. 391 с.
28. Автоматическая коррекция скоростей электроприводов клетей стана 2000 при прокатке трубной заготовки / Андрушин И.Ю., Галкин В.В., Головин В.В., Карандаев А.С., Радионов А.А., Храмшин В.Р. // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. № 4. С. 31-35.

INFORMATION IN ENGLISH

SYSTEM OF INTERSTAND TENSION COMPENSATION IN ROUGHING TRAIN OF ROLLING MILL RESEARCH USING MATHEMATICAL MODELING METHOD

Shubin A.G., Gostev A.N., Khramshin R.R., Odintsov K.E.

The problems of limiting dynamic loads on electromechanical systems of the continuous train of universal rolling stands of the wide strip hot rolling mill require intensive research using methods of mathematical modeling. The functional scheme of the automatic no pull control system of OJSC "Iron and Steel Works" rolling mill 2000 was examined. It was pointed out, that it does not meet the increasing requirements to the accuracy of the interstand tension control. The structural diagram of the mathematical model of electromechanical systems of horizontal rolls in the continuous train is given. The authors refer to the developed mathematical model of interrelated electromechanical systems of vertical and horizontal rolls of a universal rolling stand. They describe the results of transient processes modeling per rolling cycle for the current algorithms of electric drives control. The research confirmed the determining influence of the mutual mismatch of the strip exit speed from the previous (vertical or horizontal) stand and the roll rotating speed of the next stand on the tension or backing in the interstand space. The developed method of speed coordination for electric drives of continuous train is described. The results of research work carried out by means of the developed mathematical models are given. It is concluded that the offered control method of the rolling process is capable of compensating interstand tension

thanks to the more accurate roll speed matching before the strip grip.

Keywords: wide strip rolling mill, roughing continuous train, universal rolling stand, interstand tension, electric drive, mathematical model, structure, method of speed matching, research.

REFERENCES

1. Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Gostev A.N., Kazakov I.V., Evdokimov S.A., Karandaev A.S., Khramshin V.R., Khramshin R.R. The Russian Federation patent for an invention no.2494828, МПК B21B37/52. *Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya natyazheniya polosy v chernovoy gruppe kletey nepreryvnogo prokatnogo stana* [Method of Automatic Control of Strip Tension in Roughing Train of Continuous Rolling Mill], BIPM, 2013, no.28.
2. Khramshin V.R., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Andryushin I.Yu., Shubin A.G., Gostev A.N. *Snizhenie dinamicheskikh nagruzok v universalnykh kletyakh prokatnogo stana* [Reduction of Dynamic Loads in Universal Stands of Rolling Mill], Metallurgist, 2015, no.4, pp. 41-47.
3. V.R. Khramshin, A. S. Karandaev, S. A. Evdokimov, I. Yu. Andryushin, A. G. Shubin, A. N. Gostev Reduction of the

Dynamic Loads in the Universal Stands of a Rolling Mill. Metallurgist. Vol. 59. no.3-4, July 2015. pp. 315-323. doi:10.1007/s11015-015-0103-8.

4. Khramshin V.R., Karandaev A.S., Radionov A.A., Andryushin I.Yu., Gostev A.N. *Snizhenie dinamicheskikh nagruzok mekhanicheskogo i elektricheskogo oborudovaniya chernovoy podgruppy kletey stana goryachey prokatki* [Reduction of Dynamic Loads on Mechanical and Electrical Equipment of Roughing Train of Hot Rolling Mill], Machine-building: network electronic scientific journal, 2013, no.2, pp. 69-77.

5. Karandaev A.S. Khramshin V.R., Radionov A.A., Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Gostev A.N. *Soglasovanie skorostnykh rezhimov elektroprivodov kletey nepreryvnoy gruppy prokatnogo stana* [Synchronization of speeds of electric drives in rolling stands of continuous train], Bulletin of IGEU, 2013, issue 1. pp. 98-103.

6. Karandaev A.S. Khramshin V.R., Radionov A.A., Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Gostev A.N. *Soglasovanie skorostey vzaimosvyazannykh elektroprivodov kletey chernovoy gruppy prokatnogo stana* [Synchronization of Speeds of Interrelated Electric Drives of Roughing Train of Rolling Mill], *Trudy VII mezhdunarodnoy (XVIII vserossiyskoy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu* [Proceedings of VII International (XVIII All-Russian) scientific conference on automated electric drive], Ivanovo State Power-engineering University. Ivanovo, 2012, pp. 652-657.

7. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Galkin V.V., Gostev A.N. *Sovershenstvovanie algoritma soglasovaniya skorostey elektroprivodov kletey chernovoy gruppy stana goryachey prokatki* [Improvement of Speed Synchronization Algorithm for Electric Drives of Roughing Train at Hot Rolling Mill], Bulletin of the South-Ural State University. Power engineering series. Issue 16, 2011, no. 34 (251), pp. 35-41.

8. Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Karandaev A.S. Andryushin I.Yu., Shubin A.G. Algorithm of No-Pull Control in Continuous Mill Train. Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015). Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. doi 10.1109/SIBCON.2015.7147263.

9. Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Golovin V.V., Shilyaev P.V., Karandaev A.S., Khramshin V.R., Khramshin R.R. The Russian Federation patent for an invention 2477187, МПК7 B 21 B 37/52. Method of Automatic Control of Rolling Process in Continuous Train, BIMP, 2013, no.7.

10. Karandaev A.S. Khramshin V.R., Andryushin I.Yu., Golovin V.V., Shilyaev P.V., Petryakov S.A., Lukin A.A. *Novye tekhnicheskie resheniya v elektroprivodakh i sistemakh regulirovaniya tekhnologicheskikh parametrov stanov goryachey prokatki* [New Technical Solutions in Electric Drives and Control Systems of Technological Parameters of Hot Rolling Mills], Bulletin of TulGU. Engineering Sciences. Issue 3, in 5 vol., Tula, Publishing centre of TulGU, 2010. Vol. 2, pp. 34-40.

11. Karandaev A.S., Khramshin V.R. *Sovershenstvovanie elektroprivodov i sistem avtomaticheskogo regulirovaniya tekhnologicheskikh parametrov shirokopolosnykh stanov goryachey prokatki pri rasshirenii sortamenta polos* [Enhancement of Electric Drives and Automatic Control Systems of Technological Parameters of Wide Strip Hot Rolling Mills in the Process of Product Range Extension], Electrotechnical systems and complexes, 2014, no. 1(22), pp. 22-31.

12. Karandaev A.S. *Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh elektroprivodov agregatov prokatnogo proizvodstva* [Enhancement of Automated Electric Drives of Rolling Units], Machine-building: network electronic scientific journal, 2014, no.1, pp. 3-15.

13. Baskov S.N., Karandaev A.S., Osipov O.I. *Enrgosilovye parametry privodov i sistema profilirovannoy prokatki slyabov stana 2800* [Power Parameters of Drives and System of Shaped Rolling of Plate Slabs at Rolling Mill 2800], Power-driven equipment, 1999, no. 1-2, pp. 21-24.

14. Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Golovin V.V., Karandaev A.S., Radionov A.A., Khramshin V.R. *Avtomaticheskaya korrektsiya skorostey elektroprivodov kletey stana 2000 pri prokatke trubnoy zagotovki* [Automatic Speed Adjustment of 2000 Mill Electric Drives in the Process of Tube Stock Rolling], Proceedings of Universities. Electrical engineering, 2011, no. 4, pp. 31-35.

15. Selivanov I.A., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Shemetova A.A., Lukin A.A. *Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh elektroprivodov i diagnostika silovogo elektrooborudovaniya* [Enhancement of Automated Electric Drives and Diagnostics of Power Electrical Facilities], Proceedings of Universities. Electrical engineering, 2009, no.1, pp. 5-11.

16. Khramshin, V.R. *Sposoby kompensatsii staticheskikh otkloneniy skorosti elektroprivodov kletey shirokopolosnogo stana goryachey prokatki* [Methods of Static Deflection Compensation for Rolling Stand Electric Drive Speed at Hot Rolling Mill], Electrical engineering, 2013, no. 4, pp. 49-55.

17. Radionov A.A., Karandaev A.S., Evdokimov A.S., Andryushin I.Yu., Gostev A.N., Shubin A.G. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvyazannykh elektromekhanicheskikh sistem nepreryvnoy podgruppy kletey prokatnogo stana. Chast 1. Razrabotka matematicheskoy modeli* [Mathematical Modeling of Interrelated Electromechanical Systems of Continuous Train of Rolling Mill. Part 1. Mathematical Model Development], Bulletin of the South-Ural State University. Power engineering series, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 59-73.

18. Radionov A.A., Karandaev A.S., Evdokimov A.S., Andryushin I.Yu., Gostev A.N., Shubin A.G., Gasiyarov V.R. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvyazannykh elektromekhanicheskikh sistem nepreryvnoy podgruppy kletey prokatnogo stana. Chast 2. Issledovanie dinamicheskikh nagruzok v universalnykh kletyakh* [Mathematical Modeling of Interrelated Electromechanical Systems of Continuous Train of Rolling Mill. Part 2. Investigation of Dynamic Loads in Universal Rolling Stands], Bulletin of the South-Ural State University. Power engineering series, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 67-76.

19. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Galkin V.V., Lukin A.A. *Matematicheskoe modelirovanie tiristorogo elektroprivoda s pereklyuchayuscheysya strukturoy* [Mathematical Modeling of Thyristor Drive with Switching Structure], Proceedings of Universities. Electrical engineering, 2010, no.3, pp. 47-53.

20. Druzhinin N.N. *Nepreryvnye stany kak obyekt avtomatizatsii* [Continuous Rolling Mills as Automation Object]. Moscow: Metallurgy, 197, 336 p.

21. Khramshin V.R. Andryushin I.Yu., Gostev A.N., Karandaev A.S. *Matematicheskaya model vzaimosvyazannykh elektrotekhnicheskikh sistem nepreryvnoy gruppy shirokopolosnogo stana* [Mathematical Model of Interrelated Electrotechnical Systems of Continuous Train of Wide Strip Mill], Machine-building: network electronic scientific journal, 2013, no.1, pp. 12-21.

22. Karandaev A.S., Khramshin V.R., Andryushin I.Yu., Shilyaev P.V., Golovin V.V. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvyazannykh elektromekhanicheskikh sistem mezhkletevogo promezhutka shirokopolosnogo stana goryachey prokatki* [Mathematical Modeling of Interrelated Electromechanical Systems of Interstand Space at Wide Strip Hot Rolling Mill], Proceedings of Universities. Electrical engineering, 2009, no.1, pp. 12-20.

23. Khramshin V.R. *Razrabotka elektrotekhnicheskikh sistem nepreryvnoy gruppy stana goryachey prokatki pri rasshirenii sortamenta polos* [Development of Electrotechnical Systems for Continuous Train of Hot Rolling Mill in the Process of Product Range Extension]: Doctoral thesis in Engineering. Magnitogorsk: «MSTU», 2013. 360 p.

24. Khramshin V.R. *Razrabotka i vnedrenie avtomatizirovannykh elektroprivodov i sistem regulirovaniya tekhnicheskikh parametrov shirokopolosnogo stana goryachey*

prokatki [Development and Implementation of Automated Electric Drives and Technological Parameters Control Systems of Wide Strip Hot Rolling Mills], Bulletin of Ivanovo State Power Engineering University, 2012, no. 6, pp. 100-104.

25. Gostev A.N. *Ogranichenie dinamicheskikh nagruzok elektroprivodov universalnykh kletey nepreryvnoy podgruppy shirokopolosnogo stana goryachei prokatki* [Dynamic Loads Limiting for Electric Drives of Universal Stands of Continuous Train at Wide Strip Hot Rolling Mill]: Ph.D. thesis in Engineering. Magnitogorsk: «MSTU», 2015, 166 p.

26. Andryushin I.Yu., Shubin A.G., Gostev A.N. *Razrabotka matematicheskoy modeli vzaimosvyazannykh elektromekhanicheskikh sistem chernovoy gruppy prokatnogo stana* [Development of Mathematical Model for Interrelated

Electromechanical Systems of Roughing Train of Rolling Mill], Electrotechnical systems and complexes, 2014, no. 3(24), pp. 24-31.

27. Bychkov V.P. *Elektroprivod i avtomatizatsiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Electric Drive and Automation in Metallurgy], Moscow: High School, 1977, 391 p.

28. Andryushin I.Yu., Galkin V.V., Golovin V.V., Karandaev A.S., Radionov A.A., Khramshin V.R. *Avtomaticheskaya korrektsiya skorostey elektroprivodov kletey stana 2000 pri prokatke trubnoy zagotovki* [Automatic Speed Adjustment of Electric Drives of Rolling Stands at Rolling Mill 2000 in the Process of Tube Stock Rolling], Proceedings of Universities. Electrical engineering, 2011, no. 4, pp. 31-35.

Информация о других журналах издательства

Журнал «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах» основан в 2011 году на базе сборников, которые издавались в период работы кафедры вычислительной техники и прикладной математики (с 2013 кафедры вычислительной техники и программирования): 2003 и 2004 годах – сборник трудов «Новые программные средства для предприятий Урала», в 2005 и 2007 годах – «Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации»; в 2006 – «Разработка новых программных средств для предприятий Урала».

Журнал публикует научные работы по следующим рубрикам: технические средства обеспечения информационных процессов; обыкновенные дифференциальные уравнения и дифференциальные уравнения с частными производными; математические модели естественных и технических наук; уравнения математической физики; теория систем автоматического управления; теория моделирования; теория информации; искусственный интеллект; системный анализ; общие вопросы автоматизации и вычислительной техники; теория автоматического управления; теоретические основы программирования; вычислительные сети; программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей; системы автоматического управления, регулирования и контроля; автоматизированные системы управления технологическими процессами; автоматизация проектирования; автоматизация научных исследований; педагогика и методика подготовки кадров высшей квалификации в области математики, программирования, разработки автоматизированных систем и информационных технологий.

Электронная версия журнала доступна:

- на информационном портале ФГБОУ ВПО «МГТУ» www.mgtu.ru (раздел «Журнал «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах»);
- на платформе eLIBRARY.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе рассматриваются вопросы оптимизации эксплуатационных режимов системы электроснабжения с газотурбинными установками в условиях действующего промышленного предприятия. Оптимизация режимов осуществляется с использованием оригинального программного обеспечения «КАТРАН», позволяющего определять оптимальные загрузки источников электроэнергии методом динамического программирования в сочетании с модифицированным методом последовательного эквивалентирования, учитывая при этом потери мощности в распределительных электрических сетях предприятия, характеристики используемого топлива, места установок источников, особенности тепловых схем электростанций. Результаты работы предназначены для использования в диспетчерских службах промышленных предприятий. Внедрение результатов работы позволит определить экономически целесообразные загрузки источников электрической энергии в нормальных и ремонтных эксплуатационных режимах и тем самым снизить долю энергозатрат в себестоимости готовой продукции.

Ключевые слова: газотурбинная установка, оптимальный эксплуатационный режим, электростанция, промышленное предприятие, система электроснабжения, себестоимость пара, выработка электроэнергии, источник распределенной генерации.

ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные предприятия ввиду постоянно растущих тарифов на электроэнергию характеризуются значительным ростом мощностей, выдаваемых собственными источниками электроэнергии. Кроме того, в настоящее время наблюдается тенденция увеличения выработки мощности за счет строительства источников распределенной генерации, которые обладают следующими принципиально важными положительными особенностями: сравнительно небольшие сроки ввода установок в эксплуатацию, малые габариты, возможность работы на вторичных энергоресурсах. В результате чего встает вопрос о планировании оптимальных эксплуатационных режимов таких электроустановок в условиях системы электроснабжения действующего промышленного предприятия.

Оптимизацией режимов электроэнергетических систем и систем электроснабжения занимаются ученые всего мира довольно давно [1, 2]. Существует множество подходов к решению данной задачи. В работе Бартоломея П.И., Грудина Н.И. [3] оптимизация режимов энергосистем осуществляется методами сепарабельного и аппроксимирующего программирования, что позволяет решать задачу методами линейного программирования. В статье [4] этот вопрос решают применением эволюционно-локального алгоритма ройной оптимизации. Однако предложенные подходы сложно адаптировать к условиям промышленных систем электроснабжения. Так, при разработке алгоритмов оптимизации их режимов первое, с чем столкнется разработчик, – это многокритериальность целевой функции и большое число ограничений в форме равенств и неравенств.

Одним из способов устранения данной проблемы является применение метода динамического программирования, адаптированного к оптимизации режимов промышленных систем электроснабжения с собственными источниками электроэнергии [5, 6]. Такой подход позволяет задавать многокритериальную целевую функцию, имеющую точки недифференцируемости и

разрывы, задавать большое число ограничений в виде неравенств и равенств [7]. Важным условием проверки для генераторов любой мощности, работающих в сложной системе электроснабжения, является учет статической [8] и динамической устойчивости [9].

Описанный подход оптимизации реализован в оригинальном программном обеспечении «Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН» [10], разработанном на кафедре электроснабжения промышленного предприятия ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова». Модуль «Оптимизация по активной мощности» позволяет осуществлять оптимизацию эксплуатационных режимов промышленных систем электроснабжения как с мощными тепловыми электростанциями, так и с источниками распределенной генерации. Алгоритм более подробно описан в работах [5, 11].

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

При оптимизации режимов систем электроснабжения действующих промышленных предприятий важным фактором является характеристика самого объекта. Исследование режимов осуществлялось в условиях Магнитогорского энергетического узла, который получает питание от трех крупных источников: Троицкая ГРЭС, Ириклинская ГРЭС и п/ст Бекетово и характеризуется:

- наличием трех крупных электростанций суммарной мощностью более 600 МВт: ТЭЦ (330 МВт, 6 турбогенераторов и 8 паровых котлов), центральная электростанция - ЦЭС (191 МВт, 9 турбогенераторов и 8 котлов), паровоздуховная электростанция ПВЭС-1, 2 (102 МВт, 6 турбогенераторов, 7 котлов и 9 турбовоздуховок);
- наличием источников малой генерации суммарной мощностью до 13,6 МВт;
- неблочностью тепловых схем электростанций;
- использованием в качестве первичного энергоносителя смесей из: природного газа и угля; природного и доменного газов; природного, доменного и коксового газов;

- сложной конфигурацией электрических сетей;
- наличием сетей от 0,4 до 220 кВ.

Важным этапом подготовки к расчетам является построение технико-экономических моделей источников, учитывающих все перечисленные особенности промышленной системы электроснабжения. Описание построения моделей приведено в [11, 12]. В соответствии с перспективным планом развития Магнитогорского энергетического узла планируется ввод газотурбинных установок в районе ЛПЦ-4 (2 установки по 6 МВт), ЛПЦ-3 (две установки 12 и 25 МВт) и ГОП (две установки 12 и 25 МВт).

Технико-экономические модели газотурбинных установок строились на основе их расходных характеристик. В работе, согласно перспективному плану реконструкции Магнитогорского энергетического узла, рассматривались установки фирмы Siemens типа: SGT – 200 – 1S мощностью 6,75 МВт SGT – 400 – 12,90 МВт и SGT – 600 – 24,77 МВт, расходные характеристики

которых приведены на **рис. 1, а, б и в** соответственно.

На основании полученных моделей была осуществлена оптимизация режимов системы электроснабжения Магнитогорского энергетического узла для существующей схемы и схемы в соответствии с перспективным планом развития. Получены зависимости мощности на клеммах генераторов и суммарные затраты на прием, передачу и генерацию электроэнергии при различных условиях связи с энергосистемой. Результаты оптимизации работы источников распределенной генерации в условиях системы электроснабжения ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» приведены на **рис. 2**. Зависимости величин суммарных затрат на покупаемую и вырабатываемую мощность от мощности, принимаемой из энергосистемы для существующей схемы и схемы в соответствии с перспективным планом развития энергоузла, приведены на **рис. 3**.

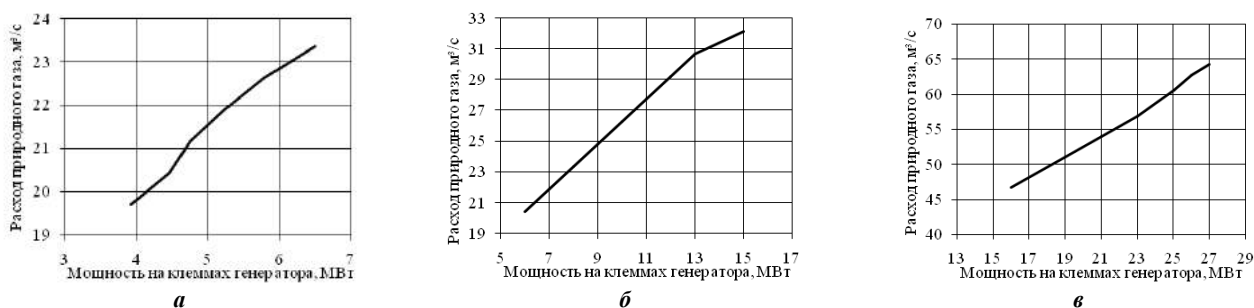


Рис. 1. Расходные характеристики газотурбинных установок фирмы Siemens: а - SGT – 200; б - SGT – 400; в - SGT – 600

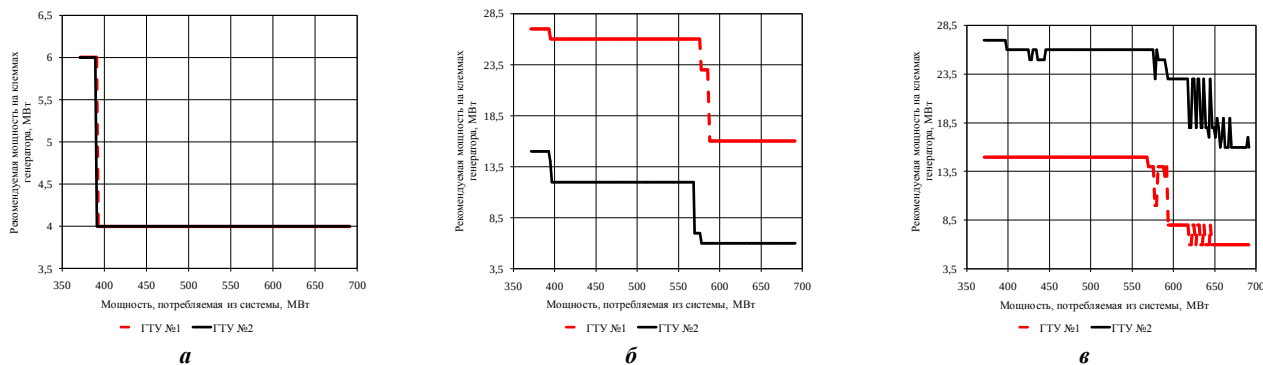


Рис. 2. Зависимости рекомендуемых мощностей генераторов, установленных в районе ЛПЦ-4 (а), ГОП (б), ЛПЦ-3 (в), от мощности из системы участков

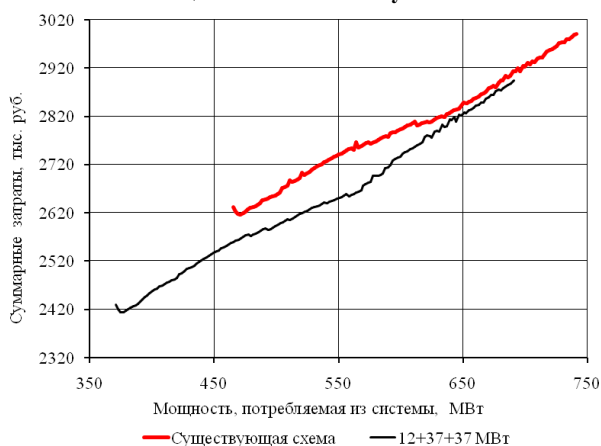


Рис. 3. Зависимость суммарных затрат от мощности, потребляемой из энергосистемы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны технико-экономические модели газотурбинных установок (см. **рис. 1**), позволяющие задавать источники распределенной генерации для алгоритма оптимизации с использованием модифицированных методов динамического программирования и последовательного эквивалентирования;

2. Полученные зависимости мощностей генераторов от мощности из энергосистемы (см. **рис. 2**) позволяют прогнозировать оптимальную загрузку генераторов при изменении балансовых условий;

3. Результаты работы подтверждают экономическую обоснованность введения дополнительных собственных источников с целью снижения приема мощности, потребляемой из энергосистемы. Согласно **рис. 3** суммарные затраты при введении пяти дополнительных генераторов сокращаются примерно на 5%, что соответствует экономии десятков миллионов рублей в год на электроэнергию;

4. Разработанный программный продукт предназначен для использования в диспетчерских службах крупных промышленных предприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № НК 14-07-00200\14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Methods for Optimization of Power-System Operation Modes / N.A. Belyaev, N.V. Korovkin, O.V. Frolov, V.S. Chudnyi // Russian Electrical Engineering, 2013, no 2, pp. 74-80.
2. Frauendorfer K., Glavitsch H., Bacher R., Optimization in Planning and Operation of Electric Power Systems, Lecture Notes of the SVOR/ASRO Tutorial Thun, Switzerland, 1992. 365 p.
3. Бартоломей П.И., Грудинин Н.И. Оптимизация режимов энергосистем методами аппроксимирующего и сепарабельного программирования // Известия Академии наук. Энергетика, 1993. №1. С. 72-77.
4. Abou El Ela A.A., Abido M.A., Spea S.R., Optimal Power Flow Using Differential Evolution Algorithm, Electrical

Engineering, 2009, no 91, pp. 69-78.

5. Малафеев А.В., Хламова А.В., Игуменцев В.А. Алгоритм оптимизации распределения активной мощности между электростанциями промышленного предприятия и узлами связи с энергосистемой с учетом потерь в распределительной сети // Промышленная энергетика, 2011. №9. С. 16-21.

6. Хламова А.В., Малафеев А.В., Копцев Л.А. Анализ оптимальных режимов работы турбогенераторов собственных электростанций ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Изв. вузов. Электромеханика, 2011. №4. С. 111-114.

7. Кочкина А.В. Применение метода динамического программирования для решения задач оптимального распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками собственных электростанций предприятий черной металлургии // Наука и производство Урала. 2012. № 8. С. 204-209.

8. Анализ статической устойчивости синхронных генераторов / А.В. Малафеев, О.В. Газизова, Е.А. Гринчак, А.В. Кочкина // Главный энергетик. 2013. №7. С. 17 – 25.

9. Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2008. № 17 (117). С. 72-74.

10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ «Программа для ЭВМ «Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 7.0» RU 2013616847 / В.А. Игуменцев., А.В. Малафеев, О.В. Газизова, Ю.Н. Кондрашова, А.В. Кочкина, Е.А. Панова. №2013616847, Бюл. № 3.

11. Оптимизация установившихся режимов промышленных систем электроснабжения с разнородными генерирующими источниками при решении задач среднесрочного планирования / А.В. Малафеев, А.В. Кочкина, В.А. Игуменцев, Д.Е. Варганов, А.Д. Ковалев Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 112 с.

12. Малафеев А.В., Хламова А.В., Краснов М.И. Оптимизация загрузки генераторов собственных электростанций ОАО «ММК» с учетом потерь активной мощности в распределительной сети путем декомпозиции общей задачи // Главный энергетик. 2011. №3. С. 54 – 57.

INFORMATION IN ENGLISH

OPERATING CONDITION OPTIMIZATION OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES IN TERMS OF INDUSTRIAL ELECTRIC POWER SYSTEMS

Varganov D.E.

The article considers the issues of optimization of industrial power-supply system conditions with turbo-power units using original software “KATRAN”, which provides optimal values of generators power. The algorithm is based on the method of dynamical programming and takes into account active power losses in the distribution electrical network, heterogeneity of the used fuel, characteristic properties of the thermal station. The results of the research work are intended for dispatcher services of industrial enterprises. Practical implementation of the results will make it possible to calculate optimal power load of generators at the normal and maintenance conditions, thus reducing the share of energy consumption in the product prime cost.

Keywords: gas turbine plant, optimal power –supply conditions, power station, industrial plant, power-supply system,

steam cost, power generation, distributed generation source.

REFERENCES

1. Belyaev N.A., Korovkin N.V., Frolov O.V., Chudnyi V.S. Methods for Optimization of Power-System Operation Modes, Russian Electrical Engineering, 2013, no 2, pp. 74-80.
2. Frauendorfer K., Glavitsch H., Bacher R., Optimization in Planning and Operation of Electric Power Systems, Lecture Notes of the SVOR/ASRO Tutorial Thun, Switzerland, 1992. 365 p.
3. Bartolomej P.I., Grudinin N.I. Optimizatsiya rezhimov energosistem metodami approksimiruyushchego i separabelnogo programirovaniya [Optimization of Power System Conditions Using Approximation and Separable Programming Methods], Izv. Ak. Nauk. energetika, 1993, no 1, pp. 72-77.
4. Abou El Ela A.A., Abido M.A., Spea S.R., Optimal

Power Flow Using Differential Evolution Algorithm, Electrical Engineering, 2009, no 91, pp. 69-78.

5. Malafeev A.V., Khlamova A.V., Igumenshev V.A. *Algoritm optimizatsii raspredeleniya aktivnoy moshnosti mezhdu elektrostantsiyami promyshlennogo predpriyatiya i uzlami svyazi s energosistemoy s uchetom poter v raspredelitel'noy seti* [Optimal Algorithm of Power Distribution between Power Station of Industrial Plant and Power Systems Centers Taking into Account Power Losses], Industrial Power Engineering, 2011, no 9, pp. 16-21.

6. Malafeev A.V., Khlamova A.V., Koptsev L.A. *Analiz optimalnykh rezhimov raboty tyrbogeneratorov sobstvennykh elektrostantsiy oao "magnitogorskiy metallurgicheskiy kombinat"* [Optimal Conditions Analysis of Own Power Station Turbo - Generators of OJSC "MMK"], Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Elektromekhanika, 2011, no 4, pp. 111-114.

7. Kochkina A.V. *Primenenie metoda dinamicheskogo programirovaniya dlya resheniya zadach optimalnogo raspregeleniya aktivnykh moshnostey mekhdu raznorodnymi generiruyuschimi istochnikami sobstvennykh elektrostantsiy predpriyatiy chernoy metallurgii* [Application of Dynamic Programming for Solving Optimum Distribution of Active Power Between Heterogeneous Power Generation Sources of Ferrous Metallurgy Plants], Science and Production of the Ural, 2012, no 8, pp. 204-209.

8. Malafeev A.V., Gazizova O.V., Kochkina A.V., Grinchak E.A. *Analiz staticheskoy ustoychivosti sinkhronnykh generatorov* [Analysis of Static Stability of Synchronous Generators], Glavnyy Energetik, 2013, no 7, pp. 17 – 25.

9. Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Yu.N. *Issledovanie dinamicheskoy ustoychivosti sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy s sobstvennymi elektrostantsiyami pri otdelenii ot energosistemy v rezultate korotkogo замыкания* [Research of Dynamical Stability of Industrial Power Systems with Own Power Stations at Separation From the Electric System in the Result of Short-Circuit Failure], Bulletin of the South Ural State University, 2008, no 17(117), pp. 72-74.

10. Igumenshev V.A., Malafeev A.V., Gazizova O.V., Kondrashova Yu.N., Kochkina A.V., Panova E.A. *State Registration Certificate of Software Application "Software Application "KATRA 7.0" RU 2013616847, no.2013616847, Bul. no 3.*

11. Malafeev A.V., Kochkina A.V., Igumenshev V.A., Varganov D.E., Kovalev A.D. *Optimizatsiya ustanovivshikhsya rezhimov promyshlennykh sistem elektrosnabzheniya s raznorodnymi generiruyuschimi istochnikami pri reshenii zadach srednesrochnogo planirovaniya nirovaniya* [Optimization of Steady- State of Power System With Diverse Generating Sources for Task Intermediate-Term Planning], Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, 112 p.

12. Malafeev A.V., Khlamova A.V., Krasnov M.I. *Optimizatsiya zagruzki generatorov sobstvennykh elektrostantsiy oao "mmk" s uchetom poter aktivnoy moshnosti v raspredelitel'noy seti putem dekompozitsii obschey zadachi* [Generator Optimal Loading of JSC "MMK" Power Station using Decomposition of General Problem Taking into Account Real-Power Losses of Power Network], Glavnyy Energetik, 2011, no 3, pp. 54 – 57.

УДК 658.26:519.85

Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Агапитов А.Е., Каблукова М.С.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ GRID-СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работе проводится анализ эффективности работы электрических станций на металлургических предприятиях в различные периоды – в летнее и зимнее время года. Выявлена зависимость удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию от различных факторов. Приведена методика расчета прогнозной себестоимости электроэнергии в выбранный период времени. Проведенный анализ показал, что внедрение Grid-технологий на электростанциях позволит оперативно производить расчеты, необходимые для прогнозирования оптимального использования топлив, что обеспечит минимизацию стоимости производимой электроэнергии.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, электростанции, Grid-технология, эффективность использования электроэнергии, анализ данных.

ВВЕДЕНИЕ

Современные металлургические предприятия построены на основе многостадийной организации, которые распределены в пространстве. Стадии производства охватывают внутренние структуры и внешние, обеспечивающие основное производство материальными и энергетическими ресурсами. Принятие решения для многостадийной структуры металлургического предприятия требует использования новых технологий, которые построены на теории нечетких множеств [1], нейросетевых технологий и др.

В последние 10 лет активно развивается и применяется новая Grid-технология для построения единой

инфраструктуры предприятия. Grid-технологии позволяют создавать географически распределенные вычислительные инфраструктуры, которые объединяют разнородные ресурсы и реализуют возможность коллективного доступа к этим ресурсам. Информационные службы энергосистем металлургических предприятий, обладающих электрическими станциями, активно внедряют Grid-технологии.

Принципиальной новизной Grid-технологий является объединение ресурсов путем создания компьютерной инфраструктуры нового типа, обеспечивающей глобальную интеграцию информационных и вычислительных ресурсов на основе сетевых технологий и специального программного обеспечения промежуточного уровня (middleware), а также набора стандартизованных сервисов (служб) для обеспечения надежного совместного доступа к географически распределенным

© Агапитов Е.Б., Михайловский В.Н., Агапитов А.Е., Каблукова М.С.

информационным и вычислительным ресурсам: отдельным компьютерам, кластерам, хранилищам информации и сетям.

Пользователь Grid-инфраструктуры работает с одним большим «виртуальным компьютером». С помощью Grid-технологий оптимизируется использование вычислительных и информационных ресурсов предприятия, появляется возможность объединять их для выполнения больших рабочих нагрузок и совместно эксплуатировать в пределах сетевых инфраструктур.

Системы Grid проникают в промышленность и бизнес, крупные предприятия создают их для решения собственных производственных задач. В работе [2] отмечается, что Grid претендует на роль универсальной инфраструктуры для обработки данных, в которой функционирует множество служб (GridServices), не только решающих конкретные прикладные задачи, но и предлагающих определенные услуги: поиск необходимых ресурсов, сбор информации о состоянии ресурсов, хранение и доставка данных [3].

Одним из самых распространенных типов электростанций металлургических предприятий являются тепловые электростанции (ТЭС), которые могут одновременно производить тепловую и электрическую энергию.

До настоящего времени остается актуальной задача оценки эффективности использования электроэнергии на металлургических предприятиях и прогнозирования объемов ее производства и закупа. Для решения

этой задачи разрабатываются простые и сложные программно-аппаратные комплексы. Для организации глобальной системы учета и распределения электроэнергии необходимо первоначально решить ряд локальных задач, в частности – оценки эффективности производства электроэнергии на отдельных станциях [4].

Рассматривалась задача функционирования нескольких электростанций, производящих электрическую и тепловую энергию на территории металлургического предприятия. Особенностью функционирования таких электростанций является возможность использования в качестве топлива вторичных энергоресурсов металлургического предприятия.

МЕТОДИКА

Для каждой электростанции характерны различные режимы работы в летние и зимние периоды времени. Работу станции можно условно поделить на два периода: «летний режим» и «зимний режим». Отличие состоит в том, что в «зимнем режиме» станция продает теплофикационную воду для отопления, летом – не продает. Если в «летнем режиме» происходит выработка теплофикационной воды, то она сбрасывается в водохранилище или в реку.

В **таблице** представлен фрагмент исходных данных, полученных с приборов учета при работе центральной электростанции ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Дата и время	Расход доменного газа, тыс.м ³ /ч	Расход природного газа, тыс.м ³ /ч	Выработка электроэнергии, МВт	Собственные нужды, МВт	Отпуск теплофикационной воды, Гкал/ч	Отпуск пара в сеть, Гкал/ч	Удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, г у.т./кВт·ч
01.01.2015 0:00	515	40,34	192,94	15,52	78,65	0	507,88
01.01.2015 1:00	515,7	39,88	191,91	15,35	78,24	0	504,81
01.01.2015 2:00	517,49	40,16	188,97	15,43	77,88	23,96	493,59
01.01.2015 3:00	516,1	39,84	187,47	15,53	79,23	17,93	499,3
01.01.2015 4:00	515,75	39,96	190,09	15,53	86,97	15,84	488,97
01.01.2015 5:00	514,68	41,13	192,14	15,5	89,33	10,75	493,05
01.01.2015 6:00	512,83	40,56	188,04	15,55	90,12	22,5	483,76
01.01.2015 7:00	504,46	41,03	187,03	15,46	93,76	20,27	480,76
01.01.2015 8:00	505,7	41,66	185,52	15,66	95,53	34,52	478,32
01.01.2015 9:00	470,07	43,17	185,4	15,55	91,19	28,37	471,66

Для аналитической обработки информации использовались следующие технико-экономические показатели: расход природного ($V_{\text{пр}}$) и доменного газов ($V_{\text{дг}}$); расход электроэнергии на собственные нужды электростанции (CH); выработка электроэнергии ($\mathcal{E}$); отпуск тепловой энергии в паре ($V_{\text{пар}}$) и теплофикационной воде ($V_{\text{тфв}}$); коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо (K_1); коэффициент пересчета тепловой энергии в условное топливо (K_2); себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии ($S_{\text{э}}$); стоимость природного ($Pr_{\text{пр}}$) и доменного газов ($Pr_{\text{дг}}$); затраты на сожженное топливо (P).

Можно предположить, что себестоимость 1 кВт·ч – часть всех затрат на сожженное топливо, равное доле выработанной электроэнергии от общего объема выработанной энергии, деленное на объем электроэнергии, направленный на продажу.

$$S_{\text{э}} = \left(P \cdot \frac{\mathcal{E} \cdot K_1}{(\mathcal{E} \cdot K_1 + K_2(V_{\text{пар}} + V_{\text{тфв}}))} \right) / (\mathcal{E} - CH), \quad (1)$$

где $P = V_{\text{дг}} \cdot Pr_{\text{дг}} + V_{\text{пр}} \cdot Pr_{\text{пр}}$.

Таким образом, можно получить массив с данными по себестоимости электроэнергии в каждый час (столбец «С» на рис. 2). Поместив этот массив на отдельную вкладку и построив тренд, а также учитывая коэффициенты сезонности, возможно спрогнозировать себестоимость в ближайший период времени.

Для связи всех данных между собой с помощью одного уравнения в качестве целевой функции принимается величина удельного расхода топлива на отпущенную электрическую энергию ($YPT_{\text{э}}$). Следует отметить, что отпущенная электроэнергия представляет собой разницу между выработанной электроэнергией и расходом электроэнергии на собственные нужды. В свою очередь, под расходом электроэнергии на собственные нужды понимается расход электрической энергии, затраченный на привод сетевых и подпиточных насосов, задействованных в системах теплоснабжения (отпуск теплофикационной воды), а также на привод дутьевых вентиляторов и дымососов для удаления продуктов сгорания топливных газов из рабочего пространства котельных агрегатов электростанции.

Тогда уравнение зависимости удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию от вышеперечисленных параметров будет выглядеть следующим образом:

$$YPT_{\text{э}} = Y + X_1 \cdot V_{\text{пр}} + X_2 \cdot V_{\text{дг}} + X_3 \cdot V_{\text{пар}} + X_4 \cdot V_{\text{тфв}} + X_5 \cdot CH + X_6 \cdot \mathcal{E}, \quad (2)$$

где $YPT_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, г у.т./кВт ч; $V_{\text{пр}}$ – расход природного газа, тыс.м³/ч (при калорийности природного газа ~ 8020 ккал/м³); $V_{\text{дг}}$ – расход доменного газа, тыс.м³/ч (при калорийности доменного газа ~ 866 ккал/м³); CH – расход электроэнергии на собственные нужды электростанции, МВт; $\mathcal{E}$ – выработка электрической энергии, МВт; $V_{\text{пар}}$ – отпуск тепловой энергии в паре во внешние паровые сети, Гкал/ч; $V_{\text{тфв}}$ – отпуск тепло-

вой энергии в теплофикационной воде во внешние сети, Гкал/ч; $Y, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ – корреляционные коэффициенты, которые находятся по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1) \cdot S_x \cdot S_y},$$

где x_i и y_i – значения двух переменных; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – средние значения двух переменных; S_x и S_y – стандартные отклонения двух переменных; n – количество пар значений.

По данным, полученным на реальных приборах учета ОАО «ММК», была составлена программа, которая выполняет ряд функций. Она позволяет посмотреть себестоимость электроэнергии в выбранный час (рис. 1), а также на основе получившегося массива с ежечасными ценами электроэнергии можно посмотреть прогноз себестоимости электроэнергии в выбранный период времени (см. рис. 2).

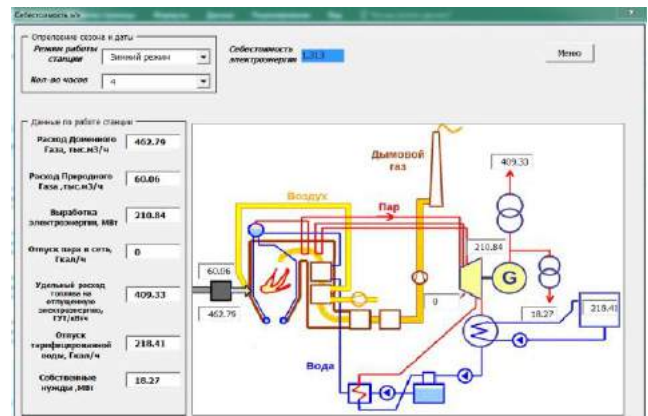


Рис. 1. Форма для расчета себестоимости электроэнергии в выбранный час

Свяжем между собой данные по «зимнему режиму». На рис. 3 показаны результаты расчетов корреляционных коэффициентов в «зимнем режиме» [5].

Тогда уравнение (2) для «зимнего режима» принимает вид

$$YPT_{\text{э}} = 332,76 + 1,98 \cdot V_{\text{пр}} + 2,05 \cdot V_{\text{дг}} - 0,43 \cdot V_{\text{пар}} - 0,74 \cdot V_{\text{тфв}} + 1,234 \cdot CH - 1,13 \cdot \mathcal{E}. \quad (3)$$

Рассчитанный по уравнению (2) показатель удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию сравнивался с фактическим показателем, определенным по показаниям приборов учета расхода ТЭР, установленных на электростанции. Разница между рассчитанным и «измеренным» показателем в среднем не превысила 0,5% (рис. 4).

Для определения влияния параметров работы электростанции на удельный расход топлива были проведены исследования при варьировании потребления топливных газов с использованием уравнения (2).

Предварительно расход топлива пересчитывался в условное топливо через калорийность условного топлива 7000 ккал/м³.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														

Рис. 2. Форма для расчета прогнозной себестоимости электроэнергии в выбранный период времени

Регрессионная статистика														
Множественный	0,814702513													
R-квадрат	0,663740185													
Нормированный	0,661002656													
Стандартная ошибка	7,210562395													
Наблюдения	744													
Дисперсионный анализ														
		df	SS	MS	F	Значимость F								
Регрессия		6	75636,06199	12606,01	242,4595977	1,1489E-170								
Остаток		737	38318,25881	51,99221										
Итого		743	113954,3208											
		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Верхние 95%	Нижние 95%	Верхние 95,0%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение		332,7570224	18,00417391	18,48222	5,89284E-63	297,4114441	368,1026	297,4114	368,1026	297,4114	368,1026	297,4114	368,1026	297,4114
Переменная X 1		1,980129435	0,114955583	17,22517	3,92676E-56	1,754450013	2,205809	1,75445	2,205809	1,75445	2,205809	1,75445	2,205809	1,75445
Переменная X 2		2,050154675	0,142211181	14,41627	1,09386E-41	1,770967389	2,329342	1,770967	2,329342	1,770967	2,329342	1,770967	2,329342	1,770967
Переменная X 3		-0,427791903	0,028528699	-14,9951	1,47148E-44	-0,483799102	-0,37178	-0,4838	-0,37178	-0,4838	-0,37178	-0,4838	-0,37178	-0,4838
Переменная X 4		-0,740908005	0,024430155	-30,3273	9,1493E-132	-0,788861793	-0,69294	-0,78886	-0,69294	-0,78886	-0,69294	-0,78886	-0,69294	-0,78886
Переменная X 5		12,34904647	1,592417078	7,754907	2,94358E-14	9,222832354	15,47526	9,222832	15,47526	9,222832	15,47526	9,222832	15,47526	9,222832
Переменная X 6		-1,130126587	0,061220617	-18,4599	7,81692E-63	-1,250314168	-1,00994	-1,25031	-1,00994	-1,25031	-1,00994	-1,25031	-1,00994	-1,25031

Рис. 3. Форма расчета корреляционных коэффициентов для вкладки «зимний режим»

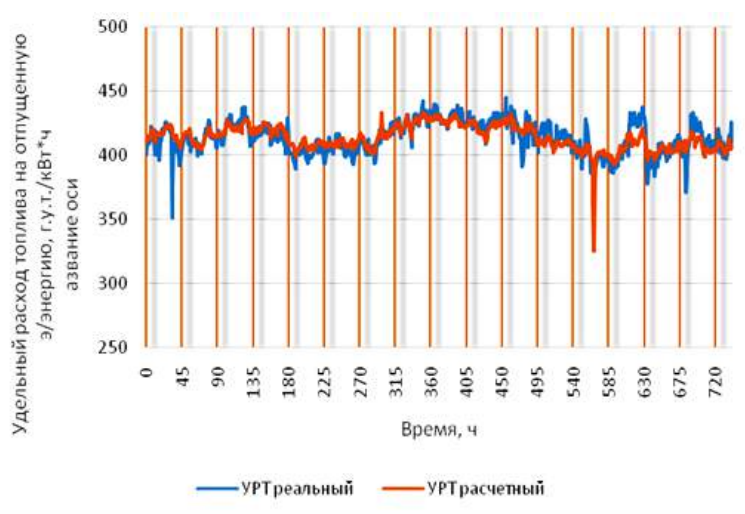


Рис. 4. Сравнительный анализ трендов рассчитанного и «измеренного» удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию

Анализ влияния расхода топлива на ($YPT_{э}$) показывает, что увеличение расхода топлива на электростанции приводит к росту удельного показателя на отпуск электроэнергии, что в целом является очевидным фактором. По степени влияния на величину удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию большее влияние оказывает природный газ. Причем его влияние приблизительно на 30% сильнее влияния изменения потребления доменного газа. Это видно из соотношения коэффициентов: $K=7,128/5,47=1,3$.

Влияние этих факторов очевидно: чем больше отпуск тепловой энергии во внешние энергетические сети (паропроводы и теплопроводы), тем удельный показатель расхода топлива на отпущенную электроэнергию ниже.

По степени влияния величины отпуска пара и теплофикационной воды следует отметить, что отпуск тепла в горячей воде снижает удельный показатель сильнее, чем отпуск тепловой энергии в паре на величину: $K = 0,947 / 0,742 = 1,276$ или на 27,6%.

Таким образом, чем больше собственная генерация, тем меньше удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию.

Отличие «летнего режима» работы станции заключается в том, что выработанная горячая вода не поступает в город и, следовательно, прибыль от продажи этого тепла станция не получает.

По результатам обработки данных было получено уравнение зависимости удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию от вышеперечисленных параметров:

$$YPT_{э} = 433,47 + 3,98 \cdot V_{пг} + 4,57 \cdot V_{дг} - 1,31 \cdot V_{пар} - 0,001 \cdot V_{тфв} + 5,82 \cdot CH - 2,47 \cdot Э. \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что природный газ оказывает меньшее влияние на удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, чем доменный газ. Следовательно, в «летнем режиме» необходимо увеличивать долю потребления природного газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность исследования связана с возможностью получения станцией актуальной информации о параметрах ее работы, что позволит в дальнейшем проводить оптимизационную корректировку.

Внедрение и развитие Grid-технологий позволит оперативно производить вышеперечисленные расчеты для группы станций, визуализировать их, а также строить моментальный прогноз оптимального использования топлив на электростанциях предприятия, обеспечивающий минимизацию стоимости производимой электроэнергии.

Полученные модели позволяют информировать пользователя о себестоимости электроэнергии, а также прогнозной себестоимости. Спроектированная функциональная модель и построенная математическая модель показали свою работоспособность на производственной базе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мацко И.И., Белявский А.Б., Логунова О.С. Система управления в технологической цепочке производства непрерывной заготовки с использованием автоматизированной оценки качества // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2014. №1. С. 55-61.
2. Воронов И.В., Политов Е.А. Повышение эффективности эксплуатации систем электроснабжения предприятия путем комплексного использования Smart Grid и нейронных сетей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. №2. С. 63-66.
3. Агапитов А.Е., Логунова О.С. Влияние цены природного газа на себестоимость электроэнергии электростанций металлургических предприятий, // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы 16-й Всерос. науч.-практ. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. С. 62-66.
4. Общая энергетика: учеб. пособие. Е.Б. Агапитов, Ю.И. Тартаковский, Г.Н. Матвеева, Т.П. Семенова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013.
5. Теория и практика обработки экспериментальных данных на ЭВМ: учеб. пособие. О.С. Логунова, Е.А. Ильина, Ю.Б. Кухта, Л.Г. Егорова, Д.В. Чистяков. 2-е изд., перераб. и доп. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015.

INFORMATION IN ENGLISH

MATHEMATICAL SOFTWARE OF GRID MODULE EFFICIENCY EVALUATION SYSTEM FOR POWER STATIONS AT METALLURGICAL ENTERPRISE

Agapitov E.B., Mikhailovskiy V.N., Agapitov A.E., Kablukova M.S.

The paper analyzes the efficiency of electric power stations at metallurgical enterprises in different periods - in summer and winter. The research group found that the influence of specific fuel consumption on electricity supplied is determined by a variety of factors. The methodology for calculation of the expected cost of electricity in the selected time period is given. The analysis showed that the introduction of Grid-technologies at electric power stations will allow us to make the calculations necessary to predict the optimal use of fuels that will minimize the cost of the electricity produced.

Keywords: gas energy resources, electric power stations, Grid-technology, energy efficiency, data analysis.

REFERENCES

1. Matsko I.I., Belyavskiy A.B., Logunova O.S. Sistema upravleniya v tehnologicheskoy tsepoche proizvodstva neprerivnolitoi zagotovki s ispolzovaniem avtomatizirovannoy otsenki kachestva [Control System in Processing Chain of Production Continuous Casting with the Use of Automated Quality Assessment]. *Matematicheskoe i programmnnoe obespechenie sistem v promishlennoy i socialnoy sferah* [Mathematical and software systems in industrial and social spheres]. 2014, no 1, pp. 55-61.
2. Voronov I.V., Politov E.A. Povisheniye effektivnosti ekspluatatsii sistem elektrosnabgeniya predpriyatiya putem kompleksnogo ispolzovaniya Smart Grid i neironnih setey [Im-

proving Efficiency of Operation of Power Companies through Integrated Use of Smart Grid and Neural Networks]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2012, no 2, pp. 63-66.

3. Agapitov A.E., Logunova O.S. *Vliyaniye tseny prirodnogo gaza na sebestoimost elektroenergii elektrostanciy metallurgicheskikh predpriyatiy* [Impact of Natural Gas Prices on the Cost of Electricity for Power Steel Plants, Power Engineering and Metallurgy]. *Energetika i metallurgy nastoyashemu i budushemu Rossii: Materialy 16-oy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Energy and Metallurgy Present and Future of Russia: Proceedings of the 16th All-Russia scientific

and practical Conf.]. Magnitogorsk: Publishing center of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2015, pp. 62-66.

4. Agapitov E.B., Tartakovskiy Y.I., Matveeva G.N., Semenova T.P. *Obshaya Energetika* [Power Engineering]. *Uchebnoye posobie* [Textbook]. Magnitogorsk: Publishing center of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013.

5. Logunova O.S., Ilyina E.A., Kuhta Y.B., Egorova L.G., Chistyakov D.V. *Teoriya i praktika obrabotki eksperimentalnykh dannykh na EVM* [Theory and Practice of Experimental Data on Computer]. *Uchebnoye posobie* [Textbook]. Magnitogorsk: Publishing of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2015.

Информация о других журналах издательства

«Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова» – научный рецензируемый журнал, в котором публикуются результаты прогрессивных научных и проектных работ известных ученых, промышленников, молодых ученых России и зарубежья по широкому спектру исследований в области металлургии, машиностроения, металлообработки и в смежных отраслях. Тематика публикаций охватывает весь комплекс актуальных вопросов от разработки полезных ископаемых, получения чугуна, стали и проката до производства продукции с глубокой степенью переработки для различных отраслей экономики. Большое внимание в журнале уделяется современным тенденциям развития сырьевой базы, энергосбережения, автоматизации, экономики и экологии, стандартизации и управления качеством продукции, подготовки и обучения кадров в области металлургии, машиностроения и металлообработки.

Издается с 2003 г.

Журнал с 2007 года включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, а также в Базы данных ВИНТИ и РИНЦ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

В редакционный совет журнала входят авторитетные ученые из России, Японии, Индии, Италии, Польши, Южно-Африканской Республики, Казахстана.

Электронная версия журнала доступна:

- на информационном портале ФГБОУ ВПО «МГТУ» www.magtu.ru (раздел «Журнал Вестник МГТУ»);
- на сайте журнала www.vestnik.magtu.ru;
- на платформе eLIBRARY.

МОНИТОРИНГ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

УДК 519.6

Хисаметдинов Ф.З.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА ВБЛИЗИ КАТОДНОЙ СТАНЦИИ

Одним из наиболее актуальных направлений в продлении сроков эксплуатации подземных трубопроводов является применение катодной защиты (КЗ). Принцип действия КЗ заключается в смещении потенциала металла защищаемого сооружения в отрицательную сторону относительно потенциала окружающей среды. В процессе эксплуатации трубопровода происходят необратимые изменения свойств изоляции трубы, что оказывает влияние на эффективность КЗ. В связи с этим информация о текущем состоянии изоляции является необходимым фактором функционирования КЗ. На практике применяются технологии контрольных замеров электрических параметров КЗ. Полученные данные нуждаются в адекватной интерпретации для оценки текущего состояния изоляции на конкретном участке трубопровода. В данной работе для решения указанной проблемы применяются методы компьютерного моделирования. Анализ численных результатов позволяет сделать выводы о возможности применения данного подхода для решения задач, связанных с интерпретацией данных контрольных измерений для КЗ подземных трубопроводов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, электрическое поле, катодная защита, интерпретация результатов измерений, метод фиктивных источников, подземный трубопровод.

ВВЕДЕНИЕ

Катодная защита (КЗ) является эффективным способом борьбы с коррозией подземных трубопроводов. Основной принцип действия КЗ заключается в смещении электрического потенциала металла трубы в отрицательную сторону относительно потенциала окружающей среды. Технически работа КЗ обеспечивается с использованием системы станций КЗ (катодных станций), размещенных вдоль трубопровода (рис. 1). Защищаемая труба выступает в роли катода, анодом является специальный заглубленный в землю электрод, расположенный на некотором расстоянии от трубы, проводящей средой выступает грунт [2].

При выборе режимов эксплуатации КЗ необходима актуальная информация о состоянии изоляции трубы на каждом участке трубопровода. Одним из способов получения этой информации является компьютерное моделирование параметров КЗ на основе результатов измерений защитного потенциала [3]. При этом возникает задача подготовки корректных входных данных для компьютерной модели.

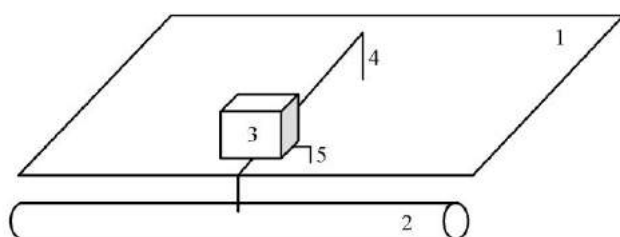


Рис. 1. Схема катодной защиты (1 - поверхность земли, 2 - трубопровод, 3 - катодная станция, 4 - заглубленный анод, 5 - защитное заземление)

При плановом обслуживании систем КЗ проводятся замеры защитного потенциала в фиксированных точках с постоянным шагом вдоль трубопровода. Результаты замера используют для получения усредненных значений защитного потенциала по каждому участку трубопровода между последовательными точками

замера. При этом можно наблюдать локальное падение защитного потенциала в точке замера, ближайшей к катодной станции. Данный эффект наблюдается как на трубопроводах, имеющих длительный срок эксплуатации (20-30 лет), так и на относительно новых участках (2-3 года). Причиной этого может являться утечка тока через защитные заземлители, соединительный кабель катодной станции и т.п. Ток утечки не проходит через границу «грунт-труба», вследствие чего несколько снижается потенциал грунта на этом участке и соответственно защитный потенциал. Возникающий при этом характер распределения защитного потенциала вблизи катодной станции не позволяет получить его корректное усредненное значение только на основе результатов измерений (рис. 2).

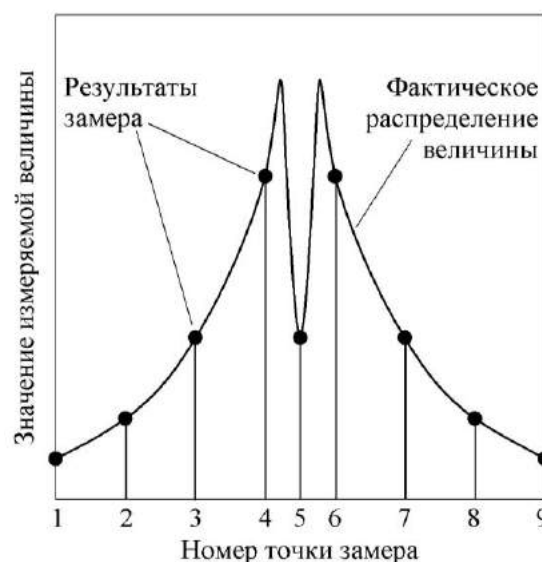


Рис. 2. Особенности проведения измерений

В настоящей работе предлагается подход, позволяющий на основе компьютерного моделирования распределения защитного потенциала получить его корректное среднее значение на участке трубопровода при наличии утечки тока.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ
И ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассматривается задача расчета параметров электрического поля, создаваемого точечным анодом и протяженным цилиндрическим катодом (трубой). Центральная ось трубы на рассматриваемом участке совпадает с координатной осью Ox и соответствует отрезку $0 \leq x \leq L$. Поверхность земли соответствует плоскости $z = H_t$. Анод расположен под землей перпендикулярно поверхности и его центр находится в точке p_0 .

Для электрического поля, создаваемого точечным источником тока интенсивности I_0 , расположенным в точке p_0 , при наличии стока интенсивности I_z , расположенного в точке p_z , распределение потенциала $u = u(p)$ будет удовлетворять уравнению Пуассона [4]

$$\operatorname{div}(\sigma(p) \operatorname{grad} u(p)) = I_0 \cdot \delta(p - p_0) - I_z \cdot \delta(p - p_z), \quad (1)$$

где $\sigma(p)$ – удельная электропроводность среды; $\delta(p)$ – дельта-функция.

На границе S_{gt} «грунт-труба» поставим условие 3 рода

$$\left(u - C_t \sigma \frac{\partial u}{\partial n} \right) \Big|_{S_{gt}} = u_t, \quad (2)$$

где $c_t = c_t(x)$ – удельное сопротивление изоляции трубы ($\text{Ом} \cdot \text{м}^2$); u_t – потенциал металла трубы.

Учитывая, что длина трубы значительно превышает ее диаметр, можно считать потенциал металла трубы постоянным в нормальном сечении и зависящим только от продольной координаты x , т.е. $u_t = u_t(x)$.

На границе поверхности земли поставим условие 2 рода

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{z=H_t} = 0. \quad (3)$$

В сечении трубы в точке $x = x_0$ подключения к ней катодной станции поставим условие

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_0-0} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_0+0} = \frac{I_0 - I_z}{\sigma_{mt} S_{ms}}, \quad (4)$$

где σ_{mt} – удельная электропроводность металла трубы; S_{ms} – площадь «металлического» сечения трубы.

Для потенциалов металла трубы и грунта на границе «грунт-труба» на левой и правой границах рассматриваемого участка, а также в точке $x = x_0$ поставим условия

$$(u - u_t) \Big|_{x=0} = u_{pr,l}; \quad (5)$$

$$(u - u_t) \Big|_{x=L} = u_{pr,r}; \quad (6)$$

$$(u - u_t) \Big|_{x=x_0} = u_{pr,ks}, \quad (7)$$

где $u_{pr,l}$, $u_{pr,r}$, $u_{pr,ks}$ – заданные значения защитного потенциала.

ПОСТРОЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ

Для численного исследования рассматриваемой задачи будем использовать подход, основанный на методе фиктивных источников [5-7]. Разобьем участок трубопровода $0 \leq x \leq L$ на M равных фрагментов, каждый из которых отождествим с фиктивным источником. Будем считать, что для фиктивного источника $i = 1..M$ рассматриваемые электрические параметры постоянны и равны некоторому среднему для соответствующего фрагмента трубы значению:

$U_{tm,i}$ – потенциал металла трубы;

$U_{tg,i}$ – потенциал на границе «грунт-труба»;

$I_{tg,i}$ – ток через боковую поверхность трубы;

$I_{tx,i}$ – продольный ток в металле трубы между соседними фиктивными источниками;

$U_{pr,i}$ – защитный потенциал;

I_l , I_r – продольные токи в металле трубы, проходящие через левую и правую границы участка;

I_z – ток утечки через защитные заземления катодной станции.

С учетом постановки нашей задачи защитные потенциалы $U_{pr,1}$, $U_{pr,M}$, $U_{pr,ks}$ заданы.

Для каждого фиктивного источника можно записать первый закон Кирхгофа:

$$I_{tg,1} + I_l - I_{tx,1} = 0; \quad (8)$$

$$I_{tg,i} + I_{tx,i-1} - I_{tx,i} = 0, i = 2..(M-1), i \neq i_{ks}; \quad (9)$$

$$I_{tg,M} + I_{tx,M-1} - I_r = 0; \quad (10)$$

$$I_{tg,i_{ks}} + I_{tx,i_{ks}-1} - I_{tx,i_{ks}} = I_0 - I_z, \quad (11)$$

где i_{ks} – номер фрагмента трубы, подключенного к катодной станции.

Для тока, текущего вдоль трубы, запишем дискретные аналоги закона Ома между всеми парами соседних фиктивных источников

$$U_{tm,i+1} - U_{tm,i} = -R_m I_{tx,i}, i = 1..(M-1), \quad (12)$$

где $R_m = \rho_t(l_t / S_{ms})$ – продольное электрическое сопротивление металла трубы между соседними фиктивными источниками; ρ_t – удельное сопротивление металла трубы; l_t – длина фрагмента трубы, соответствующего одному фиктивному источнику.

Потенциал на границе «грунт-труба» для каждого фиктивного источника можно выразить в виде [7]

$$4\pi\sigma U_{tg,i} = \frac{I_0}{R(p_{t,i}, p_0)} - \frac{I_z}{R(p_{t,i}, p_z)} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M \frac{I_{tg,j}}{R(p_{t,i}, p_{t,j})} - I_{tg,i} \frac{2}{l_t} \ln \frac{\sqrt{r_t^2 + \frac{l_t^2}{4}} + \frac{l_t}{2}}{r_t}, \quad (13)$$

где $p_{t,i}$ – центр фиктивного источника с номером $i = 1..M$; $R(p, q)$ – расстояние между точками p, q ; r_t – внешний радиус трубы.

Соотношения (11) обусловлены принципом элек-

тростатической аналогии, последнее слагаемое необходимо для выражения потенциала цилиндрического электрода [8,9]. Также в (11) дополнительно будем учитывать эффект «зеркальных отражений» [8], возникающий из-за влияния условия (3).

Дискретные аналоги выражения (2) запишем в виде

$$U_{tg,i} - c_{t,i} \frac{I_{tg,i}}{S_t} = U_{tm,i}, i = 1..M, \quad (14)$$

где $c_{t,i}$ – среднее значение удельного сопротивления изоляции; S_t – площадь внешней поверхности фрагмента трубы.

Выражение для защитного потенциала будет иметь вид

$$U_{tg,i} - U_{tm,i} = U_{pr,i}, i = 1..M. \quad (15)$$

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Система (8)-(15) позволяет при заданном защитном потенциале в отдельных точках моделировать его распределение и получить усреднение по всему участку. Кроме того, может быть найден ток утечки I_z , измерение которого на практике представляет определенные трудности, и который необходим для адекватной интерпретации результатов измерений защитного потенциала [3,10].

На основе предложенного подхода была разработана программа и проведены вычислительные эксперименты с использованием данных контрольных измерений для участков реального трубопровода вблизи станций катодной защиты (СКЗ) (табл. 1,2).

Таблица 1

Основные параметры	
Параметр	Значение
Длина защищаемого участка трубы, м	1000
Координата точки х подключения СКЗ к трубе, м	500
Расстояние от трубы до заземлителей СКЗ, м	20
Расстояние от анода до трубы, м	200
Глубина до центра анода, м	2,5
Внешний диаметр трубы, м	0.557
Толщина стенки трубы, мм	8
Глубина залегания трубы, м	1,5
Удельная электропроводность металла трубы, (Ом·м) ⁻¹	2,45e-7
Количество фрагментов для трубы	101
Удельное электрическое сопротивление изоляции трубы, Ом/м ²	3000
Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м	60

В результате экспериментов получено распределение защитного потенциала (рис. 3) на участке, найден усредненный защитный потенциал и ток утечки I_z (см. табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные и результаты моделирования

Параметр	СКЗ-1	СКЗ-2
Ток катодной станции I_0 , А	6,08	7,76
Защитный потенциал $U_{pr,1}$ на левой границе, В	0,83	1,00
Защитный потенциал $U_{pr,M}$ на правой границе, В	0,94	0,63
Защитный потенциал $U_{pr,ks}$ в центральной точке, В	0,77	0,79
Усредненный защитный потенциал, В	0,95	0,97
Ток утечки I_z , А	0,36	0,60

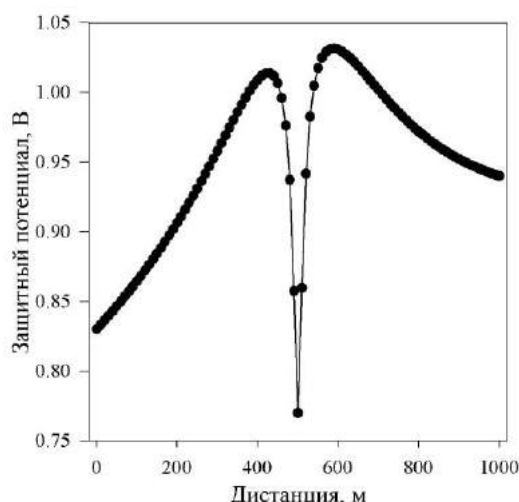


Рис. 3. Распределение защитного потенциала (СКЗ-1)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена модель, учитывающая не-монотонный характер изменения защитного потенциала на участке трубопровода вблизи катодной станции при интерпретации результатов контрольных измерений. На основе предложенного подхода разработана программа на языке C++ для компилятора GNU GCC и проведены вычислительные эксперименты с использованием результатов измерений для реального трубопровода.

Предлагаемый подход позволяет моделировать распределение защитного потенциала с учетом его падения вблизи катодной станции, а также определить ток утечки, обуславливающий данный эффект. Полученный результат может быть использован в задачах интерпретации результатов контрольных измерений в системах катодной защиты трубопровода [9,10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазов Н.П. Подземная коррозия трубопроводов, ее прогнозирование и диагностика. М.: Газпром, 1994. 92 с.
2. Ткаченко В.Н. Анализ поля токов катодной защиты трубопроводной сети // Защита металлов. 2006. Т.42. №5. С.132–135.
3. Болотнов А.М., Хисаметдинов Ф.З., Валеев А.А. Исследование состояния изоляции трубопровода по данным натурных измерений параметров электрического поля катодной защиты // Опыт реализации Федерального государственного образовательного стандарта в образовательных учреждениях: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. Сибай: РИЦ БашГУ, 2015. С. 45–52.
4. Ильин В.П. Численные методы решения задач электростатического поля.

трофизики. М.: Наука, 1985. 336 с.

5. Математическое моделирование и численное исследование электрических полей в системах с протяженными электродами / А.М. Болотнов, Н.П. Глазов, В.Д. Киселев, Ф.З. Хисаметдинов // Вестник Башкирского университета. 2006. № 2. С. 17–21.

6. Математическая модель и алгоритм расчета электрического поля катодной защиты трубопровода протяженными анодами / А.М. Болотнов, Н.Н. Глазов, Н.П. Глазов, К.Л. Шамшетдинов, В.Д. Киселев // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2008. Т. 44, № 4. С. 438–441.

7. Болотнов А.М. Компьютерное моделирование электрических полей в системах катодной защиты трубопроводов / А.М. Болотнов, С.Р. Гарифуллина, Н.Н. Глазов, Н.П. Глазов, М.А. Башаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. №5. С. 27–32.

8. Шимион, К. Теоретическая электротехника М.: Мир, 1964. 773 с.

9. Болотнов А.М., Махмутов М.М., Хисаметдинов Ф.З. Математическое моделирование тепловых и электрических полей в цилиндрических областях // Вестник Башкирского университета. 2005. Т.10, № 3. С. 18–22.

10. Болотнов А.М., Хисаметдинов Ф.З. Компьютерное моделирование электрических полей катодной защиты подземных трубопроводов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2015. Т.3. №1. С. 2–8.

11. Zamani N.G., Chuang J.M., Hsiung C.C. Numerical simulation of electrodeposition problems // Int. J. Numer. Meth. Eng., 1987. 24, No 8. Pp. 1479–1497.

12. Iwanow W., Bolotnow A. Matematyczne modelowanie i badanie anodowej elektrochemicznej ochrony przed korozja // XI Miedzynarodowa konferencja naukowo-techniczna «Bezpieczenstwo elektryczne». T.1. Wroclaw, 1997. Pp. 389–393.

INFORMATION IN ENGLISH

COMPUTER MODELING FEATURES OF DISTRIBUTION OF PROTECTIVE POTENTIAL OF UNDERGROUND PIPELINES NEAR CATHODIC STATION

Khisametdinov F.Z.

One of the most relevant directions of underground pipelines operation terms extension is the use of cathodic protection (CP). The principle of cathodic protection consists in the shift of the protected construction metal potential to a negative side with regard to the potential of its environment. In the process of the pipeline operation the irreversible changes of isolation properties, having the impact on the CP efficiency, occur. In this regard the information on the current state of isolation is a necessary factor of functioning of CP. In practice the electric parameters control measurements technology is used. The data obtained require an adequate interpretation for the estimation of the pipeline isolation current state on the concrete section. In this work computer modeling methods are used to solve the problem described. The analysis of numerical results makes it possible to conclude that this approach could be applied for the solution of the tasks connected with interpretation of control measurements data for the underground pipelines CP.

Keywords: computer simulation, electric field, cathodic protection, interpretation of measurement results, method of fictitious sources, underground pipeline, computing experiment.

REFERENCES

1. Glazov N.P. *Podzemnaya korroziya truboprovodov, eye prognozirovaniye i diagnostika* [Underground Corrosion of Pipelines, its Forecasting and Diagnostics], N.P. Glazov. Moscow: Gazprom, 1994. – 92 p.

2. Tkachenko V.N. *Analiz polya tokov katodnoy zaschity truboprovodnoy seti* [Analysis of Current Fields of Pipeline Cathodic Protection], V.N. Tkachenko, Metal protection, 2006, Vol. 42, no.5, pp.132–135.

3. Bolotnov A.M., Khisametdinov F.Z., Valeev A.A. *Issledovanie sostoyaniya izolyatsii truboprovoda po dannym naturnykh izmereniy elektricheskogo polya katodnoy zaschity* [Investigation of Pipeline Isolation State by Data of Field Measurements of Cathodic Protection Electric Field], Implementation of the Federal State educational standard in educational institutions: Proceedings of IV All-Russian scientific conference, Sibay, RITS Bash GU, 2015, pp. 45–52.

4. Ilyun V.P. *Chislennyye metody resheniya zadach elektrofiziki* [Numerical Solutions to Problems of Electrophysics], Moscow, Science, 1985, 336 p.

5. Bolotnov A.M., Glazov N.P., Kiselev V.D., Khisametdinov F.Z. *Matematicheskoe modelirovaniye i chislennoe*

issledovaniye elektricheskikh polye v sistemakh s protyazhennymi elektrodami [Mathematical Modeling and Computational Investigation of Electric Fields in Systems with Extended Electrodes], Bulletin of Bashkir university, 2006, no. 2, pp. 17–21.

6. Bolotnov A.M., Glazov N.N., Glazov N.P., Shamsheidinov K.L., Kiselev V.D. *Matematicheskaya model i algoritm pashcheta elektricheskogo polya katodnoy zaschity truboprovoda protyazhennymi anodami* [Mathematical Model and Algorithm of Calculation of Pipeline Cathodic Protection Electric Field by Extended Electrodes], Physicochemistry of surface and protection of materials, 2008, vol.44, no.4, pp. 438–441.

7. Bolotnov A.M., Garifullina S.R., Glazov N.N., Glazov N.P., Bashaev M.A. *Kompyuternoe modelirovaniye elektricheskikh polye v sistemakh katodnoy zaschity truboprovodov* [Computer Modeling of Electric Fields in Systems of Pipeline Cathodic Protection], Bulletin of computer and information technologies, 2009, no.5, pp. 27–32.

8. Shimoni K. *Teoreticheskaya elektrotehnika* [Theoretical Electrical Engineering], Moscow, Mir, 1964, 773 p.

9. Bolotnov A.M., Makhmutov M.M., Khisametdinov F.Z. *Matematicheskoe modelirovaniye teplovykh i elektricheskikh polye v tsilindricheskiykh oblastiakh* [Mathematical Modeling of Thermal and Electrical Fields in Cylindrical Domain], Bulletin of Bashkir University, 2005, vol.10, no. 3, pp. 18–22.

10. Bolotnov A.M., Khisametdinov F.Z. *Kompyuternoe modelirovaniye elektricheskikh polye katodnoy zaschity podzemnykh truboprovodov* [Computer Modeling of Cathodic Protection Electric Fields for Underground Pipelines], Matematicheskoe i programmnnoye obespecheniye sistem v promyshlennoy i sotsialnoy sferakh [Mathematical Support and Software of Systems in Industrial and Social Spheres], 2015, vol.3, no.1, pp. 2–8.

11. Zamani N.G., Chuang J.M., Hsiung C.C. Numerical simulation of electrodeposition problems, Int. J. Numer. Meth. Eng., 1987, 24, no. 8, pp. 1479–1497.

12. Iwanow W., Bolotnow A. Matematyczne modelowanie i badanie anodowej elektrochemicznej ochrony przed korozja, XI Miedzynarodowa konferencja naukowo-techniczna «Bezpieczenstwo elektryczne», T.1. Wroclaw, 1997, pp. 389–393.

МЕТОД И СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Рассмотрены принципы формирования достоверных и надежных систем технической диагностики и прогнозирования электродвигателей технологических установок большой мощности. Представлены теоретически обоснованные процедуры синтеза алгоритмов прогнозирования технического состояния машин и агрегатов на примере турбокомпрессоров магистрального транспорта газа.

Ключевые слова: техническая диагностика, оперативное прогнозирование, техническое состояние, электродвигатели большой мощности, газоперекачивающие агрегаты, обслуживание по фактическому состоянию, алгоритм, диагностическая экспертная система.

ВВЕДЕНИЕ

В системах оперативного мониторинга технического состояния (ТС) ответственных агрегатов газотранспортных систем наиболее эффективной процедурой является не традиционное диагностирование электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) [1,2], а достоверное прогнозирование их ТС с оценкой остаточного ресурса агрегата. Это позволяет предотвратить внезапные нештатные аварии и перейти от планово-предупредительных процедур технического обслуживания и ремонта (ТОиР) к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования [3-8].

Принцип управления техническим состоянием на основе прогнозирования представлен на рис. 1 [3,4]. Данные о состоянии объекта снимаются с датчиков и подаются на подсистему прогнозирования технического состояния.

В случае если формируется решение о наступающем отказе, то подсистема ТОиР выполняет действия, которые направлены на:

- предотвращение отказов, включая комплекс мероприятий по обеспечению функционирования системы без прерывания;
- минимизацию последствий отказа за счёт подготовки к ожидаемому отказу, что позволяет сократить время ремонта, а следовательно, и продолжительность неработоспособного состояния.

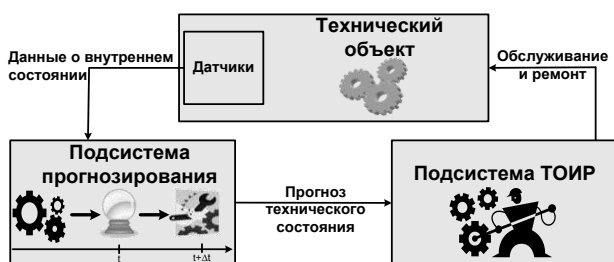


Рис. 1. Система управления состоянием ЭГПА на основе прогнозирования

Известно множество методов, классификация которых представлена на рис. 2 [8-10]. Эти методы основываются на определении объективных закономерностей развития дефектов и повреждений, статистической обработке данных, экстраполяции трендов до предельно допустимых значений и на вероятностной оценке значений показателей [3,8].

МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭГПА

В подсистеме прогнозирования определяется вероятность $P(z=1/x)$ наступления отказа на рассматриваемом интервале времени. Здесь z – переменная, характеризующая состояние технического объекта, x – данные наблюдения, снимаемые с датчиков. В условиях априорной неопределенности в решающем правиле используется оценка $\hat{P}(z=1/x)$, которая находится в результате структурно-параметрического синтеза (обучения) предиктора на основе эмпирических данных, составляющих обучающую выборку D .



Рис. 2. Классификация методов прогнозирования ТС ЭГПА

Решение о формировании сигнала-предупреждения о наступающем отказе выносится в результате сравнения с пороговым значением найденной вероятности наступления отказа на заданном интервале. Определение этого значения представляет отдельную задачу и связано с используемым критерием, который определяет эффективность прогнозов.

Применение прогнозирующего контроля направлено на сокращение издержек, вызванных простоем технического объекта. Поэтому эффект от внедрения прогнозирующего контроля можно оценить с помощью коэффициента технического использования, который определяется выражением $K = T_F / (T_F + T_R)$. Для системы управления техническим состоянием с использованием прогнозирования можно записать аналогичную формулу $K' = T'_F / (T'_F + T'_R)$. Здесь T_F и T'_F – среднее время наработки на отказ, T_R и T'_R – среднее время ремонта системы без применения и с применением прогнозирующего контроля соответственно. Эффект от применения прогнозирующего контроля охарактеризуем величиной

$$v = \frac{1 - K'}{1 - K} = \frac{(T_R + T_F)T'_R}{(T'_R + T'_F)T_R}, \quad (1)$$

которая показывает, во сколько раз изменяется среднее время неработоспособного состояния технического объекта. Эффект от применения прогнозирующего управления техническим состоянием имеет место при $v < 1$ и возрастает по мере уменьшения неотрицательной величины v .

Для проведения анализа эффективности применения процедур прогнозирования в составе системы управления техническим состоянием, следуя [3,8], охарактеризуем подсистему ТОиР вероятностью P_P возникновения (не предотвращения) отказа при условии правильного предсказания и вероятностью P_E привнесения отказа при условии ошибочного предсказания (ложной тревоги).

Подсистема прогнозирования отказов может быть охарактеризована вероятностью ложной тревоги (ошибки первого рода) α и вероятностью пропуска наступающего неисправного состояния технического объекта (ошибки второго рода) β .

Если выполненные превентивные действия при правильном предсказании не позволили предотвратить отказ, то, как правило, устранение отказа выполняется за меньшее время. Соответствующее среднее время ремонта с подготовкой обозначим T_{RP} , а изменение (сокращение) среднего времени ремонта за счёт подготовки охарактеризуем коэффициентом

$$k_P = T_{RP} / T_R. \quad (2)$$

Среднее время ремонта, вызванного привнесением отказа, обозначим T_{RE} и, аналогично (2), введем коэффициент

$$k_E = T_{RE} / T_R. \quad (3)$$

После преобразований (1)-(3) приходим к выражению для оценки эффекта от применения прогнозирования

$$v = K_P + \alpha K_E (1 - P_F) / P_F + \beta (1 - K_P), \quad (4)$$

где P_F – априорная вероятность возникновения неисправного состояния за анализируемый интервал времени, $K_P = k_P P_P$ и $K_E = k_E P_E$.

Как следует из формулы (4), эффективность прогнозирования технического состояния возрастает (величина v уменьшается) при уменьшении K_P и K_E . Для идеальной подсистемы ТОиР $K_P = 0$ и $K_E = 0$, что может быть обеспечено, если $P_P = 0$ и $P_E = 0$. При этом все правильно предсказанные отказы предотвращаются, а обработка ложных тревог не приводит к дополнительному простоям. В этом случае величина выигрыша $v = \beta$ полностью определяется вероятностью пропуска при прогнозировании отказа.

Выигрыш от применения прогнозирования технического состояния возрастает при уменьшении α и β . При высокой точности прогнозирования $\alpha \approx 0$, $\beta \approx 0$ величина выигрыша составляет $v \approx K_P$. Однако уменьшение одной из вероятностей α или β сопровождается увеличением другой в соответствии с рабочей

характеристикой предиктора. При этом возникает необходимость синтеза решающего правила для принятия решений о наступающем отказе из условия минимизации целевой функции (4).

Анализ выражения (4) свидетельствует о том, что целевая функция представляет собой взвешенную сумму вероятностей ошибок первого и второго рода и по своей структуре близка к выражению для среднего риска. Рассуждая, как и при выводе решающего правила по критерию минимума среднего риска, приходим к правилу принятия решения о наступающем отказе

$$\hat{z} = H(\Lambda(x) - h). \quad (5)$$

Здесь $H(a)$ – функция Хевисайда такая, что $H(a) = 1$ при $a \geq 0$ и $H(a) = 0$ при $a < 0$; $\Lambda(x) = f_1(x) / f_0(x)$ – отношение правдоподобия, где $f_0(x)$ и $f_1(x)$ – плотности вероятности признаков для прогнозируемого исправного и неисправного состояний соответственно; h – порог, определяемый выражением

$$h = \frac{(1 - P_F)K_E}{P_F(1 - K_P)}. \quad (6)$$

Переходя к использованию апостериорных вероятностей решающее правило (5) представим в виде

$$\hat{z} = H(P(z = 1|x) - h_p). \quad (7)$$

Здесь h_p – порог, определяемый с учетом (6) выражением

$$h_p = \frac{K_E}{1 - K_P + K_E}. \quad (8)$$

ЭФФЕКТ ОТ ПЕРЕХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТС

Выигрыш от применения прогнозирования уменьшается при уменьшении априорной вероятности P_F отказа на анализируемом интервале времени. При этом повышаются требования к точности прогнозирования. В то же время при использовании оптимального решающего правила (7), (8) не происходит снижение эффективности по отношению к системе ТОиР без прогнозирования технического состояния, то есть $v_L \leq 1$.

В общем случае информация о состоянии технического объекта может быть получена на основе обработки показаний интеллектуальных датчиков или результатов тестов. В случае использования вероятностной модели сложной системы элементарное действие по сбору информации заключается в определении значения одной из переменных y_i . Такие действия характеризуются определенной стоимостью c_i , представляющей затраты на проведение теста и ценностью.

Величина v_L , обеспечиваемая при принятии решений о наступающих отказах с помощью (7), (8), зависит от множества переменных, значения которых доступны на момент принятия решения. Так, после проведения i -го теста решение о состоянии системы

принимается с использованием результатов теста y_i на основе распределения вероятностей $P(z|x, y_i)$.

Однако на момент вынесения решения о целесообразности проведения некоторого теста его результат является неизвестным. Поэтому ожидаемый эффект от проведения теста определяется с использованием усреднения по множеству возможных исходов

$$\bar{v}_L(y_i, x) = \sum_{y_i \in Y_i} P(y_i | x) v_L(y_i, x). \quad (9)$$

Проведение теста позволяет получить дополнительную информацию о состоянии технического объекта и, следовательно, приводит к меньшим значениям $\bar{v}_L(y_i, x)$ по сравнению с величиной $v_L(x)$, обеспечиваемой при использовании показаний датчиков.

Сопоставляя сокращение издержек, вызванных простым оборудованием, и стоимость теста, можно определить ценность теста. Проведение дополнительных тестов завершается, если для любого из тестов их стоимость превышает ценность получаемой информации.

АЛГОРИТМ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ТС ЭГПА

Процедуру принятия решений о проведении процедур ТОиР представим с помощью сети принятия решений (рис. 3), которая содержит три типа вершин и может рассматриваться как расширение байесовской сети.

Для упрощения на рис. 3 показана сеть принятия решений, соответствующая единственному тесту. Вершины жеребьевки, обозначенные овалами, как и в байесовских сетях, представляют переменные (случайные величины). Вершины принятия решений (прямоугольники) представляют возможность лицу, принимающему решение, выбрать одно из доступных действий на основе рассчитываемых значений целевой функции. В сетях принятия решений, основанных на критерии минимума среднего риска, вершины, обозначенные ромбами, содержат значения элементов матрицы потерь. В рамках развиваемого подхода последствия ошибочных решений и, соответственно, значения целевой функций (4) зависят от характеристик подсистемы ТОиР K_p и K_E .

В качестве примера возможного применения развиваемого подхода для управления техническим состоянием рассмотрим систему ЭГПА, информация о состоянии которой регистрируется датчиками [1-4]. Выделим три состояния технической системы: исправное, предотказное и неработоспособное. Если выносится решение, что система исправна, то действия по управлению состоянием системы не предпринимаются и функционирование системы продолжается. В предотказном состоянии для предотвращения перехода системы в неработоспособное состояние выполняется автоматическое отключение с последующим восстановлением исправного состояния. При наличии существенной неопределенности относительно состояния системы может быть вынесено решение о проведении теста, результаты которого позволяют существенно

повысить достоверность определения состояния системы.

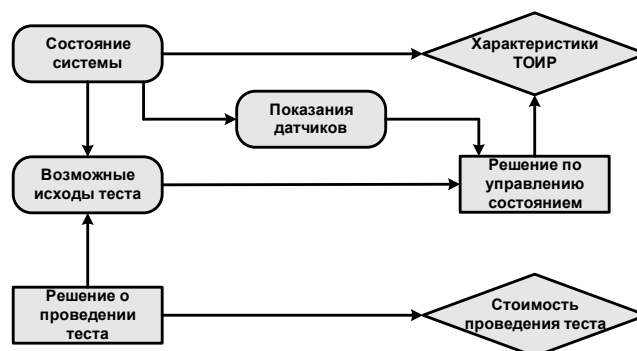


Рис. 3. Сеть принятия решений диагностической экспертной системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Достоверное прогнозирование технического состояния технологических агрегатов с оценкой остаточного ресурса позволяет заблаговременно предотвратить внезапные нештатные аварии на объектах повышенной опасности и перейти от планово-предупредительных ТОиР к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования со значительным экономическим эффектом.

2. В общем случае информация о техническом состоянии объекта получается на основе обработки показаний интеллектуальных датчиков и результатов тестов. При этом выигрыш от применения процедур прогнозирования увеличивается, при росте априорной вероятности отказов на анализируемом интервале времени и повышении требований к точности прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пужайло А. Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / под ред. О.В. Крюкова. Н.Новгород: Вектор ТиС, 2010. Т.1. 570с.
2. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / под ред. О.В. Крюкова. Н.Новгород: Вектор ТиС, 2011. Т.2. 664с.
3. Милов В.Р., Шалашов И.В., Крюков О.В. Процедуры прогнозирования и принятия решений системе технического обслуживания и ремонта // Автоматизация в промышленности. 2010. № 8. С.47-49.
4. Крюков О.В., Степанов С.Е., Титов В.Г. Встроенные системы мониторинга технического состояния электроприводов для энергетической безопасности транспорта газа // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. №2. С. 5-10.
5. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Мониторинг технического состояния приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. 2009. № 7. С. 33-39.
6. Бабичев С.А., Крюков О.В., Титов В.Г. Автоматизированная система безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. 2010. № 12. С. 24-31.
7. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Автоматизированная система оперативного мониторинга приводных двигателей газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. 2009. № 6. С. 3-6.
8. Крюков О.В. Комплексная система мониторинга и управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами // Передовые информационные технологии, средства

и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях: труды МНПК, АИТА-2011. Москва: ИПУ РАН, 2011. С. 329-350.

9. Крюков О.В., Серебряков А.В. Система оперативной диагностики технического состояния ветроэнергетиче-

ских установок // Электротехника. 2015. № 4. С.49-53.

10. Серебряков А.В. Энергоэффективные ветроэнергетические установки с оперативной диагностикой для автономных систем электроснабжения. дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / ИГЭУ, Н.Новгород, 2013. 171 с.

INFORMATION IN ENGLISH

METHOD AND SYSTEM OF DECISION MAKING OF TECHNICAL STATE FORECAST OF ELECTRIC GAS COMPRESSOR UNITS

Kryukov O.V., Serebryakov A.V.

The article is concerned with the principles of forming trusted and reliable systems of engineering diagnostics and forecasting of electric motors for high power process installations. The authors offered theoretically justified methods of algorithm development for forecasting of machine technical state. Turbine drive compressors for bulk gas transportation were taken as an example.

Keywords: engineering diagnostics, on-line forecasting, technical state, high power electric motors, gas compressor units, maintenance by true condition, algorithm, expert diagnostic system.

REFERENCES

1. Puzhaylo A.F. and others. *Energoberezhenie i avtomatizatsiya elektrooborudovaniya kompressornykh stantsiy* [Energy Saving and Automation of Electrical Machinery at Compressor Plants], monograph, Under the editorship of O.V. Kryukov, Nizhni Novgorod, Vektor TiS, 2010, 570 p.

2. Puzhaylo A.F. and others. *Energoberezhenie i avtomatizatsiya elektrooborudovaniya kompressornykh stantsiy* [Energy Saving and Automation of Electrical Machinery at Compressor Plants]: monograph, Under the editorship of O.V. Kryukov, Nizhni Novgorod: Vektor TiS, Vol.2. 2011, 664 p.

3. Milov V.R., Shalashov I.V., Kryukov O.V. *Protsedury prognozirovaniya i prinyatiya resheniy v sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta* [Forecasting and Decision Making in the System of Maintenance and Repair], Automation in industry, 2010, no.8, pp.47-49.

4. Kryukov O.V., Stepanov S.E., Titov V.G. *Vstroennyye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya elektroprivodov dlya energeticheskoy bezopasnosti transporta gaza* [Integrated System of Electric Drive Technical State Monitoring for Energy Safety of Gas Transportation], Energy safety and energy saving. 2012, no.2, pp. 5-10.

5. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kryukov O.V. *Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya privodnykh elektrodvigately gazoperekachivayuschiykh agregatov* [Technical State Monitoring of Electric Drives for Gas Compressor Units], Control. Monitoring, 2009, no.7, pp. 33-39.

6. Babicev S.A., Kryukov O.V., Titov V.G. *Avtomatizirivannaya sistema bezopasnosti elektroprivodnykh gazoperekachivayuschiykh agregatov* [Automatic Safety System of Electric Gas Compression Units], Electrical engineering, 2010, no.12, pp. 24-31.

7. Babichev S.A., Zakharov P.A., Kryukov O.V. *Avtomatizirovannaya sistema operativnogo monitoringa privodnykh dvigateley gazoperekachivayuschiykh agregatov* [Automatic System of On-line Monitoring for Actuating Motors of Gas Compressor Units], Automation in Industry, 2009, no.6, pp. 3-6.

8. Kryukov O.V. *Kompleksnaya sistema monitoringa i upravleniya elektroprivodnymi gazoperekachivayuschimi agregatami* [Combined System of Monitoring and Control of Electrically Driven Gas Compressor Units], Collection of scientific papers "Advanced Information Technologies, Means And Automation Systems And their Introduction to Enterprises in Russia", AITA-2011, Moscow: IPU RAN, 2011, pp. 329-350.

9. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. *Sistema operativnoy diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya vetroenergeticheskikh ustanovok* [On-line Diagnostics System of Technical State for Wind-driven Power Plants], Electrical Engineering, 2015, no.4, pp.49-53.

10. Serebryakov A.V. *Energoeffektivnye vetroenergeticheskie ustanovki s operativnoy diagnostikoy dlya avtonomnykh sistem elektrosnabzheniya* [Energy-efficient Wind-Driven Power Plants with On-line Diagnostics for Independent Power Supply Systems], Dissertation for Ph.D. degree in engineering, 05.09.03, IGEU, Nizhni Novgorod, 2013, 171p.

УДК 681.518.5

Панов А.Н., Ишметьев Е.Н., Чистяков Д.В., Коробейников С.М., Гузей К.Е.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОКОНТРОЛЯ НА ГЛАВНОМ ПРИВОДЕ ПРОКАТНОГО СТАНА

Ключевую роль в решении проблемы обеспечения надежности основного и вспомогательного оборудования играет внедрение современных средств вибрационного контроля и защиты от превышения вибрации. Специалистами ЗАО «КонсОМ СКС» была разработана и внедрена стационарная система виброконтроля главного привода прокатного стана 2500 ЛПЦ-4 ОАО «ММК». Система отслеживает уровень среднеквадратичного значения виброскорости согласно ГОСТ ИСО 10816-1-1997.

Ключевые слова: стационарная система виброконтроля, прокатный стан, подшипник, датчик вибрации, датчик температуры, контроллер, мнемосхема.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время эффективность и конкурентоспособность крупных металлургических предприятий напрямую зависит от возможностей эксплуатируемых машин и оборудования, а также от их технического состояния. Наибольшее внимание уделяется состоянию объектов, способных в случае отказа привести к серьезным последствиям, в том числе и к существенным экономическим потерям, а большинство из таких объектов – агрегаты с узлами вращения.

Задачи контроля и мониторинга состояния агрегатов с узлами вращения, а также их диагностики наиболее эффективно решаются по контролируемым параметрам вибрации. Дополнительно может проводиться контроль и мониторинг параметров других процессов, таких как температура подшипниковых узлов, проток масла в системе смазки и т.д.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Для оценки состояния оборудования и прогноза его безотказной работы применяются стационарные системы виброконтроля, которые дают возможность предупреждать возникновение неисправностей и аварийных ситуаций.

В рамках капитального ремонта стана горячей прокатки 2500 ЛПЦ-4 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» компания ЗАО «КонсОМ СКС» спроектировала и внедрила стационарную систему виброконтроля, охватывающую главный привод чистовой группы клетей 5-11. Данная система предназначена для измерения и регистрации уровня вибрации, а также температуры подшипников скольжения и качения.

Датчиками вибрации оснащены шестеренные клетки, опоры промежуточных валов, редукторы прокатных клетей 5 и 6 и опоры двигателей. Для контроля состояния подшипников скольжения в шестеренных клетях и опорах двигателей установлены датчики температуры. Точки измерения вибрации и температуры на приводе прокатного стана 2500 ЛПЦ-4 приведены на рис. 1-3.

Контрольные точки измерения вибрации и температуры подшипников на опорах двигателей представлены на рис. 1.

На рис. 2 отмечены точки измерения вибрации и температуры редуктора прокатного стана 2500 ЛПЦ-4.

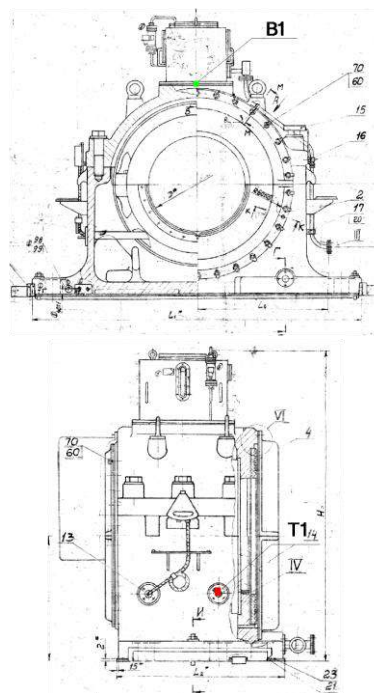


Рис. 1. Точки измерения вибрации и температуры на одной из опор двигателя: B1 – датчик вибрации; T1 – датчик температуры

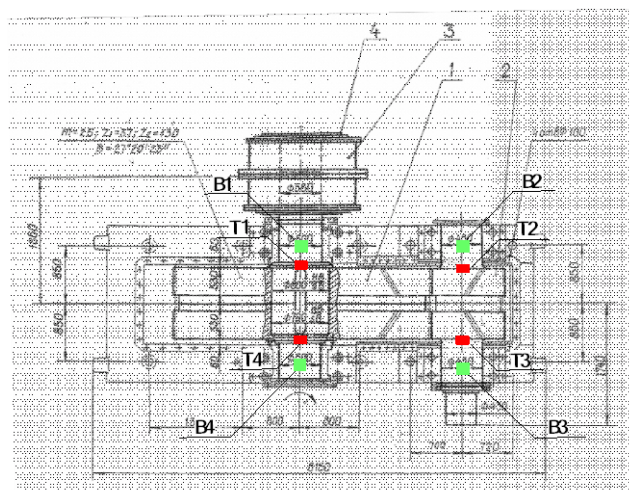


Рис. 2. Точки измерения вибрации и температуры на редукторе: B1, B2, B3, B4 – датчики вибрации; T1, T2, T3, T4 – датчики температуры

Контрольные точки измерения вибрации и температуры подшипников на шестеренной клетке представлены на рис. 3.

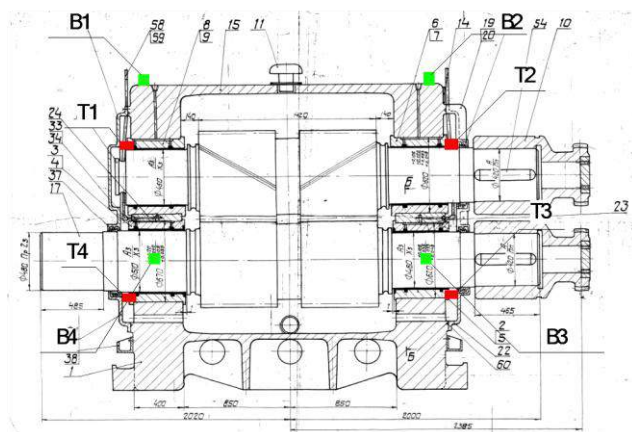


Рис. 3. Точки измерения вибрации и температуры на шестеренной клетке: B1, B2, B3, B4 – датчики вибрации; T1, T2, T3, T4 – датчики температуры

Система виброконтроля представляет собой программно-технический комплекс, обеспечивающий интеграцию параметров с контроллера на сервер с целью их последующей обработки. На корпуса подшипниковых узлов с помощью приварных бобышек установлены датчики вибрации и температуры. Все они подключаются к контроллерам, производящим математическую обработку сигналов. Контроллеры установлены в шкафу в непосредственной близости от оборудования и подключены к цеховой сети.

Контроллер рассчитан на подключение четырех датчиков вибрации и двух датчиков температуры. Он обрабатывает сигналы с датчиков и определяет, было ли достигнуто заданное значение вибрации для соответствующего объекта контроля (контроль до 24 диагностируемых объектов).

Связь с ПК и сервером реализуется посредством Ethernet при помощи OPC-server. Сервер получает данные с контроллера по протоколу TCP/IP. Отображение мнемосхемы по работе стационарной системы вибромониторинга на АРМ пользователей предполагается по технологии «тонкий клиент». Все пользователи, подключенные к сети Ethernet, могут получить доступ к данному WEB приложению без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

Система мониторинга состояния оборудования представлена двумя мнемосхемами (рис. 4, 5). На главные приводы чистовой группы клетей 5-7 устанавливаются с помощью приварных бобышек 29 датчиков вибрации и 14 датчиков температуры (см. рис. 4).

На рис. 5 представлена мнемосхема стационарной системы виброконтроля чистовой группы клетей 8-11. На главные приводы чистовой группы клетей 8-11 установлены 32 датчика вибрации и 20 датчиков температуры.

На мнемосхемах индикаторы состояния сигнализируют о превышении вибрации относительно заданных значений. Согласно ГОСТ 10816-1-1997 данная машина относится ко второму классу вибрационного состояния. Пороговое значение виброскорости не должно превышать при длительной эксплуатации 4,5 мм/с. В ГОСТ ИСО 10816-1-1997 для второго класса оборудования установлены предельные уровни вибрации, превышение которых в установившемся режиме

работы машины приводит к подаче сигналов «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ» или «РЕКОМЕНДУЕТСЯ ОСТАНОВ».

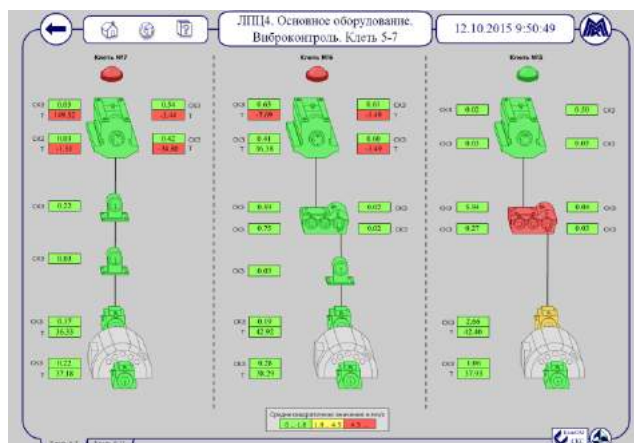


Рис. 4. Мнемосхема вибрационного состояния чистовой группы клетей 5-7

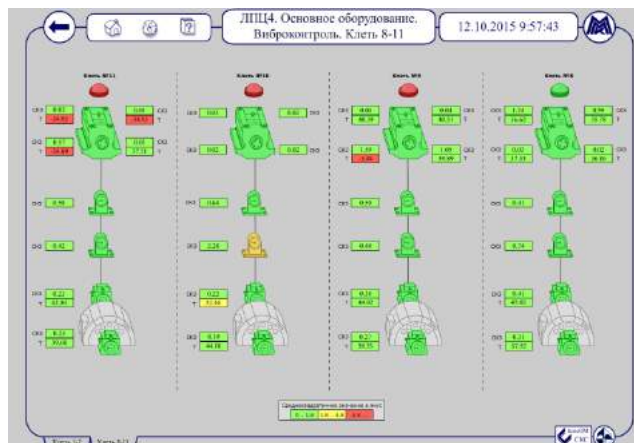


Рис. 5. Мнемосхема вибрационного состояния чистовой группы клетей 8-11

Графическое отображение состояния оборудования на мнемосхеме (элементы агрегата подсвечиваются различными цветами в зависимости от уровня вибрации), регистрируемого системой:

- 1) зеленый – уровень вибрации (0 ... 1,8) в допустимых пределах;
- 2) желтый – уровень вибрации (1,8 ... 4,5) соответствует режиму «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ» о превышении уровня вибрации выше допустимых;
- 3) красный – уровень вибрации (4,5 ...) соответствует режиму «РЕКОМЕНДУЕТСЯ ОСТАНОВ».

При превышении заданных параметров по вибрации и температуре в системе предусмотрена возможность срабатывания аварийной сигнализации, представленной в виде таблицы аварийных событий (рис. 6).

Индикатор аварийной сигнализации имеет следующие цветовые решения отображения:

- зеленый цвет – условное обозначение объекта/оборудования, находящего в настоящее время в работе;
- красный цвет – условное обозначение объекта/оборудования, находящегося в аварийном состоянии.

В таблице аварийных событий представлены все закрытые аварийные события (события, которые завершены) с указанием места возникновения, значения,

даты начала и окончания аварийного события. События, которые начались, но еще не закончились, – не фиксируются.

Аварийное событие	Дата начала	Дата окончания	Значение аварийного события
Аварийное событие 1	10.07.2014 10:00:00	10.07.2014 10:05:00	1
Аварийное событие 2	10.07.2014 10:05:00	10.07.2014 10:10:00	2
Аварийное событие 3	10.07.2014 10:10:00	10.07.2014 10:15:00	3
Аварийное событие 4	10.07.2014 10:15:00	10.07.2014 10:20:00	4
Аварийное событие 5	10.07.2014 10:20:00	10.07.2014 10:25:00	5
Аварийное событие 6	10.07.2014 10:25:00	10.07.2014 10:30:00	6
Аварийное событие 7	10.07.2014 10:30:00	10.07.2014 10:35:00	7
Аварийное событие 8	10.07.2014 10:35:00	10.07.2014 10:40:00	8
Аварийное событие 9	10.07.2014 10:40:00	10.07.2014 10:45:00	9
Аварийное событие 10	10.07.2014 10:45:00	10.07.2014 10:50:00	10

Рис. 6. Пример отображения таблицы аварийных событий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование на прокатном стане стационарной системы виброконтроля позволяет в режиме реального времени выявлять источники повышенной вибрации в оборудовании, оценивать влияние отдельных элементов оборудования на возникновение вибраций, оценивать качество монтажных работ после проведения ремонтных работ, планировать ремонт наиболее «узких» мест прокатного стана, основываясь на их фактическом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся частях.
2. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учеб. пособие. СПб.: СПбГМТУ, 2004. 156с.
3. Панов А.Н., Романенко А.В., Васильев Е.Ю., Коробейников С.М. Опыт применения автоматизированных стационарных систем виброконтроля и вибродиагностики // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №1(22). С. 56-58.

INFORMATION IN ENGLISH

AUTOMATED STATIONARY VIBRATION SYSTEM APPLICATION FOR ROLLING MILL DRIVE

Panov A.N., Ishmetiev Ye.N., Chistyakov D.V., Korobeynikov S.M., Gusev K.E.

The key role in solving the problem of reliability assurance of the main and auxiliary equipment is played by the introduction of up-to-date vibration control means and protection from excessive vibration.

Specialists of JSC "KonsOM SKS" developed and implemented stationary vibration system for maining rolling mill drive in workshop № 4 of OJSC "MMK". The system monitors the root mean square value (rms) of vibration in accordance with GOST ISO 10816-1-1997.

Keywords: stationary vibration system, rolling mill, controller, bearing, vibration sensor, temperature sensor, mnemonic scheme.

REFERENCES

1. GOST ISO 10816- 1-97. Vibration. Machine Technical State Control by the Results of Vibration Measuring on Non-rotating Parts.
2. Barkov A.V., Barkova N.A. *Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya* [Vibration Diagnostics of Machines and Equipment], study guide, Saint-Petersburg: Saint-Petersburg MGTU, 2004, 156 p.
3. Panov A.N., Romanenko A.V., Vasilyev E.Yu., Korobeynikov S.M. *Opyt primeneniya avtomatizirovannykh statsionarnykh sistem vibrokontrolya i vibrodiagnostiki* [Practical Application of Automatic Stationary Systems of Vibration Control and Vibration Diagnostics], Electrotechnical Systems and Complexes, 2014, no.1(22), pp. 56-58.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, АВТОМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.74.08-412:004.42

Посохов И.А., Логунова О.С., Миков А.Ю., Мацко И.И., Павлов В.В.

КАСКАДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕРНОГО ОТПЕЧАТКА ПОПЕРЕЧНОГО ТЕМПЛЕТА НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

В работе представлены результаты исследования изображений серных отпечатков поперечного темплетта непрерывнолитой заготовки. Авторами работы определена проблема низкой достоверности информации о качестве заготовок. Визуальная оценка изображения приводит к субъективной оценке с большим вкладом человеческого фактора. Авторами разработана схема размещения точек контроля для сбора графической информации в процессе получения заготовок.

Предложено ввести три класса изображений по признаку отношения яркости объекта (темплета) к основному фону. По нарастанию сложности алгоритмов авторами предложена каскадная методика классификации изображения. Методика включает оценку изображения по формообразующим характеристикам гистограммы, по расстоянию до эталонных нормированных гистограмм и на основе методов нечеткой логики.

Результаты опытной эксплуатации каскадной методики упрощенная методика по формообразующим характеристикам однозначно идентифицировала 22 % всех изображений, по оценке расстояния до эталонных нормированных гистограмм – 70 % от оставшихся и только оценка при применении методов нечеткой логики однозначно идентифицировала все оставшиеся изображения. Сто процентный успех классификации достигается только при применении всех каскадов разработанной методики.

Ключевые слова: изображения серных отпечатков, гистограмма изображения, формообразующие характеристики, расстояния между объектами, правила идентификации объектов, каскадная классификация.

ВВЕДЕНИЕ

В представляемой статье рассматривается проблема повышения достоверности классификации изображений серного отпечатка стальной заготовки. Серный отпечаток – это изображение, полученное в ходе производственного процесса и используемое для оценки качества металла визуальным способом. Использование визуального осмотра приводит к получению экспертных оценок с высоким влиянием человеческого фактора и снижению достоверности информации о качестве продукции. Получаемая информация передается в систему управления производством стали. Авторами в предыдущих исследованиях [1] была предложена система интеллектуальной поддержки управления производством непрерывнолитой заготовки с использованием результатов обработки графической информации серного отпечатка [2, 3].

Управление объектами и процессами в современных условиях характеризуется быстрым изменением условий внешней среды, включая экономическую, социальную, научную и промышленные сферы. Инновационные технологии, рождающиеся в промышленной сфере, требуют повышения оперативности и качества принимаемых решений о возможных вариантах создания и модификации систем в условиях определенной и неопределенной информации. Наличие современных методов обработки информации позволяет в системах принятия решений использовать информацию числового, текстового и графического типа. Принятие решений на основе графической информации является наиболее сложной задачей. Сложность задачи определяется этапами предварительной обработки, которые предшествуют сегментации и распознаванию изображения [1].

Автоматическая сегментация исходного изображения показала чувствительность стандартных алгоритмов классификации к качеству изображения.

Устранение ошибок сегментации возможно при выполнении предварительной обработки изображений, которая должна быть проведена по индивидуальной траектории в зависимости от свойств изображения. Авторы предлагают выполнять предварительную обработку изображения по индивидуальной траектории, которая определяется в зависимости от класса этого изображения.

В настоящее время ведутся активные исследования в области классификации изображений и объектов, входящих в структуру этого изображения. Среди известных решений можно указать результаты работ, которые ведутся во многих странах мира, в том числе и в России.

Одним из походов к решению задачи классификации является создание библиотеки изображений по категориям. Например, в работе [4] исследовали семь категорий изображений для построения системы векторной классификации. В работе приводится теория выбора с линейно разделяемыми объектами в оптимальной гиперплоскости. Авторами было проведено более 2670 испытаний с классами: *airplanes, birds, boats, buildings, fish, people, vehicles*. В ходе исследования авторы применяли в качестве ядра распределение Гаусса, Лапласиан и распределение χ^2 . При построении классификатора авторы добились точности классификации от 11 до 16%. Авторы [5] предлагают использовать Support Vector Machines (SVM) для классификации мультиточечных изображений. В работе приводится метод выбора гиперпланов. Однако авторы работы говорят о проблемах в использовании методов при увеличении количества гиперпланов. Испытание метода проводилось в области распознавания объектов на сельскохозяйственной карте Восточной Англии для определения полей с однотипными культурами. Примеры приведенных изображений определяют объекты регулярной формы.

Достаточно много работ посвящается распознаванию лица человека и его элементов. Для этого предлага-

© Посохов И.А., Логунова О.С., Миков А.Ю., Мацко И.И., Павлов В.В.

гается использовать автоматическую классификацию на основе карты характерных точек. Например, в работе [6] предлагается использование двухмерного вейвлет-преобразования на основе огибающей волны для выделения основных точек лица. Применение этого метода позволило добиться 82% уровня верной идентификации лица человека. Недостатками работы этого метода являются чувствительность к качеству изображений и мимическому изменению основных элементов лица.

Одним из методов классификации объектов является определение характерных точек заранее заданной текстуры [7, 8]. В работе [4] предлагается приближенная базовая модель сегментации изображения на основе оценки яркости точек. Авторы работы применяли алгоритм для изображений головного мозга. В результате была получена классификация изображений с различными текстурами с точностью до 84,4 %. В работе [8] рассматривался статистический подход к классификации текстур из отдельных изображений, который базируется на определении качества освещения, положения камер и условий обработки изображения. Метод основан на использовании фильтров, устойчивых к вращению изображения, оценки гистограммы изображения и оценки формы гистограммы. За основу принятия решений о классе изображения принята процедура k -средних (k -Means), которая является чувствительной к выбору исходных центров сгущения. Количество правильно классифицированных текстур для учебных примеров составила 98%. Задача классификации изображения решалась также и с помощью аппарата нечетких множеств и нечеткой логики. Первые работы по применению нечеткого аппарата к классификации изображений появились в конце 80-х – начале 90-х годов 20 века и показали хорошие результаты распознавания картографических изображений с объектами регулярной формы [9-11].

Изложенные основы получили развитие в современных исследованиях [12 – 17]. Однако, несмотря на множество существующих исследований, остаются нерешенными проблемы классификации изображений с множеством объектов нерегулярной формы, низкой контрастности, низкого качества и контрастности.

Указанные проблемы определили цель научного исследования: повышения эффективности функционирования многостадийного металлургического производства на основе направленного воздействия человека по результатам обработки и анализа графической информации о качестве непрерывнолитой заготовки. Для достижения цели в ходе проведения научных исследований решались следующие задачи:

- 1) выполнение **теоретико-информационного анализа** многостадийного металлургического процесса как сложной системы и определения роли графической информации в системе оценки качества металлургической продукции;
- 2) разработка **адаптивной методики каскадной классификации графической информации** о качестве непрерывнолитой заготовки, включающей оценку формообразующих характеристик гистограмм яркости, меры сходства с эталонными гистограммами и положения теории нечетких множеств;
- 3) проектирование и разработка **системы принятия**

решений об идентификации объектов нерегулярной формы на изображениях серных отпечатков непрерывнолитой заготовки, включающей алгоритмы и программное обеспечение для обработки и визуализации графической информации;

- 4) проведение **вычислительного эксперимента по оценке чувствительности и надежности** методики классификации и системы принятия решений к условиям эксплуатации в промышленных условиях.

В рамках приведенной статьи авторы излагают решение второй задачи.

Объектом исследования в работе является изображение серных отпечатков, получаемых на стадии контроля качества непрерывнолитой заготовки при ее переходе от стадии непрерывной разливки к стадии обработки давлением. Предметом исследования является математическое обеспечение системы принятия решений о качестве заготовки на основе сегментации изображения серного отпечатка.

МЕТОДИКА

Типовые изображения каждого класса в порядке возрастания этого отношения приведены на **рис. 1**.



Рис. 1. Структура исследуемых изображений в терминах «Объект исследования – Фон»: а – типовое изображение класса А; б – типовое изображение класса В; в – типовое изображение класса С

На **рис. 1** номером 1 обозначен фон, номером 2 – объект исследования. Так как темплет занимает лишь часть изображения и его положение неопределенно, то было принято решение о разработке алгоритма поиска области изображения в пространстве серного отпечатка, содержащей объект исследования.

На основании визуального исследования полученной группы изображений выдвинута гипотеза о ее разделении на три класса:

- класс А: изображения с незначительным отличием яркости фона и объекта исследования;
- класс В: изображения со средним отличием яркости фона и объекта исследования;
- класс С: изображения с резким отличием яркости фона и объекта исследования.

В ходе визуального анализа полученных серных отпечатков выявлены особенности изображений:

- 1) изображение серного отпечатка всегда содержит объект исследования (непосредственно изображение поперечного сечения заготовки размером 100×100 или 150×170 мм) и окружающий фон (см. **рис. 1**);
- 2) положение поперечного сечения (изучаемого объекта) является неопределенным и координаты его положения не могут быть смоделированы известными методами (см. **рис. 1**);
- 3) изображения разделяются на три класса по отношению яркости объекта исследования и фона изображения.

Исходные растровые изображения серных отпечатков являются полноцветными и представлены в цветовой модели RGB. В этой модели каждый цвет представляется красным, зеленым и синим первичными цветами (компонентами). Цвет каждой точки изображения (пикселя) формируется в результате смешивания трех компонент. Число битов, используемых для представления каждого пикселя в RGB пространстве, называется глубиной цвета. Глубина цвета исходных изображений равна 24 битам, т.е. каждая из компонент – красная, зеленая, синяя – является 8-битовой. Суммарное число всевозможных цветов 24-битового RGB изображения составляет $(2^8)^3 = 16777216$.

Для определения принадлежности изображения к одному из трех предполагаемых классов построены гистограммы яркости и введено понятие формообразующих характеристик гистограммы.

В качестве формообразующих характеристик гистограммы определены:

- положение порога яркости – T ;
- положение максимума яркости слева от порога – m ;
- положение максимума яркости справа от порога – M ;
- значение функции яркости в каждой из указанных точек $F(m)$, $F(T)$ и $F(M)$ (**рис. 2**).

Для определения положения порогового значения яркости были использованы алгоритмы, приведенные в [20–24]. Согласно источникам [20–24] пороговое значение – это величина яркости, относительно которой гистограмма делится на две части.

Исследование структуры исходного изображения, гистограмм и методов классификации по принципу от простого к сложному привело к построению каскадной методики классификации серного отпечатка. Каждый последующий каскад классификации предусмотрено применять для изображений, находящихся в области

неоднозначной идентификации по результатам оценки предыдущего шага. Каждый построенный каскад отличается от предыдущего количеством идентификационных признаков и сложностью функций принадлежности к каждому классу. На **рис. 3** приведена блок-схема алгоритм адаптивной методики каскадной классификации изображений серного отпечатка. Каждый из блоков 1 – 3 методики каскадной классификации содержит блоки адаптации.

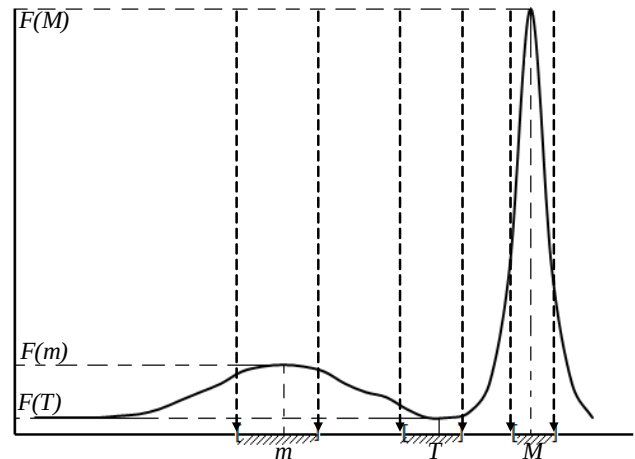


Рис. 2. Схема расположения параметров гистограммы изображения

Принадлежность изображения к выбранному классу позволила определить траекторию дальнейшей обработки информации о качестве непрерывной заготовки согласно ОСТ 14-1-236-91 [25].

Учитывая, что 31% изображений после применения методик, основанных на формообразующих характеристиках гистограмм и расстояниях, остаются в области неоднозначной идентификации, была разработана методика классификации серных отпечатков на основе нечетких множеств.

Наиболее сложным этапом в применении нечетких множеств к решению прикладных задач является этап определения лингвистических переменных и их терм. Для решения задачи классификации изображений введем структурированную лингвистическую переменную – **Изображение**, которая в своем составе содержит шесть компонент: m , M , T , d_A , d_B , d_C , где T – положение порога яркости; m – положение максимума яркости слева от порога; M – положение максимума яркости справа от порога; d_A , d_B , d_C – расстояние Чебышева до эталонных гистограмм А, В и С соответственно. На **рис. 4** приведена структура лингвистической переменной – **Изображение**.

Каждая компонентА лингвистической переменной «Изображение» принимает три значения: «Принадлежит классу А»; «Принадлежит классу В»; «Принадлежит классу С».

Каждой компоненте основной лингвистической переменной сопоставим базовую числовую переменную и функцию принадлежности. На **рис. 5** и **6** показана структура двух лингвистических компонент, соответствующих базовой числовой переменной, и функция принадлежности, построенная на основе экспертной информации.

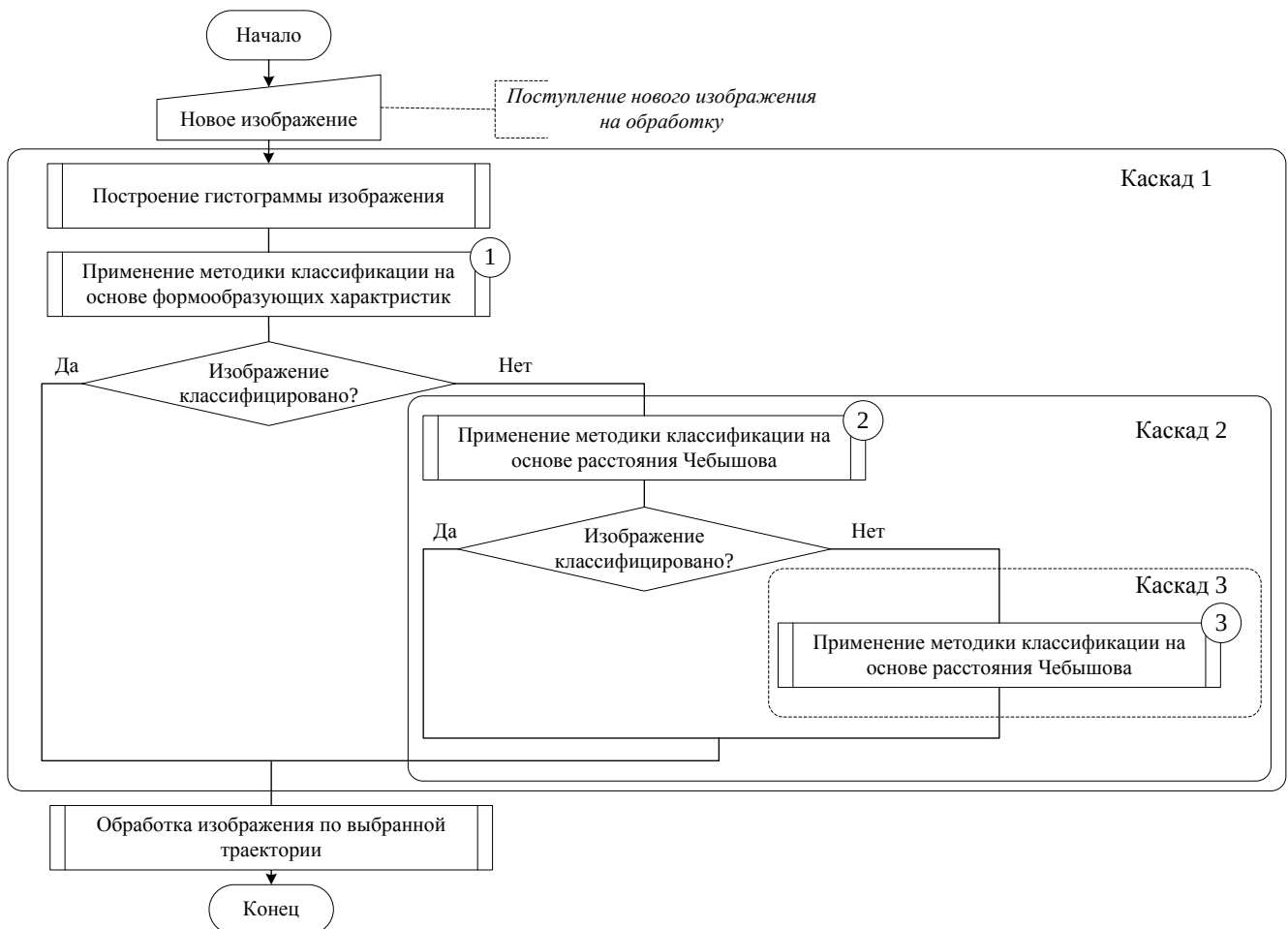


Рис. 3. Блок-схема алгоритма адаптивной методики каскадной классификации изображения серного отпечатка поперечного темплета непрерывнолитой заготовки

На рис. 5 введены обозначения: m_B – базовая числовая переменная, соответствующая лингвистической m ; m_{Amin} , m_{Bmin} , m_{Cmin} – нижняя граница базовой переменной m_B ; m_{Amax} , m_{Bmax} , m_{Cmax} – верхняя граница базовой переменной m_B ; μ_m – функция принадлежности для компоненты m . Значения верхней и нижней границ могут изменяться в процессе адаптации системы при поступлении новых изображений серного отпечатка в базу данных.

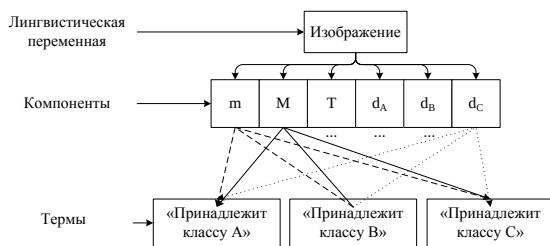


Рис. 4. Структура лингвистической переменной «Изображение»

На рис. 6 введены обозначения: M_B – базовая числовая переменная, соответствующая лингвистической M ; M_{Amin} , M_{Bmin} , M_{Cmin} – нижняя граница базовой переменной M_B ; M_{Amax} , M_{Bmax} , M_{Cmax} – верхняя граница базовой переменной M_B ; μ_m – функция принадлежности для компоненты M .

Блок-схема методики классификации изображений на основе нечетких множеств приведена на рис. 7. В алгоритме методики предусмотрены блоки дефаззификации для каждой лингвистической компоненты и

основной лингвистической переменной «Изображение» по наивысшей степени принадлежности.

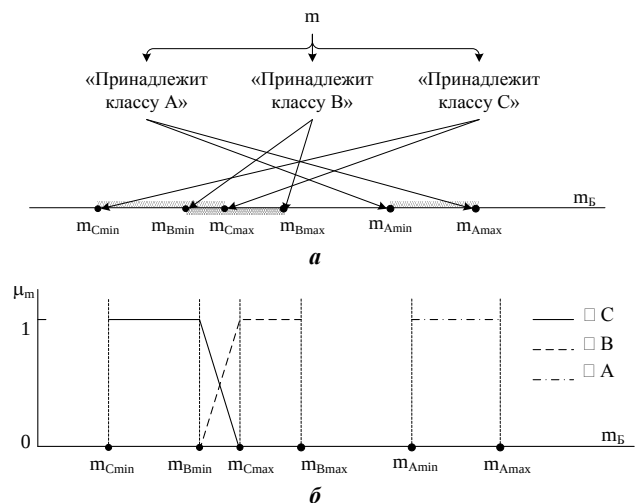


Рис. 5. Представление лингвистической компоненты m : а – структура переменной; б – функция принадлежности

Учитывая, что эта методика не допускает наличия областей неоднозначной идентификации, все рассматриваемые изображения будут отнесены к одному из трех введенных классов и для каждого класса определена траектория последующего выделения контура изучаемого объекта и его наполнение объектами нерегулярной формы, соответствующими нарушению сплошности металла.

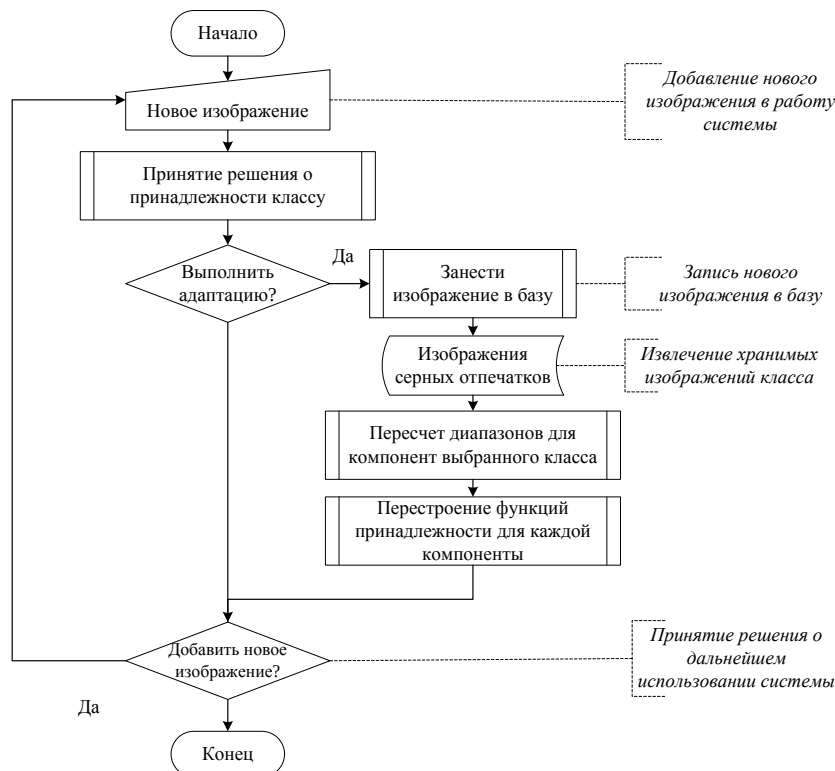


Рис. 7. Блок-схема методики классификации на основе теории нечеткой логики

РЕЗУЛЬТАТЫ

Реализация описанных методик выполнена в виде программного продукта «Cascade - Sulphur Print».

Для каждого класса изображений были получены гистограммы, имеющие характерные отличия в форме: 1) гистограммы изображений класса *A* унимодальны, так как фон и объект исследования имеют сравнительно одинаковую яркость. Значимые уровни яркости занимают узкую (10-15% в диапазоне [215, 255]) полосу, характеризуя низкий контраст изображений. Полоса смещена к левому краю, что свидетельствует о высокой яркости изображений;

2) для гистограмм изображений класса *B* характерно наличие двух выраженных пиков, сопоставимых по площади, так как фон и объект исследования имеют различную яркость. Значимые уровни яркости занимают полосу шириной 40-50% в диапазоне [140, 255] – изображение имеет нормальную контрастность;

3) гистограммы изображений класса *C* также имеют два пика, однако левый пик занимает более широкую полосу и меньшее максимальное значение. Фон и объект исследования имеют существенно отличающуюся яркость.

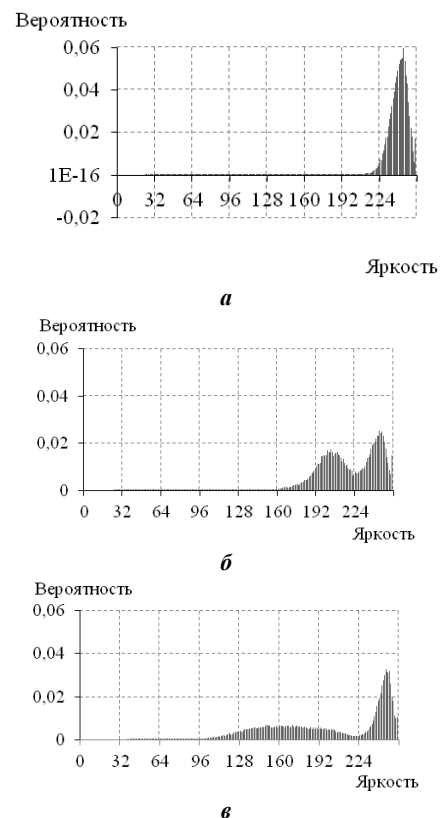
Ширина полосы значимых уровней яркости 70% в диапазоне [80, 255], что соответствует высококонтрастному изображению.

Оценка полученных гистограмм по каждому классу показала, что:

1) гистограмма полутонового изображения является достаточной для классификации изображений, так как отклонение положений порога и максимумов канальных гистограмм по сравнению с гистограммой полутонового изображения составляет не более 15%; 2) начальное предположение о разделении выборки изображений на три класса подтверждено результатами вычислительного эксперимента и появилась необ-

ходимость в разработке методики идентификации формы гистограммы изображении серного отпечатка.

Для каждого класса изображений построены усредненные нормированные гистограммы. Эти гистограммы были приняты как эталонные, на рис. 8 приведены эталонные гистограммы для каждого из классов.

Рис. 8. Средние нормализованные гистограммы для классов изображений: а – для изображений класса *A*; б – для изображений класса *B*; в – для изображений класса *C*

Форма построенных гистограмм позволила выдвинуть гипотезу о возможности классификации изображений по форме гистограммы.

По результатам анализа гистограмм предложена адаптивная функция отображения каждого изображения в один из трех классов:

$$R = \sum i \cdot ((m_{i\min} \leq m \leq m_{i\max}) \wedge (T_{i\min} \leq T \leq T_{i\max}) \wedge (M_{i\min} \leq M \leq M_{i\max})),$$

где R – множество возможных решений, состоящее из четырех элементов $\{0, 1, 2, 3\}$, значение которого соответствуют группам изображений: 1 – группа A ; 2 – группа B ; 3 – группа C ; 0 – группа, объединяющая изображения, не входящие ни в одну из групп классификации; $m_{i\min}$, $m_{i\max}$, $T_{i\min}$, $T_{i\max}$, $M_{i\min}$, $M_{i\max}$ – эмпирические границы диапазона порога, максимума слева и максимума справа, определенные на основе эмпирического исследования и адаптируемые при обучении системы принятия решения о классификации изображений; m , T , M – количественные характеристики гистограммы изображения, выбранного для классификации: максимум слева, порог и максимум справа соответственно.

В результате анализа диаграмм было выдвинуто предположение о наличии областей неоднозначной идентификации. Выполнив сортировку эмпирических параметров по возрастанию и проанализировав их расположение на оси яркости точек изображений, получили подтверждение выполненного предположения для исходного эмпирического материала.

Для каждого класса получено аналитическое правило принадлежности класса:

1) $\forall M (M \in [M_{\min A}; M_{\max A}]) \Rightarrow (A \subset B)$, т.е. для любого кортежа (m, T, M) , где $M \in [M_{\min A}; M_{\max A}]$ гистограммы идентифицируются двумя значениями из множества R (рис. 9);

2) $\forall M (M \in [M_{\min C}; M_{\max A}]) \Rightarrow (A \subset C)$, т.е. для любого кортежа (m, T, M) , где $M \in [M_{\min C}; M_{\max A}]$ гистограммы также идентифицируются двумя значениями из множества R (см. рис. 9);

3) $\forall m (m \in [m_{\min B}; m_{\max C}]) \wedge \forall T (T \in [T_{\min B}; T_{\max C}]) \wedge \forall M (M \in [M_{\min C}; M_{\max C}]) \Rightarrow (B \subset C)$, т.е. для любого кортежа (m, T, M) , где $m \in [m_{\min B}; m_{\max C}]$, $T \in [T_{\min B}; T_{\max C}]$ и $M \in [M_{\min C}; M_{\max C}]$ соответствующая компонента гистограмм из класса C , гистограммы идентифицируются двумя значениями из множества R .

Представив полученные области неоднозначной идентификации в виде логических выражений получим:

$$\begin{aligned} 1: & (M_{\min A} < M < M_{\max A}) \rightarrow (A \subset B) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (M_{\min A} < M < M_{\max A}) \vee (A \subset B); \\ 2: & (M_{\min C} < M < M_{\max A}) \rightarrow (A \subset C) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (M_{\min C} < M < M_{\max A}) \vee (A \subset C); \\ 3: & (m_{\min B} < m < m_{\max C}) \wedge (T_{\min C} < T < T_{\max C}) \wedge \\ & \Rightarrow (M_{\min A} < M < m_{\max C}) \rightarrow (B \subset C) \Rightarrow \\ & \Rightarrow (m_{\min B} < m < m_{\max C}) \vee (T_{\min C} < T < T_{\max C}) \vee \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \vee (M_{\min A} < M < m_{\max C}) \vee (B \subset C). \\ & (M_{\min A} < M < m_{\max C}) \rightarrow (B \subset C) \Rightarrow \end{aligned}$$

Тогда всю область неоднозначной идентификации можно записать в виде

$$\begin{aligned} X(R) = & (m_{\min B} < m < m_{\max C}) \wedge (T_{\min C} < T < T_{\max C}) \wedge \\ & \wedge (M_{\min A} < M < m_{\max C}) \\ & \rightarrow ((A \subset B) \vee (A \subset C) \vee (B \subset C)). \end{aligned}$$

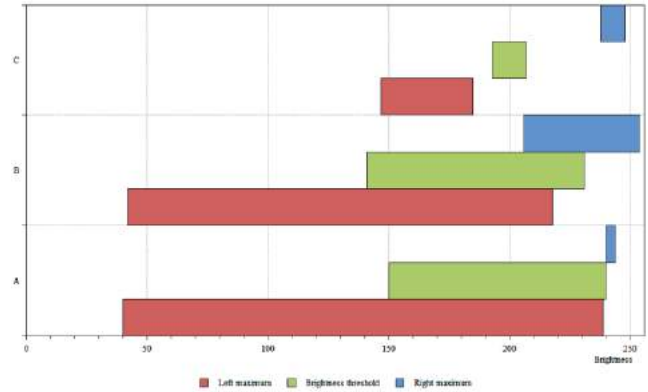


Рис. 9. Области неоднозначной идентификации отображения $X(R)$

В итоге получили:

1) при использовании методики классификации изображений на основе формообразующих характеристик гистограммы возникают области неоднозначной идентификации;

2) размер областей неоднозначной идентификации составляет: $m_B \cap m_C = [179; 185]$, $T_B \cap T_C = [206; 207]$, $M_A \cap M_B = [240; 244]$, $M_A \cap M_C = [240; 244]$, $M_B \cap M_C = [238; 248]$;

3) количество изображений, которые при классификации попали в область неоднозначной идентификации, составило: 31% – между классами A и B ; 18% – между классами A и C ; 78% – между классами B и C ;

4) уточнение классификационных признаков можно произвести при увеличении точек сравнения с эталонной гистограммой.

На основе формообразующих гистограмм однозначно классифицировалось только 22 % исходных изображений.

Для оставшихся 78% неоднозначно идентифицированных изображений были рассчитаны расстояния трех видов и выполнена оценка принадлежности каждому классу. В качестве правила принадлежности было выбрано: изображение относится к заданному классу, если по всем трем видам расстояний получаем минимальное значение.

Если ввести обозначение S_{ij} – расстояние с номером i до класса с номером j , то получим матрицу:

Вид расстояния, i		Класс, j		
		A	B	C
	1		2	3
Чебышева	1	S_{11}	S_{12}	S_{13}
Евклида	2	S_{21}	S_{22}	S_{23}
Манхэттенское	3	S_{31}	S_{32}	S_{33}

Для введенных обозначений получили аналитическую запись условия принадлежности классу

$$\forall i = \overline{1,3} \exists j = \text{const} (S_{i\min} = d_{ij}) \rightarrow I \in K_j,$$

где $S_{i\min}$ – минимальное расстояние вида $i = \overline{1,3}$; I – формальное обозначение объекта-изображения; K_j – обозначение класса с номером $j = \overline{1,3}$.

На **рис. 10** приведены диаграммы с расчетными значениями расстояний каждого вида для однозначно классифицированного изображения. Для каждой серии рисунков получаем матрицу расстояний:

для **рис. 10, а**

	A	B	C
1	0,0320	0,0120	0,0230
2	0,0100	0,0022	0,0060
3	0,0038	0,0012	0,0037

для **рис. 10, б**

	A	B	C
1	0,0104	0,017	0,0095
2	0,0028	0,010	0,0085
3	0,0008	0,0041	0,0048

Для **рис. 10, а** все минимальные расстояния соответствуют классу Б, следовательно, изображение классифицируется однозначно. Для **рис. 10, б** получаем неоднозначную классификацию к классам А и С. Для этого случая необходимо перейти к третьему каскаду. На втором каскаде однозначно было идентифицировано 70% оставшихся изображений.

На третьем каскаде однозначно идентифицированы все оставшиеся изображения. Результаты классификации представлены в **таблице**.

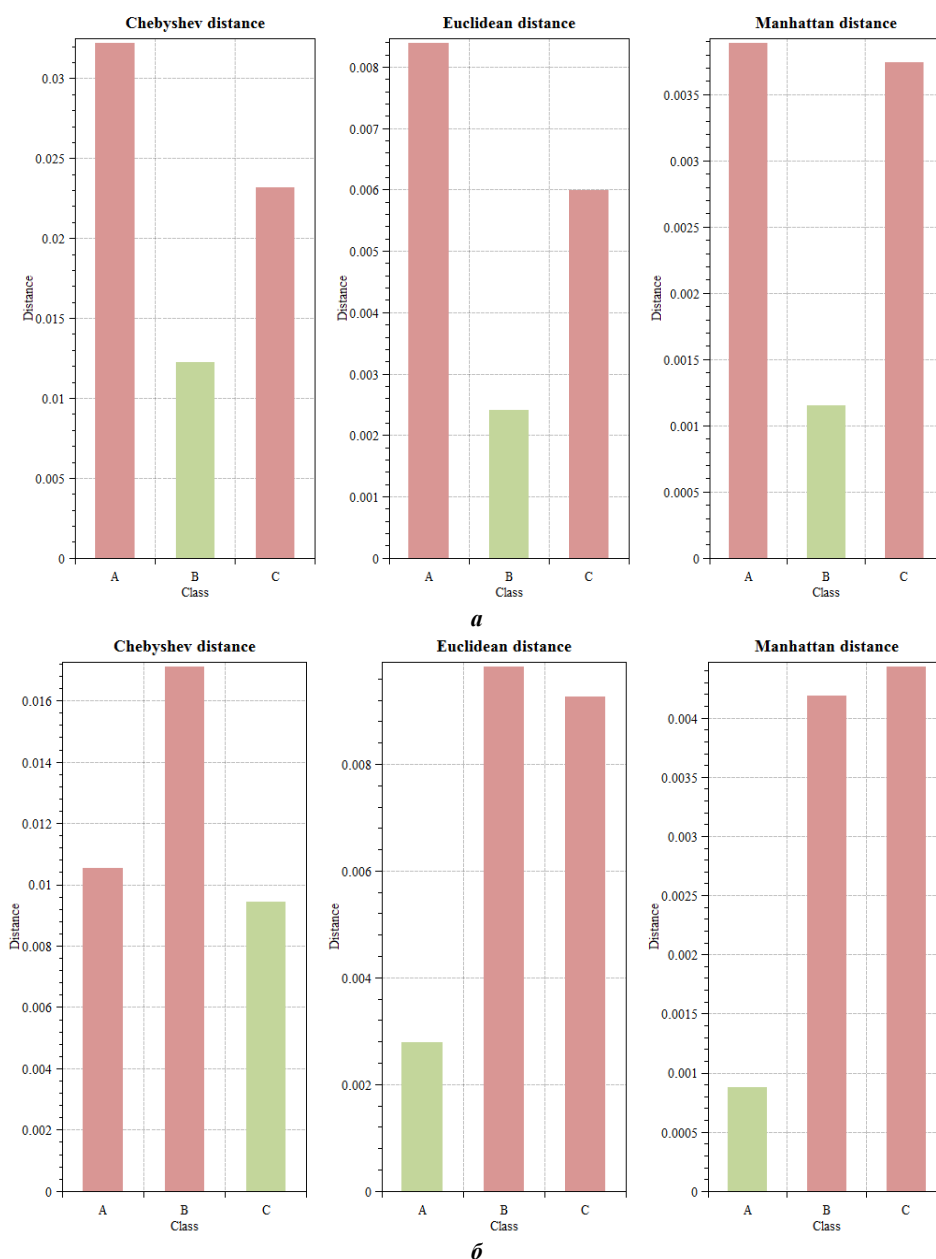


Рис. 10. Диаграммы с расчетными значениями расстояний каждого вида:

а – для однозначно классифицированного изображения; **б** – для неоднозначно классифицированного изображения

Результаты классификации изображений после применения методики каскадной классификации

№	Имя изображения в проекте	Результат классификации			
		визуальная	формообразующие характеристики	расстояния	нечеткие множества
1	29.tiff	A	A, B, C	C, A	A
2	30.tiff	A	A, B, C	C, A	A
3	31.tiff	A	A, B, C	C, A	A
4	32.tiff	A	A, B, C	C, A	A
5	01.tiff	B	B, C	B	B
6	02.tiff	B	A, B, C	C, B	B
7	03.tiff	B	B	B	B
8	04.tiff	B	B, C	C, B	B
9	05.tiff	B	A, B, C	C, B	B
10	06.tiff	B	B, C	C, B	B
11	07.tiff	B	B	B	B
12	08.tiff	B	B, C	B	B
13	09.tiff	B	B, C	B	B
14	10.tiff	B	B, C	C, B	B
15	11.tiff	B	B, C	B	B
16	12.tiff	B	B, C	C, B	B
17	13.tiff	B	B	B	B
18	14.tiff	B	B, C	B	B
19	15.tiff	B	B, C	B	B
20	16.tiff	B	A, B, C	B	B
21	17.tiff	B	A, B, C	B	B
22	18.tiff	B	A, B, C	B	B
23	19.tiff	B	B, C	B	B
24	20.tiff	B	A, B, C	B	B
25	21.tiff	B	B, C	B	B
26	22.tiff	C	B, C	C	C
27	23.tiff	C	B, C	C	C
28	24.tiff	C	B, C	C	C
29	25.tiff	C	B, C	C	C
30	26.tiff	C	A, B, C	C	C
31	27.tiff	C	A, B, C	C	C

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам эксперимента-обследования подготовлена база изображений серных отпечатков и на основе визуального изучения изображений выделены основные структурные части: «объект исследования» и «фон». По отношению яркости выделенных частей предложено все изображения разделить на три класса – А, В и С. Отнесение изображений к одному из выделенных классов определяет траекторию дальнейшей обработки каждого изображения.

2. В качестве основной характеристики изображения серного отпечатка выбрана гистограмма яркости. Для каждого предполагаемого класса выполнено построение нормированной эталонной гистограммы, форма которой может быть охарактеризована тремя основными формообразующими показателями и 256 уровнями яркости.

3. Разработана методика классификации изображения серного отпечатка на основе функции принадлежности по трем формообразующим признакам гистограммы. По результатам работы этой методики 22 % изображений были отнесены в область однозначной классификации.

4. Для изображений, отнесенных к области неоднозначной идентификации, построена методика, основанная на расчете расстояния Чебышева для 256 уров-

ней гистограммы. После использования этой методики классифицировано 70% оставшихся изображений.

5. Для устранения областей неоднозначной идентификации предложена методика, основанная на использовании теории нечетких множеств для сложно-структурированной лингвистической переменной «Изображение», содержащей шесть компонент. Для каждой компоненты введены терм-множества и функции принадлежности на основании рекомендаций экспертов. На третьем каскаде все изображения классифицированы однозначно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Logunova O.S., Matsko I.I., Posohov I.V., Luk'ynov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, no.74(9-12), pp. 1407-1418, doi: 10.1007/s00170-014-6056-4.
2. Matsko I.I. Snegirev Y.V., Logunova O.S. Data Acquisition and Preparation Methods for Continuously Cast Billets Quality Analysis Software, Applied Mechanics and Materials, 2012, no.110-116, pp. 3557-3562. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.3557
3. Logunova O.S. Internal-defect formation and the thermal state of continuous-cast billet, Steel in Translation, 2008, no.38(10), pp. 849-852, doi: 10.3103/S0967091208100148.
4. Chapeiie O., Haffner P., Vapnik V. Support Vector Machines for Histogram-Based Image Classification, IEEE Transac-

tions on neural networks, 1999, no. 10(5), pp. 1055 – 1064.

5. Foody, G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Suuport Vector Machines, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2008, no.42(6), pp.1335–1343.

6. Michael J.L., Budynek J., Akamatsu S. Automatic Classification of Single Facial Images, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1999, no.21(12), pp. 1357 – 1362.

7. Leemput K.V., Maes F., Vandermeulen D., Suetens P. Automated Model-Based Tissue Classification of MR Images of the Brain, IEEE Transactions on medical imaging, 1999, no.18(10), pp. 897 – 908.

8. Varma M. Zisserman A. A Statistical Approach to Texture Classification from Single Images, International Journal of Computer Vision, 2005, no.62(1/2), pp. 61–81.

9. Wang F. Fuzzy Supervised Classification of Remote SensingImages, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 1990, no.28(2), pp. 194–201.

10. Wang F., Newkirk R. Design and implementation of knowledge-base system for remotely sensed change detection, J. Imaging Techn, 1987, no.13, pp. 116 – 122.

11. Cannon R.L., Dave J.V., Bezdek J.C., Kolsky H.G. Segmentation of a thematic Mapper Image using the fuzzy c-means clustering algorithm, IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing, GE-24, 1986, pp. 400–408.

12. Morlini I., Zani S. A New Class of Weighted Similarity Indices Using Polytomous Variables, Journal of Classification, 2012, no.29(2), pp. 199–226, doi: 10.1007 / s00357-012-9107-2.

13. Giordani P., Kiers H. FINDCLUS: Fuzzy INdividual Differences CLUstering, Journal of Classification, 2012, no.29(2), pp. 170–198, doi: 10.1007 / s00357-012-9109-0.

14. Contreras P., Murtagh F. Fast, Linear Time Hierarchical Clustering using the Baire Metric, Journal of Classification, 2012, № 29(2), pp. 118-143, doi: 10.1007 / s00357-012-9106-3.

15. Bar-Hen A., Gey S., Poggi J.-M. Influence Measures for CART Classification Trees, Journal of Classification, doi: 10.1007/s00357-015-9172-4.

16. Шестаков А.Л., Свиридюк Г.А. О новой концепции белого шума // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2012. № 19(2). С. 287-288.

17. Шестаков А.Л. Свиридюк Г.А., Худяков Ю.В. Динамические измерения в пространствах «шумов» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2013. № 13(2). С. 4-11.

18. Poynton C. Rehabilitation of gamma, Photonics West'98 Electronic Imaging. International Society for Optics.

19. A Standard Default Color Space for the Internet – sRGB, M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, R. Motta., 1996. URL: <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>.

20. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2005. 1104 с.

21. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

22. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. М.: Мир, 1982. Кн.1, 312 с.

23. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, no.9(1), pp. 62-66.

24. Ridler T.W. and S. Calvard, Picture thresholding using an iterative selection method, IEEE Trans. System, Man and Cybernetics, SMC-8, 1978, pp. 630-632.

25. ОСТ 14-1-236-91. Сталь. Метод контроля макро-структуры непрерывнолитой заготовки для производства сортового проката и трубных заготовок. Взамен ОСТ 14-4-73 в части непрерывнолитой заготовки квадратного сечения. – Введ. 1992–01–01. М.: Министерство металлургии СССР, 1991. 37 с.

INFORMATION IN ENGLISH

CASCADE CLASSIFICATION OF SULPHUR PRINT IMAGES OF CONTINUOUS CAST BILLET TRANSVERSE TEMPLATE

Posokhov I.A., Logunova O.S., Mikov A.Yu., Matsko I.I., Pavlov V.V.

The article is concerned with the results of research of sulphur print images of transverse template of a continuous cast billet. It is believed that the reliability of information about the billet quality is quite low. Visual assessment of the image results in a subjective estimation, which is influenced greatly by human factor. The authors developed a scheme of control points distribution aimed at graphic information acquisition in the process of billet manufacture.

It was suggested to divide the images into three classes by the object (template) brightness-background ratio. In the course of algorithm sophistication the authors offered a cascade method of image classification. The method consists of image assessment by shape forming characteristics of the histogram, by the distance to the reference normalized histograms and on the basis of fuzzy logic methods.

The following results were obtained in the course of experimental operation of the cascade method: the simplified method making use of the shape forming characteristics uniquely identified 22% of all images, the simplified method taking into account the distance to the reference normalized histograms identified 70% of the remaining images and only fuzzy logic method made it possible to uniquely identify the rest of the images. The full classification can be achieved only when all cascades of the developed method are applied.

Keywords: sulphur print images, image histogram, shape

forming characteristics, distance between the objects, rules of object identification, cascade classification.

REFERENCES

1. Logunova O.S., Matsko I.I., Posokhov I.V., Luk'ynov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, no.74(9-12), pp. 1407-1418, doi: 10.1007/s00170-014-6056-4.

2. Matsko I.I. Snegirev Y.V., Logunova O.S. Data Acquisition and Preparation Methods for Continuously Cast Billets Quality Analysis Software, Applied Mechanics and Materials, 2012, no.110-116, pp. 3557-3562. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.3557

3. Logunova O.S. Internal-defect formation and the thermal state of continuous-cast billet, Steel in Translation, 2008, no.38(10), pp. 849-852, doi: 10.3103/S0967091208100148.

4. Chapeie O., Haffner P., Vapnik V. Support Vector Machines for Histogram-Based Image Classification, IEEE Transactions on neural networks, 1999, no. 10(5), pp. 1055 – 1064.

5. Foody, G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Suuport Vector Machines, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2008, no.42(6), pp.1335–1343.

6. Michael J.L., Budynek J., Akamatsu S. Automatic Classification of Single Facial Images, IEEE Transactions on

pattern analysis and machine intelligence, 1999, no.21(12), pp. 1357 – 1362.

7. Leemput K.V., Maes F., Vandermeulen D., Suetens P. Automated Model-Based Tissue Classification of MR Images of the Brain, *IEEE Transactions on medical imaging*, 1999, no.18(10), pp. 897 – 908.

8. Varma M. Zisserman A. A Statistical Approach to Texture Classification from Single Images, *International Journal of Computer Vision*, 2005, no.62(1/2), pp. 61–81.

9. Wang F. Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 1990, no.28(2), pp. 194–201.

10. Wang F., Newkirk R. Design and implementation of knowledge-base system for remotely sensed change detection, *J. Imaging Techn.*, 1987, no.13, pp. 116 – 122.

11. Cannon R.L., Dave J.V., Bezdek J.C., Kolsky H.G. Segmentation of a thematic Mapper Image using the fuzzy c-means clustering algorithm, *IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing*, GE-24, 1986, pp. 400–408.

12. Morlini I., Zani S. A New Class of Weighted Similarity Indices Using Polytomous Variables, *Journal of Classification*, 2012, no.29(2), pp. 199–226, doi: 10.1007 / s00357-012-9107-2.

13. Giordani P., Kiers H. FINDCLUS: Fuzzy INdividual Differences CLUStering, *Journal of Classification*, 2012, no.29(2), pp. 170–198, doi: 10.1007 / s00357-012-9109-0.

14. Contreras P., Murtagh F. Fast, Linear Time Hierarchical Clustering using the Baire Metric, *Journal of Classification*, 2012, № 29(2), pp. 118-143, doi: 10.1007 / s00357-012-9106-3.

15. Bar-Hen A., Gey S., Poggi J.-M. Influence Measures for CART Classification Trees, *Journal of Classification*, doi: 10.1007/s00357-015-9172-4.

16. Shestakov A.L., Sviridyuk G.A. *O novoy kontseptsii belogo shuma* [New Concept of White Noise], *Obozrenie*

prikladnoy i promyshlennoy matematiki [Overview of Applied and Industrial Mathematics], 2012, no.19(2), pp. 287-288.

17. Shestakov A.L. Sviridyuk G.A., Khudyakov Yu.V. *Dinamicheskie izmereniya v prostranstvakh shumov* [Dynamic Measurements in the Region of “Noises”], *Bulletin of the South-Ural State University. Series: Computer Technologies, Control, Radioelectronics*, 2013, no. 13(2), pp. 4-11.

18. Poynton C. Rehabilitation of gamma, *Photonics West'98 Electronic Imaging. International Society for Optics*.

19. A Standard Default Color Space for the Internet – sRGB, M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, R. Motta., 1996. URL: <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>.

20. Gonsales R., Woods R. *Tsifrovaay obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing], Moscow: Tekhnosfera, 2005, 1104 p.

21. Shapiro L., Stockman J. *Kompyuternoe zrenie* [Computer Vision], Moscow, BINOM. Laboratory of knowledge, 2006, 752 p.

22. Prett Y. *Tsifrovaay obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing], translated from English, Moscow, Mir, 1982, book 1, 312 p.

23. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, no.9(1), pp. 62-66.

24. Ridler T.W. and S. Calvard, Picture thresholding using an iterative selection method, *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, SMC-8, 1978, pp. 630-632.

25. OST 14-1-236-91. Steel. Method of Macrostructure Control in Continuous Cast Billet for Bar Section and Tube Stock Production. In substitution of OST 14-4-73 in the part of Continuous Cast Billet, Introduction, 1992–01–01, Moscow, Department of Metallurgy, USSR, 1991, 37 p.

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.1

Ефимова И.Ю., Мовчан И.Н.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ БИЗНЕСА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА
БАКАЛАВРОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»**

В статье рассмотрены методические аспекты обучения основам бизнеса и предпринимательства бакалавров направления «Педагогическое образование» с использованием компетентностного подхода. Одним из приоритетных направлений государственной политики в системе профессионального образования является его ориентация на новые федеральные государственные образовательные стандарты, использующие в образовании компетентностный подход. Описано применение разработанного ЭУМК по дисциплине «Основы бизнеса и предпринимательства» для бакалавров, обучающихся по направлению 050100.62 «Педагогическое образование».

Ключевые слова: информатика, информационно-образовательная среда, информационные технологии, компетенции, компетентность, компетентностный подход в образовании, новые образовательные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений государственной политики в системе профессионального образования является его ориентация по разным специальностям и направлениям профессиональной подготовки в согласовании с федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС), указывающими главные требования к квалификации выпускников [23]. Основная специфическая особенность этого подхода заключается в том, что происходит замена формирования традиционных знаний, умений и навыков на формирование компетенций. Все это базируется на том, что современная экономика ориентирована на специалистов, которые владеют не разрозненными знаниями, а обобщенными умениями, выражающиеся в решении как жизненных, так и профессиональных проблем, способности к общению, что особенно актуально для профиля «Информатика и экономика» направления «Педагогическое образование».

Применение компетентностного подхода в системе профессионального образования может ограничиваться традиционными учебниками и другими учебными средствами, которые ориентированы на «знания-умения-навыки». Разработка любого учебного, методического обеспечения процесса подготовки будущих специалистов в системе профессионального образования, как правило, начинается с федеральных государственных образовательных стандартов, что, несомненно, сказывается на структуре и содержании учебных средств.

ФГОС ВПО по направлению «ПО» с двумя профилями – информатика и экономика предполагает широкое использование интерактивных форм проведения занятий [23].

Среди интерактивных форм обучения будущих специалистов может быть применение в образовательном процессе электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК), которые позволяют комплексно подходить к решению важных дидактических задач. ЭУМК предназначены для формирования практических навыков работы в предметной области и оказания помощи в изучении и систематизации теоретических знаний.

ЭУМК по дисциплине «Основы бизнеса и предпринимательства» для бакалавров, обучающихся по направлению 050100.62 «Педагогическое образование», состоит из отдельных модулей. Переходы от одного обучающего элемента (дидактической единицы) к другому должны быть дифференцированы соответственно уровню сформированных у студентов компетенций в области бизнеса и предпринимательства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретико-методологическую основу исследования составляют работы в области разработки учебно-методического комплекса В.П. Беспалько, М.А. Галагузова, И.В. Костенко и др.; вопросы методики разработки и использования электронных учебно-методических комплексов в учебном процессе высшей школы изучены В.П. Демкиным, Е.В. Ефимовой, Т.А. Королевич, И.Д. Белоусова [19] и др.; использование модульного обучения в отечественной и зарубежной практике М.В. Кларина, В.М. Монахова, Г.К. Селевко, М.А. Чошанова и др.; практика оценивания и определения оценки качества обучения в отечественной и зарубежной психологии и педагогики в исследованиях Ю.К. Бабанского, И.А. Зимней, А.К. Марковой и др.; идеи информатизации образования К.К. Колин, А.Ю. Уваров, С.В. Осипова, М.Г. Трифонова, И.Н. Мовчан [17] и др.; основоположниками системного подхода являются А. А. Богданов, Г. Саймон, П. Друкер, А. Чандлер; научные труды в области теории компетентностного подхода В.И. Байденко, А.К. Маркова, А.В. Хуторской, И.Д. Белоусова [2] и др.; контекстный подход: А.А. Вербицкий, Н.Б. Лаврентьева, В.С. Леднев и др.; модульный подход: Н.В. Борисова, К.Я. Вашина, Н.Б. Лаврентьева, А.В. Макаров.

Вопросам использования новых информационных технологий в учебном процессе посвящены работы М.П. Лапчика, Д.Ш. Матрос, Е.С. Полат, А.М. Агдавлетовой [1], И.Д. Белоусовой [3, 4], И.Ю. Ефимовой [6-8], И.Н. Мовчан [14, 16, 18], проблемы совершенствования процесса обучения студентов в вузе рассматриваются в работах И.Ю. Ефимовой [5, 9], Л.В. Курзаевой [10], М.В. Махмутовой [11], И.Н. Мовчан [12, 13, 15], Т.Н. Сахновой [20], Г.Н. Чусавитиной [21, 22].

Для решения поставленных задач использованы следующие методы исследования: теоретические (ана-

лиз философской, психолого-педагогической, методической литературы, нормативных документов, учебных программ, учебных пособий и методических материалов для профессиональных учебных заведений); эмпирические (наблюдение, анкетирование преподавателей в области информационных технологий и экономики, беседа, опрос и тестирование студентов, наблюдение за учебным процессом, мониторинг, опытно-поисковая работа); общенаучные (систематизация, педагогическое моделирование, проектирование и конструирование, методы квалитметрии и экспертных оценок); методы математической статистики.

Теоретическая значимость заключается в систематизации материала по проблеме исследования и построении модели методики обучения основам бизнеса и предпринимательства бакалавров направления «Педагогическое образование» на основе ЭУМК». Определены критерии (мотивационный, когнитивный, деятельностный, личностный), показатели (полнота усвоения материала, прочность усвоения материала, полнота овладения умениями, прочность владения умениями, мотивация к успеху, активность, удовлетворенность своими достижениями, самостоятельность, креативность) и уровни (высокий, средний и низкий) сформированности компетенций в области основ бизнеса и предпринимательства.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенностями ФГОС-3, в отличие от первого и второго поколения, являются компетентностный подход и ориентация не на содержание дисциплин, а на результат обучения; увеличение доли самостоятельной работы студента; выражение трудоемкости в зачетных единицах; модульная организация обучения; большая роль интерактивных форм проведения занятий.

Ведущими целевыми установками в реализации ФГОС ВПО третьего поколения являются компетенции, полученные студентами в ходе обучения.

Компетентностный подход предполагает иную роль студента в учебном процессе. Студент должен уметь самостоятельно мыслить и быть готовым к реальным жизненным ситуациям. В этой связи появляется необходимость корректировки учебных программ, и в частности, программы по обучению основам бизнеса и предпринимательства, приведение их в соответствие с требованиями нового ФГОС: образовательные программы дисциплины должны быть ориентированы на повышение качества подготовки специалистов на основе создания механизмов эффективного освоения студентами компетенций, необходимых в профессиональной деятельности. При этом, если раньше учебные программы дисциплины определяли цели, содержание, объем и порядок изучения дисциплины, то теперь учебные программы содержат список результатов образования, формируемых дисциплиной с указанием соответствующих компетенций, список основных образовательных технологий, используемых для формирования компетенций, список типовых заданий для контроля и самооценки уровня заявленных в дисциплине результатов образования (компетенций).

Способность к предпринимательской деятельности сегодня предстает как интегрированное качество личности, включение выпускников школ и вузов в со-

временные производственные, трудовые, обслуживающие процессы, способствующие обретению опыта преобразовательной деятельности, в которой проявляются функциональные и морально-волевые свойства человека. Формирование готовности учащихся к предпринимательской деятельности – длительный и многоэтапный процесс, который предполагает допрофессиональную подготовку школьников, собственно профессиональное обучение, затем вхождение в практику реального предпринимательства.

Причина кризиса знаниевой парадигмы образования лежит в противоречии профессионального образования и современной экономики. Среди причин, также вызвавших кризис традиционной парадигмы образования, называют устаревание информации, которое происходит гораздо быстрее, чем завершается естественный процесс обучения в высшей школе.

Разработка профессиональных образовательных стандартов нового поколения, внедрение инновационных педагогических технологий и стремительное развитие инфо- и телекоммуникационного оборудования требует от системы профессионального образования совершенствования электронных образовательных ресурсов, их более активного использования и применения на учебных занятиях с целью формирования профессиональных компетенций будущих специалистов и рабочих.

Решением данной задачи может стать внедрение в образовательный процесс программных средств учебного назначения, в том числе электронных учебно-методических комплексов, которые позволят принципиально по-новому организовать самостоятельную работу будущих специалистов.

Дисциплина «Основы бизнеса и предпринимательства» относится к базовой части профессионального цикла дисциплин. Целью изучения дисциплины «Основы бизнеса и предпринимательства» является формирование у студентов достаточного уровня знаний и практических навыков по основам бизнеса и предпринимательской деятельности, основам использования современных методов планирования и управления в бизнесе, овладение методологией оценки и анализа социально-экономических процессов и явлений, расширение уровня знаний в бизнесе и предпринимательской деятельности.

Задачи дисциплины:

- изучение предпринимательства как комплексного фактора современной цивилизации;
- изучение этапов становления и эволюции данного понятия в трудах представителей основных отечественных и зарубежных экономических школ;
- ознакомление с современным механизмом функционирования рыночной экономики и предприятий различных организационно-правовых форм;
- изучение процесса создания собственного дела в различных организационно-правовых форм, начиная с возникновения предпринимательской идеи и заканчивая механизмом функционирования фирмы, предпринимателей, их связей с потребителями, хозяйствующими партнерами, наемными работниками, государством и др.;
- изучение Законодательства Российской Федерации, в части регулирования предпринимательской деятельно-

сти;

- формирование навыков оценки перспективы развития предпринимательства как инструмента социальных преобразований в контексте современных экономических и политических реалий;
- формирование теоретических и практических навыков хозяйственного и бизнес-планирования, регулирования и менеджмента.

В качестве основного средства преподавания курса «Основы бизнеса и предпринимательства» мы будем использовать электронный учебно-методический комплекс, созданный с помощью визуального редактора Microsoft Office FrontPage. Это авторское средство разработки на основе метода «маркеры» согласно классификации, предложенной Джеми Сиглара, применяется для создания гипертекстовых страниц с помощью специальных команд разметки текстовых файлов – тегов. При запуске ЭУМК студенту предоставляется справочное пособие в виде презентации, где подробно расписан ход работы с данным ЭУМК.

В модуле «Рабочая программа» определяются цели, задачи, содержание, а также порядок изучения и преподавания учебной дисциплины. В модуле комплекса «Практикум» представлена тематика и содержание лабораторных работ. В модуле «Учебник» теоретический материал по темам, вопросы для самоконтроля, а также представлены лабораторные и другие задания после каждой темы для наглядности и удобства обращения к лекциям во время выполнения заданий. «Глоссарий» включает в себя основные термины в алфавитном порядке, в «Хрестоматии» представлены материалы из учебников, монографий, публикаций из периодических изданий и др. Под модулем «Контроль знаний» мы будем понимать измерение и оценивание знаний, умений и навыков студентов.

Для преподавания дисциплины «Основы бизнеса и предпринимательства» для бакалавров направления «Педагогическое образование» используются следующие формы обучения:

- традиционные лекции, семинары, самостоятельная работа, тесты, рефераты, дискуссии;
- лекции-визуализации (с использованием компьютерных презентаций), кейс-технологии, семинарские и лабораторные работы с использованием средств ИКТ, контроль знаний студентов с применением интерактивного тестирования, кроссворд, творческая проектная работа студентов с применением средств ИКТ.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение проблемы эффективного усвоения содержания дисциплины «Основы бизнеса и предпринимательства» предполагает выбор теоретико-методологической стратегии, методико-технической тактики, в качестве которой может использоваться сразу несколько подходов. Таковыми, по нашему мнению, являются системный, контекстно-модульный, компетентностный подходы. Данные подходы, содержащие в себе научный аппарат исследования и идеи реализации конкретной исследовательской задачи, базируясь на компетентностном подходе, взаимодополняют друг друга, интегрируют в себе лучшие стороны для достижения поставленной нами цели исследования.

Диагностика результатов доказала, что наиболее

успешно процесс формирования компетенций у студентов университета идет при обучении с помощью ЭУМК. В экспериментальной группе в среднем количество студентов высокого уровня увеличилось на 43%. Количество студентов контрольной группы увеличилось только на 7%. Количество студентов низкого уровня в экспериментальной группе в среднем уменьшилось на 25%, а в контрольной лишь на 13%.

Определяя перспективы исследования, мы отмечаем, что результаты исследования охватили не весь спектр возможностей образовательного процесса по методике преподавания курса с использованием ЭУМК и по формированию компетентностей у студентов университета, не все направления данной проблемы изучены нами в полной мере. Дальнейшая работа по изучению рассматриваемой проблемы может быть посвящена следующим направлениям: исследование методики формирования и оценки уровня профессиональных компетенций на основе ЭУМК при дистанционном обучении; разработка и внедрение в ЭУМК модуля «Электронный журнал», создание базы данных с результатами контроля студентов; разработка альтернативных методов и методик диагностики уровня сформированности компетенций у студентов в условиях дистанционного образования; привлечение новых информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агдавлетова А.М. О методике преподавания дисциплины «Информационные системы и технологии» // Гуманитарные научные исследования. 2015. № 3(43). С. 67-69.
2. Белоусова И.Д. Базовый инструментарий разработки основных образовательных программ в парадигме компетентностного подхода (на примере информационных систем) // Международный журнал экспериментального образования. 2013. №10. С.12-15.
3. Белоусова И.Д. Введение информационных технологий в процесс обучения студентов вуза: монография. Магнитогорск, 2009, 141 с.
4. Белоусова И.Д. Профессиональные стандарты в сфере обучения ИТ-специалистов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современное общество, образование и наука»: в 16 ч. Тамбов, 2015. С. 20-21.
5. Веремеенко О.О., Ефимова И.Ю. Информационный менеджмент в образовании // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современное общество, образование и наука»: в 16 ч. Тамбов. 2015. С. 32-33.
6. Ефимова И.Ю., Бритикова В.С. Использование информационных технологий в образовании: перспектива дальнейшего развития // Материалы молодежной Всероссийской науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы теории и методики информатики, математики и экономики». 2015. С. 203-208.
7. Ефимова И.Ю., Веремеенко О.О. Использование информационных технологий для осуществления межпредметных связей // Научные труды SWorld. 2013. Т. 27. № 4. С. 53-56.
8. Ефимова И.Ю., Веремеенко О.О. Использование современных информационных технологий в образовании // Материалы молодежной Всероссийской науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы теории и методики информатики, математики и экономики». 2015. С. 208-212.
9. Ефимова И.Ю., Верховцев М.П. Тенденции развития современного профессионального образования // Материалы молодежной Всероссийской науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы теории и методики информатики, математики и экономики». 2015. С. 213-215.

10. Курзаева Л.В., Овчинникова И.Г., Белоусова И.Д. К вопросу о формировании требований к результатам обучения ИТ-специалистов в системе непрерывного профессионального образования // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 174.
11. Махмутова М.В. Формирование модели образовательной информационной среды подготовки специалиста // Сборник научных трудов Sworld. 2007. Т. 14. № 4. С. 85-90.
12. Мовчан И.Н. Инновационные подходы в преподавании информатики в вузе // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 5-2 (37). С. 45.
13. Мовчан И.Н. Использование облачных технологий в образовании // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современное общество, образование и наука»: в 16 ч. Тамбов, 2015. С. 110-111.
14. Мовчан И.Н. К вопросу об использовании технологий дистанционного обучения в вузе // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 9-2 (41). С. 29-33.
15. Мовчан И.Н. Некоторые аспекты информационной подготовки студентов вуза // Сборник научных трудов Sworld. 2008. Т.18. № 1. С. 34-36.
16. Мовчан И.Н. Некоторые аспекты использования современных технологий дистанционного обучения в вузе // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 27. № 4. С. 77-80.
17. Мовчан И.Н. Особенности формирования единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения // Материалы VII междунар. науч.-практ. конф. «Новые информационные технологии в образовании». Екатеринбург. 2014. С. 347-350.
18. Мовчан И.Н. Цифровые образовательные ресурсы:

современные возможности и тенденции развития // Сборник научных трудов Sworld. 2010. Т.26. №4. С. 36-38.

19. Саранцева Д.А., Белоусова И.Д. Особенности разработки электронного учебно-методического комплекса // Сборник науч. тр. II Междунар. конф. «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». Томск. 2015. С. 761-763.
20. Сахнова Т.Н. Педагогические условия формирования профессионального информационного мышления студентов университета дис. ... канд. пед. наук / Сахнова Татьяна Николаевна; Магнитогорский ГУ. Магнитогорск, 2003. 191 с.
21. Чусавитина Г.Н. Развитие компетенций научно-педагогических кадров по обеспечению информационной безопасности в ИКТ-насыщенной среде // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России. 2011. С. 338-345.
22. Чусавитина Г.Н. Организационно-педагогические условия эффективного формирования конкурентноспособности будущих ИТ-специалистов в процессе обучения в вузе // Новые информационные технологии в образовании Материалы Международной научно-практической конференции. Екатеринбург. 2012. С. 521-524.
23. ФГОС ВПО по направлению подготовки 230700 «Прикладная информатика» от 22.12.2009 г. URL: <http://fgosvo.ru/fgosvpo/7/6/1/5>.
24. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации», 2012. URL: http://www.consultant.ru /document /cons_doc_law_140174/.

INFORMATION IN ENGLISH

METHODICAL ASPECTS OF TEACHING FUNDAMENTALS OF BUSINESS AND ENTREPRENEURSHIP IN BACHELOR DEGREE COURSE «TEACHER EDUCATION»

Efimova I.Yu., Movchan I.N.

The article describes some methodological aspects of teaching the fundamentals of business and entrepreneurship in the bachelor degree course "Teacher education" with the competence approach. One of the priority directions of the state policy in the system of vocational education is its focus on the new federal state educational standards focused on the use of competency approach in education. The authors describe the application of the developed EUMK on the subject "Fundamentals of Business and Entrepreneurship" for bachelors enrolled in the course 050100.62 "Teacher Education".

Keywords: computer science, information and educational environment, information technology, competence, competence approach in education, new educational technologies.

REFERENCES

1. Agdavletova A.M. *O metodike prepodavaniya distsipliny "Informatsionnye sistemy i tekhnologii"* [Method of teaching the subject "Information systems and technology"], Humanitarian research, 2015, no.3(43), pp. 67-69.
2. Belousova I.D. *Bazovyi instrumentariy razrabotki osnovnykh obrazovatelnykh program v paradigme kompetentnostnogo podkhoda (na primere informatsionnykh sistem)* [Basic Development Tools Basic Educational Programs in the Paradigm of Competence-based Approach (for example, Information Systems)], International Journal of Experimental Education, 2013, no.10, pp.12-15.
3. Belousova I.D. *Vvedenie informatsionnykh tekhnologiy v protsess obycheniya studentov vuza: monografiya* [Introduction of Information Technology in Learning Process of Students of High School: Monograph], Magnitogorsk, 2009, 141 p.
4. Belousova I.D. *Professionalnye standarty v sfere*

obucheniya it spetsialistov [Professional Standards in the Field of Training of IT Professionals], Materials of the International scientific-practical conference "Modern society, education and science", 16 parts, Tambov, 2015, pp. 20-21.

5. Veremeyenko O.O., Efimova I.Y. *Informatsionnyi menedzhment v obrazovanii* [Information Management in Education], Materials of the International scientific-practical conference "Modern society, education and science", 16 parts, Tambov, 2015, pp. 32-33.
6. Efimova I.Y., Britikova V.S. *Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii: perspektiva dalneyshego razvitiya* [The use of information technologies in education: the prospect of further development], Proceedings of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference "Actual problems of the theory and techniques of computer science, mathematics and economics", 2015, pp. 203-208.
7. Efimova I.Y., Veremeyenko O.O. *Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologiy dlya osuschestvleniya mezhpredmetnykh svyazey* [Use of Information Technology for Implementation of Interdisciplinary Connections], Proceedings SWorld, 2013, vol. 27, no.4, pp 53-56.
8. Efimova I.Y., Veremeyenko O.O. *Ispolzovanie sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii* [The Use of Modern Information Technologies in Education], Materials of All-Russian Youth Scientific and Practical Conference "Actual problems of the theory and techniques of computer science, mathematics and economics", 2015, pp. 208-212.
9. Efimova I.Y., Verkhovtsev M.P. *Tendentsii razvitiya sovremennogo professionalnogo obrazovaniya* [Trends in Development of Modern Professional Education], Materials of All-Russian Youth Scientific and Practical Conference "Actual prob-

lems of the theory and techniques of computer science, mathematics and economics", 2015, pp. 213-215.

10. Kurzaeva L.V., Ovchinnikov I.G., Belousova I.D. *K voprosy o formirovanii trebovaniy k rezultatam obycheniya it spetsialistov v sisteme nepreryvnogo professionalnogo obrazovaniya* [On Formation of Requirements for Results of IT specialists Training in the System of Continuing Professional Education], Modern problems of science and education, 2013, no.4, pp. 174.

11. M.V. Makhmutova *Formirovanie modeli obrazovatel'noy informatsionnoy sredy podgotovki spetsialista* [Formation of Model Educational Information Environment Specialist Training], Collection of scientific works Sworld, 2007, vol. 14, no.4, pp. 85-90.

12. Movchan I.N. *Innovatsionnye podkhody v prepodavanii informatiki v vuze* [Innovative Approaches in Teaching of Computer Science in High School], Modern scientific research and innovation, 2014, no.5-2(37), p. 45.

13. Movchan I.N. *Ispolzovanie oblachnykh tekhnologiy v obrazovanii* [The Use of Cloud Technologies in Education], Materials of the International scientific-practical conference "Modern society, education and science", 16 parts, Tambov, 2015, pp. 110-111.

14. Movchan I.N. *K voprosy ob ispolzovanii tekhnologiy distantsionnogo obucheniya v vuze* [Distance Learning Technologies in High School], Modern scientific research and innovation, 2014, no.9-2(41), pp. 29-33.

15. Movchan I.N. *Nekotorye aspekty informatsionnoy podgotovki studentov vuza* [Some Aspects of Information Preparation of Students of High School], Collection of scientific works Sworld, 2008, vol.18, no.1, pp. 34-36.

16. Movchan I.N. *Nekotorye aspekty ispolzovaniya sovremennykh tekhnologiy distantsionnogo obycheniya v vuze* [Some Aspects of the Use of Modern Technologies of Distance Learning in High School], Collection of scientific works Sworld, 2013, vol. 27, no.4, pp. 77-80.

17. Movchan I.N. *Osobennosti formirovaniya edinoi informatsionno-obrazovatel'noy sredy obrazovatel'nogo uchrezhdeniya* [Features of Formation of Unified Information-educational Environment of Educational Institutions], Proceedings of VII International Scientific and Practical Conference

"New Information Technologies in Education", Yekaterinburg, 2014, pp. 347-350.

18. Movchan I.N. *Tsifrovye obrazovatel'nye resursy: sovremennyye vozmozhnosti i tendentsii razvitiya* [Digital Educational Resources: Modern Features and Trends of Development], Collection of scientific works Sworld, 2010, vol. 26, no.4, pp. 36-38.

19. Sarantseva D.A., Belousova I.D. *Osobennosti razrabotki elektronnoy uchebno-metodicheskogo kompleksa* [Features of Development of Electronic Educational Complex], Collection of scientific papers of the II International Conference "Information Technologies in science, administration, social services and medicine", Tomsk, 2015, pp. 761-763.

20. Sahnova T.N. *Pedagogicheskie usloviya formirovaniya professionalnogo informatsionnogo myshleniya studentov universiteta* [Pedagogical conditions of formation of professional information thinking of university students], Dissertation for Ph.D. degree in Teaching, Sahnova Tatiana; Magnitogorsk State University, Magnitogorsk, 2003, 191 p.

21. Chusavitina G.N. *Razvitie kompetentsiy nauchno-pedagogicheskikh kadrov po obespecheniyu informatsionnoy bezopasnosti v ikt-nasyschennoy srede* [Development of Competencies of Teaching Staff on Information Security in ICT-rich Environment], Supply and demand in the labor market and the market of educational services in the regions of Russia, 2011, pp.338-345.

22. Chusavitina G.N. *Organizatsionno-pedagogicheskie usloviya effektivnogo formirovaniya konkurentnosposobnosti buduschikh it-spetsialistov v protsesse obucheniya v vuze* [Organizational-pedagogical Conditions of Formation of Effective Competitiveness of Future IT professionals in Learning Process at the University], // New Information Technologies in Education Proceedings of the International scientific and practical conference, Yekaterinburg, 2012, pp. 521-524.

23. GEF HPE towards training 230700 "Applied Informatics" of 22.12.2009, URL: <http://fgosvo.ru/fgosvpo/7/6/1/5>.

24. Federal Law "On Education in the Russian Federation", 2012. -URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_140174/.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МАССОВЫХ ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН КУРСОВ В ФОРМАТЕ xMOOC

Статья раскрывает сущность и роль массовых открытых-онлайн курсов в современной образовательной среде. Как продукт информационного общества массовые открытые онлайн-курсы стали развитием открытых образовательных ресурсов в стремлении обеспечить открытость накопленных знаний и возможность организации взаимодействия людей из разных стран мира. Появившись сравнительно недавно, такие курсы вызывают большой интерес со стороны общественности и высших учебных заведений. На настоящее время выделяют три основных вида массовых открытых онлайн-курсов, различающихся по реализуемым подходам, тактике обучения, наполнения контента, взаимодействия обучающихся. В статье рассмотрены отечественные платформы xMOOC: «Система дистанционного бизнес-образования малого и среднего бизнеса», «ИНТУИТ», «Университет», «Открытое образование», произведена оценка перспектив использования в рамках формального образования.

Ключевые слова: массовые открытые онлайн курсы, электронное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Массовые открытые онлайн-курсы (МООС) - феномен, появившийся в онлайн обучении сравнительно недавно. Первые попытки создания МООС предпринимались около пяти-шести лет назад, а сейчас МООС привлекает значительный интерес со стороны общественности и высших учебных заведений. МООС можно воспринимать как средство расширения возможностей онлайн обучения, с точки зрения открытого доступа к курсам и их масштаба, они также дают возможность внедрить новые бизнес-модели, которые включают в себя элементы открытого образования. Вместе с этим вопросы эффективности МООС остаются дискуссионными.

Сам термин «массовый открытый дистанционный курс» (Massive Open Online Course – МООС) предложили два исследователя Брайан Александр и Дэйв Кормье в результате работы над курсом «Connectivism & Connective knowledge», который в 2008 году проводили Джордж Сименс и Стивен Доунс. Общее название курсов этого типа образуется из четырех отдельных терминов:

- massive (массовый): для проведения этого курса, как правило, требуется большое количество участников;
- open (открытый): курс является бесплатным и любой человек в любой момент может присоединиться к нему. Как правило, в этих курсах используется открытое программное обеспечение и бесплатные сервисы web 2.0;
- online (дистанционный, тип онлайн) означает, что материалы курса и результаты совместной работы находятся в сети Интернет в открытом для участников доступе;
- course (курс): подразумевается, что он имеет соответствующую структуру, правила работы и общие цели, которые впоследствии для каждого участника могут трансформироваться [6].

МЕТОДИКИ

Для обозначения видов реализации МООС на основе данных С. Даунс ввел понятия «сМООС» и «xМООС» [21], позже появился еще один вид task-based MOOC.

сМООС являются практической реализацией

(«доказательством возможности») коннективизма – системы педагогических взглядов, основанной на концепции связанного/распределенного знания (connective knowledge), в рамках которой процесс учения отождествляется с процессом построения сети, т. е. установления связей между различными «сущностями» (участниками, экспертами, веб-ресурсами, событиями сети) [18].

Следует отметить, что модели взаимодействия участников в концепции сМООС активно разрабатывались отечественными авторами и авторами ближнего зарубежья: А. А. Андреева [1-3], В. Н. Кухаренко [13-14], К. Л. Бугайчука [6], И.Ю. Травкина [18].

Task-based MOOC – это курсы, основанные на задачах. По своей организации они очень похожи на сМООС. В них предполагается, что учащийся выполнит определенные задания. Причем он может выполнять их различными способами, и они могут иметь разные внешние выражения (статья, видео, аудио). В таких курсах возможно совместное решение определенных задач, создание проектов и т.д. Сообщество в этих курсах имеет решающее значение, особенно для примеров деятельности и помощи. Отличием task-based MOOC от сМООС является разнообразие разрабатываемых тем и тематик. Для первых важно решение поставленных задач, для вторых – накопление материалов по теме MOOC.

xMOOC – открытые курсы больших международных университетов. В их основе лежит институциональная модель учебного процесса: разработка содержания курса ведется профессиональными преподавателями и экспертами в некоей предметной области, представляется четкий график учебного процесса, в курсе содержатся конкретные задания, предусмотрена аттестация участников. Запись на эти курсы свободна: участвовать может любой человек независимо от места нахождения, навыков работы в сети, социального статуса и возраста. Обычно курс ориентирован на изучение технических дисциплин, где можно автоматизировать проверку выполненных заданий, наблюдателей в курсе практически нет, преподаватели выполняют преимущественно контролирующие роли.

Курсы в формате xMOOC широко распространены, их предлагают различные академические сообщества, среди мировых лидеров которых можно назвать «Coursera» (www.coursera.org), «Udacity»

(www.udacity.com), «EDx» (www.edx.org)).

Существуют и успешные отечественные платформы, например: «Edumarket» (www.edumarket.ru, www.eduhh.ru), «Eduson» (www.eduson.tv), «Система дистанционного бизнес-образования малого и среднего бизнеса» (www.businesslearning.ru), «ИНТУИТ» (www.intuit.ru), «Универсариум» (universarium.org), «Открытое образование» (https://openedu.ru/). В **табл. 1-4** приведены профили последних четырех из указанных платформ, составленные авторами статьи по результатам изучения размещенной в сети информации.

Дата основания платформ, рассмотренных в **табл. 1-2**, указывает, что отечественные МООС появились гораздо раньше зарубежных проектов. В отличие от них следующие два проекта (см. **табл. 3-4**) молоды, но весьма перспективны.

Следующий весьма перспективный проект интересен тем, что несколько ведущих вузов в тесном сотрудничестве с государством создают единую

национальную платформу онлайн-образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

С появлением открытых образовательных ресурсов, так или иначе, связывают возможность отказа от институциональных форм получения образования в пользу самообучения. С возникновением феномена МООС вопросы о возможности реализации данной идеи стали ставиться чаще. Несомненно, наличие МООС повышает имидж учебного заведения и имеет большой потенциал в обновлении традиционных методов, средств и форм организации учебного процесса. При этом xМООС содержат в свободном доступе уникальные учебные материалы и методические разработки ведущих вузов, для которых массовые открытые онлайн-курсы – это демонстрация того, что содержание и технологии обучения соответствуют международным требованиям.

Таблица 1

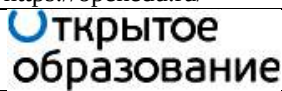
Профиль «Система дистанционного бизнес-образования малого и среднего бизнеса»	
Характеристика	Описание
Веб-сайт	www.businesslearning.ru
Логотип	
Дата создания	2000 г.
Штаб-квартира	Москва
Основатели	Национальное деловое партнерство «Альянс Медиа» (www.allmedia.ru) и Международный институт менеджмента ЛИНК (www.ou-link.ru) при поддержке правительства Москвы
Количество курсов	104 модуля по курсам: 1. Основы предпринимательства 2. Управление персоналом 3. Учет и налоги 4. Стратегия для бизнеса 5. Практика предпринимательства 6. Безопасность 7. Конкурентоспособность 8. Право 9. Основы гуманитарных знаний 10. Экономика 11. Маркетинг 12. Основы математики и естествознания 13. Менеджмент 14. Финансы 15. Информационные технологии
Категории пользователей	Взрослые, желающие повысить квалификацию в сфере предпринимательской деятельности
Структура курсов	Модульный принцип организации обучения предоставляет возможность самостоятельного выбора необходимого курса и набора модулей. Тесты, включенные в структуру модуля, позволяют пройти дистанционную аттестацию
Оплата	Прохождение курсов бесплатно. При желании получить сертификат обучающийся должен в очном порядке пройти итоговую контрольную процедуру
Количество пользователей	140000 пользователей из 3759 городов, 123 стран
Дополнительная информация	Нацелена, в том числе, на корпоративное обучение

Профиль «ИНТУИТ»	
Характеристика	Описание
Веб-сайт	www.intuit.ru
Логотип	 ИНТУИТ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Дата создания	2014 г. (дата создания первого курса)
Штаб-квартира	Москва
Характеристика курсов	Суммарно представлено более 700 учебных курсов по компьютерным наукам, информационным технологиям, математике, физике, экономике, менеджменту и другим. Видеотека проекта насчитывает несколько тысяч часов лекций известных профессоров и докладов ученых
Категории пользователей	Взрослые, студенты, преподаватели.
Структура курсов	Все учебные курсы имеют следующую структуру: • теоретический материал, представленный в виде лекций; • обязательное тестирование после каждой лекции (прохождение теста по текущей лекции является доступом к следующей); в качестве дополнения: • практикум, на котором рассматривается решение типовых задач; • задания для самостоятельной работы; • контрольные работы; экзамен в форме комплексного теста по завершении каждого курса
Оплата	Курсы находятся в свободном доступе. Лица, изучившие материалы курса и успешно прошедшие итоговое тестирование, получают сертификат бесплатно. Удостоверение о повышении квалификации, профессиональной подготовке платно
Количество пользователей	Учебные материалы «ИНТУИТ» активно используются в образовательном процессе более 500 вузов в РФ и в других странах
Дополнительная информация	Пользователям предоставляется сервис «Учебные группы», предназначенный для совместного обучения. Любой пользователь может создать свою учебную группу (всего в настоящее время около 900 учебных групп). Все обучающиеся онлайн имеют возможность использовать сервис «Вопросы и ответы», общаться на форумах. Каждый пользователь может создать свою индивидуальную учебную программу, а также сравнивать результаты своего обучения с результатами других участников учебного процесса по различным профилям: в рамках курса, направления, специальности, учебной группы. Кроме курсов и видеокурсов предлагаются программы высшего образования, второго высшего, 547 курсов переподготовки

Таблица 3

Профиль «Универсариум»	
Характеристика	Описание
Веб-сайт	www.universarium.org
Логотип	
Дата создания	2014 г.
Штаб-квартира	Москва
Характеристика курсов	В настоящее время на платформе «Универсариум» размещено более 80 различных курсов от 30 ведущих университетов страны (МГУ им. М. В. Ломоносова, РЭУ им. Г. В. Плеханова, НИЯУ МИФИ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МФТИ и др.). Все обучение будет построено по принципу прохождения последовательных модулей образовательного курса
Категории пользователей	Курсы ориентированы на несколько целевых аудиторий: • мотивационные (ранние профориентационные) курсы для школьников 7-10-х классов; • курсы дополнительного образования, предназначенные для повышения квалификации или переподготовки специалистов в различных областях; • просветительские и информационные курсы для широкой аудитории
Характеристика курсов	Общая длительность курса (время изучения) составляет 7-10 недель в зависимости от насыщенности и сложности программы. Каждый модуль включает в себя видеолекцию, самостоятельную работу, домашнее задание и тестирование
Оплата	Курсы и сертификация бесплатны
Количество пользователей	Более 480 000 человек (390 000 через портал www.universarium.org и около 90 000 человек с использованием мобильных приложений). 24% слушателей – это граждане других стран (Республика Беларусь, Казахстан, Украина и др.)
Дополнительная информация	Курсы и образовательные программы, представленные в «Универсариуме», будут создаваться совместно с лучшими преподавателями ведущих вузов страны, вошедших в проект. Курсы «Универсариума» позиционируются как элементы образовательных дисциплин в областях знаний. Формированием списка курсов «Универсариума» будет заниматься экспертный совет

Таблица 4

Профиль «Национальная платформа открытого образования»	
Характеристика	Описание
Веб-сайт	https://openedu.ru/
Логотип	
Дата создания	2015
Основатели	Платформа создана Ассоциацией "Национальная платформа открытого образования", учрежденной ведущими университетами - МГУ, СПбПУ, СПбГУ, НИТУ «МИСиС», НИУ «ВШЭ», МФТИ, УрФУ и ИТМО
Количество курсов	46 курсов
Категории пользователей	Студенты разных уровней высшего образования, все желающие пройти обучение
Характеристика курсов	Контент российской МООС планируется поделить на 3 условные группы: • первая – курсы, являющиеся частью стандартных образовательных программ вузов-авторов; • вторая – дополнительный высококачественный контент; • последняя группа – общеобразовательные курсы для всех желающих
Оплата	Основная масса контента в свободном доступе, плата может взиматься за услуги, связанные с проведением очного экзамена или идентификации личности
Количество пользователей	Данных нет
Дополнительная информация	В сравнении с курсами других платформ онлайн-обучения, курсы национальной платформы имеют определенные особенности: 1) все курсы разрабатываются в соответствии с требованиями ФГОС; 2) все курсы соответствуют требованиям к результатам обучения образовательных программ, реализуемых в вузах; 3) особое внимание уделяется эффективности и качеству онлайн-курсов, а также процедурам оценки результатов обучения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.А. Открытые образовательные ресурсы и MOOC // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. «Электронное обучение в непрерывном образовании 2014 (с элементами научной школы для молодежи)». Т. 1. Ульяновск, 2014. С. 188–194.
2. Андреев А.А. Российские открытые образовательные ресурсы и массовые открытые онлайн курсы // Высшее образование в России. 2014. № 6.
3. Андреев А.А. Эволюция и содержание дистанционных образовательных технологий // Материалы XIV международной науч.-практ. конф. Качество дистанционного образования: концепции, проблемы. Т. 1. 2012. С. 16–18.
4. Белоусова И.Д. Диагностика внедрения информационных технологий в процесс обучения студентов вуза // Сборник научных трудов SWorld. 2008. Т.18. № 1. С. 25–28.
5. Белоусова И.Д., Солдатенкова Ю.Б. Разработка учебного курса на основе Moodle // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 6-3 (38). С. 8.
6. Бугайчук К.Л. Массовые открытые дистанционные курсы: история, типология, перспективы // Высшее образование в России. 2013. №3.
7. Глушенко Т.Б. Повышение профессиональной квалификации преподавателей как педагогическое условие подготовки будущего учителя к использованию новых информационных технологий в формировании имиджа образовательного учреждения. Научные труды SWorld. 2009. Т.14. №1. С.77а-79.
8. Глушенко Т.Б. Модель подготовки будущих учителей к использованию новых информационных технологий в формировании имиджа образовательного учреждения // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2009. № 3. С.54-61.
9. Глушенко Т.Б. Структура и содержание готовности будущего учителя к использованию новых информационных технологий в формировании имиджа образовательного учреждения // Информатика и образование. 2009. № 2. С.111-113.
10. Калмыков А.В. Профессиональная социализация в e-Learning // Высшее образование в России. 2011. №10. С.99–105
11. Кручинская В.С., Новикова Т.Б. Необходимость поддержки и модернизации // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке : сборник материалов 6-й междунар. науч.-практ. конф. Махачкала, 2014.
12. Курзаева Л.В., Григорьев А.Д. Массовые открытые онлайн курсы: сущность, специфические характеристики // Новые информационные технологии в образовании: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 10–13 марта 2015 г. ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». Екатеринбург, 2015. С. 250–253.
13. Кухаренко. В.Н. Инновации в e-Learning: массовый открытый дистанционный курс // Высшее образование в России. 2011. №10. С. 93–99
14. Кухаренко В.Н. Массовый открытый онлайн курс «Дистанционное обучение от А до Я» // e-Learning World: сайт. URL: <http://www.elw.ru/practice/detail/1965> (дата обращения: 21.06.2015).
15. Попова И.В., Зеркина Е.В., Чусавитина Г.Н. Риски использования e-Learning в процессе подготовки ИТ-специалистов // Совершенствование подготовки ИТ-специалистов по направлению «Прикладная информатика» на основе инновационных технологий и E-learning: сб. науч. тр. III Российской науч.-метод. конф., 13-14 декабря. М., 2007. С. 264–271.
16. Рынок онлайн-образования в России и мире: сегмент массовых онлайн-курсов. URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view /rynok-onlayn-obrazovaniya-v-rossii-i-mire-segment-massovyh-onlayn-kursov-20141209065340 (дата обращения: 21.06.2015).
17. Тимкин С.Л. Открытые образовательные ресурсы: международное сотрудничество образовательных учреждений // Развитие единой образовательной информационной среды: на пути к обществу знаний: материалы XI междунар. конф. (Томск, 25–26 сентября 2012 г.). Томск, 2012. С. 51–55. URL: <http://ou.tsu.ru/seminars/eois2012/articles/timkin.pdf> (дата обращения: 29.06.2015).
18. Травкин И.Ю. Учебный процесс // Fun of Teaching. - 2014. URL: <http://funofteaching.tumblr.com /post /91139632311 /смоос> (дата обращения: 1.07.2015)
19. Щенников С.А. Дидактика электронного обучения // Высшее образование в России. 2010. № 12. С. 83–90 URL: <http://edtechdev.wordpress.com/2012/05/04/whats-the-problem-with-moocs> (дата обращения: 21.06.2015).
20. Чистяков Д.А., Курзаева Л.В. К вопросу о реализации электронного обучения средствами Microsoft Sharepoint // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: ВЦНТИ, 2014. С. 147–153.
21. Downes S. Connectivism and Connective Knowledge. 2011. URL: <http://www.downes.ca/post/54540> (дата обращения: 21.06.2015).
22. Yuan Li, Powell S. MOOCs and Open Education: Implications for Higher Education. Bolton: University of Bolton: CETIS, 2013. 20 p.

INFORMATION IN ENGLISH

DOMESTIC EXPERIENCE OF IMPLEMENTING MASS OPEN ON-LINE COURSES IN xMOOC FORMAT

Chichilanova S.A., Kurzaeva L.V., Grigoryev A.D., Novikova T.B.

The article reveals the essence and role of mass open online courses in modern educational environment. As a product of the information society mass open online courses have developed into open educational resources in an effort to ensure the openness of knowledge and the possibility of interaction of people from different countries. At present, there are three main types of mass open online courses, which differ in approaches implemented, training tactics, content filling, interaction of students. To understand these features, the article provides examples of domestic and foreign practice. The authors describe domestic platforms of mass online open courses and prospects of using them in formal education.

Keywords: mass open on-line courses, e-learning.

REFERENCES

1. Andreev A.A. *Otkrytye obrazovatelnye resursy i MOOC* [Open Educational Resources and MOOC], All-Russian scientific and practical conference Electronic Education in Lifelong Learning 2014 (with elements of scientific school for the youth), vol. 1, UIGTU Ulyanovsk, 2014, pp. 188–194.
2. Andreev A.A. *Rossiyskie otkrytye obrazovatelnye resursy i massovye otkrytye onlain kursy* [Russian Open Educational Resources and Mass Open On-line Courses], Higher education in Russia, 2014, no. 6.
3. Andreev A.A. *Evolutsiya i sodержanie distantsionnykh obrazovatelnykh tekhnologiy* [Evolution and Content of Distant Educational Technologies], Proceedings of XIV international scientific conference Quality of On-line educa-

tion: concepts, problems, vol. 1, 2012, pp. 16–18.

4. Belousova I.D. *Diagnostika vnedreniya informatsionnykh tekhnologiy v protsess obucheniya studentov vuza* [Monitoring of Information Technologies Introduction into Process of University Students Education], Collection of scientific papers SWorld, 2008, vol.18, no.1, pp. 25–28.

5. Belousova I.D. *Razrabotka uchebnogo kursa na osnove Moodle* [Development of Moodle based Course] /I.D. Belousova, Yu. B. Soldatenkova, Modern scientific research and innovations. 2014, no.6-3(38), p. 8.

6. Bugaychuk K.L. *Massovye otkrytye distantsionnye kursy: istoriya, tipologiya, perspektivy* [Mass Open On-line Courses: History, Typology, Prospects], Higher education in Russia, 2013, no.3.

7. Gluschenko T.B. *Povyshenie professionalnoy kvalifikatsii prepodavateley kak pedagogicheskoe uslovie podgotovki buduschego uchitelya k ispolzovaniyu novykh informatsionnykh tekhnologiy v formirovani imidzha obrazovatel'nogo uchrezhdeniya* [Advanced Vocational Training of Lecturers as Pedagogical Condition of Future Teacher Training in Application of New Information Technologies in the Process of Educational Institution Image Forming], Scientific articles SWorld, 2009, vol.14, no.1, pp.77–79.

8. Gluschenko T.B. *Model podgotovki buduschego uchitelya k ispolzovaniyu novykh informatsionnykh tekhnologiy v formirovani imidzha obrazovatel'nogo uchrezhdeniya* [Model of Future Teacher Training in Application of New Information Technologies in the Process of Educational Institution Image Forming], Bulletin of Chelyabinsk State Pedagogical University, 2009, no.3, pp.54–61.

9. Gluschenko T.B. *Struktura i sodержание gotovnosti buduschego uchitelya k ispolzovaniyu novykh informatsionnykh tekhnologiy v formirovani imidzha obrazovatel'nogo uchrezhdeniya* [Structure and Content of Future Teacher Commitment to Application of New Information Technologies in the Process of Educational Institution Image Forming], Computer science and education, 2009, no.2, pp.111–113.

10. Kalmykov A.V. *Professionalnaya sotsializatsiya v e-Learning* [Professional Socialization in e-Learning] // Higher education in Russia. 2011. № 10. pp. 99–105

11. Kruchinskaya V.S., Novikova T.B. *Neobkhodimost podderzhki i modernizatsii sayta* [The Need to Maintain and Update the Site], Burning issues of modern science of the 21st century: collection of materials of the 6th international scientific and practical conference, Makhachkala, 2014.

12. Kurzaeva L.V., Grigoryev A.D. *Massovye otkrytye onlain kursy: suschnost, spetsificheskie kharakteristiki* [Mass Open On-line Courses: Essence, Specific Characteristics], New information technologies in education: articles of the VIII international scientific and practical conference, Yekaterinburg, March 10–13, 2015, Russian State Professional Pedagogical Uni-

versity. Yekaterinburg, 2015, pp.250–253.

13. Kukhareno V.N. *Innovatsii v e-Learning: massovyi otkrytyy distantsionnyy kurs* [Innovations in e-Learning: Mass Open On-line Course], Higher education in Russia, 2011, no.10, pp.93–99.

14. Kukhareno V.N. *Massovyy onkrytyy onlain kurs "Distantsionnoye obuchenie ot A do Ya"* [Mass Open On-line Course "On-line Education from A to Z"], e-LearningWorld: site. – URL: <http://www.elw.ru/practice/detail/1965>.

15. Popova I.V., Zerkina E.V., Chusavitina G.N. *Riski ispolzovaniya e-Learning v protsesse podgotovki it spetsialistov* [Risks of e-Learning Application in IT specialists Training], Improvement of training IT specialists doing the course of "Applied Informatics" on the basis of innovative technologies and E-learning: collection of scientific papers of III Russian scientific conference, December 13–14, Moscow, 2007, pp.264–271.

16. [Market of On-line Education in Russia and in the World: Segment of On-line Courses]. URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-onlayn-obrazovaniya-v-rossii-i-mire-segment-massovyh-onlayn-kursov-20141209065340

17. Timkin S.L. *Otkrytye obrazovatel'nye resursy: mezhdunarodnoye sotrudnichestvo obrazovatel'nykh uchrezhdeniy* [Open Educational Resources: International Cooperation of Educational Institutions], Development of Unified Educational Information Environment: Proceedings of XI international conference (Tomsk, September 25–26, 2012), Tomsk, 2012, pp.51–55. URL: <http://ou.tsu.ru/seminars/eois2012/articles/timkin.pdf> (date of access: 29.06.2015).

18. Travkin I.Yu. *Uchebnyy protsess s MOOC* [Academic Activity with MOOC], Fun of Teaching, 2014, URL: <http://funofteaching.tumblr.com/post/91139632311/cmooc>.

19. Schennikov S.A. *Didaktika elektronnoy obucheniya* [Didactics of E-learning], Higher education in Russia, 2010, no.12, pp.83–90 URL: <http://edtechdev.wordpress.com/2012/05/04/whats-the-problem-with-moocs>.

20. Chistyakov D.A., Kurzaeva L.V. *K voprosu o realizatsii elektronnoy obucheniya sredstvami Microsoft Sharepoint* [Some Issues of Implementation of E-learning by Means of Microsoft Sharepoint], Contemporary issues of vertical integration of education, science and business: economic, law and social aspects: Proceedings of II International scientific and practical conference, Voronezh, VTsNTI, 2014, pp.147–153.

21. Downes S. *Connectivism and Connective Knowledge*. 2011, URL: <http://www.downes.ca/post/54540>.

22. Yuan Li, Powell S. *MOOCs and Open Education: Implications for Higher Education*, Bolton, University of Bolton: CETIS, 2013, 20 p.

ВЫБОР СИМУЛЯТОРА ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ НЕЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ

В статье представлены результаты исследования по отбору свободно распространяемых эмуляторов цифровых схем, которые целесообразно использовать в качестве учебных программных средств на лабораторных занятиях по изучению цифровых автоматов в учебных дисциплинах «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Архитектура ЭВМ» неэлектротехнических специальностей вузов.

На основании бакалаврских образовательных программ сначала сформулированы педагогические требования, предъявляемые к учебным программам по рассматриваемой тематике, а затем критерии сравнительного анализа симуляторов логических схем и шкалы допустимых значений. Определены веса критериев, представляющие собой числовые экспертные оценки их важности в соответствии с целью исследования.

Выполнен краткий обзор наиболее известных в Интернете аналогов цифровых симуляторов. Проведено практическое опробывание, которое позволило оценить для них значение каждого критерия по принятым шкалам. Сравнительный анализ нормированных числовых значений оценок критериев и содержательных, предварительно приведенных к числовым, проводили методом комплексной оценки. Взвешенные и комплексные оценки критериев для сравниваемых объектов позволили выявить «лидеров» для участия в апробации в условиях реальных учебных процессов и последующей экспертизы.

Ключевые слова: архитектура ЭВМ, вычислительные системы, электронная схема, цифровой автомат, моделирование, EDA, симулятор логических (цифровых) схем, свободно распространяемое ПО, сравнительный анализ, метод комплексной оценки.

ВВЕДЕНИЕ

Многие учебные заведения радиоэлектронной направленности используют в учебном процессе компьютерные программы из инструментария разработчиков электроники, которые позволяют студентам соединить теоретические знания с практическими навыками построения электрических схем, увидеть влияние различных факторов на поведение будущих электронных устройств и научиться разработке этих устройств без применения дорогостоящих экспериментальных лабораторий.

Подобные программы относятся к классу CAP (computer/electronic accommodations program) или EDA (electronic design automation) и широко применяются в современной электронной промышленности на стадии проектирования изделий для компьютерного моделирования разрабатываемых устройств и исследования их работы перед непосредственным воплощением в аппаратуру.

ПРОГРАММЫ EDA

В настоящее время существует множество профессиональных программ данного класса — дизайнеров схем и симуляторов электронных устройств (schematic capture and simulator), которые успешно развиваются и совершенствуются как коммерческие продукты по мере развития и совершенствования базовых электронных устройств и самих компьютеров [1,2]: Proteus VSM, Micro-Cap, NI Multisim, LabVIEW, OrCAD и др. Разработчики EDA стараются учесть в них современные методики проектирования печатных плат и подготовки их к производству, расширить библиотеку компонентов новыми серийными микросхемами (стабилизаторы напряжения, микроконтроллеры и пр.), применить более совершенные алгоритмы симуляции электрических цепей на базе математических и программных решений.

В работе [3] описывается подход к выбору

инструмента автоматизированного проектирования электронных плат, основанный на предварительно сформулированной концепции проектирования, управляемого исходными правилами (электрическими, температурными и конструктивными). Основными критериями, определяющими выбор EDA, выбраны следующие:

- 1) возможность решения широкого спектра задач конструирования печатных плат электронной аппаратуры;
- 2) наличие интерфейса с уже используемыми на предприятии инструментами;
- 3) возможность выполнения проектов для существующих и перспективных технологий производства электронной аппаратуры;
- 4) возможность использования существующих локальных сетей;
- 5) наличие интерфейса с EDA-инструментами, используемыми партнерами по совместным проектам;
- 6) стоимость выбираемого инструмента.

Коммерческие программы EDA профессионального уровня имеют низкую «обучающую» ценность для большинства учебных заведений, поскольку рассчитаны на использование высококвалифицированными специалистами и имеют высокую рыночную стоимость.

Для изучения основ электроники с применением ЭВМ функциональность профессиональных EDA систем является избыточной, длительность овладения навыками грамотного их использования с учетом графика учебного процесса неприемлема, как и высокая стоимость владения продуктом, несмотря на академические лицензии и прочие бонусы фирм разработчиков. Для учебных заведений неэлектротехнического профиля (и не только) более важными являются факторы педагогические, которые могут быть успешно реализованы применением свободно распространяемого программного обеспечения (open source и freeware). Однако правильный выбор учебного программного средства (УПС) в рамках конкретной учебной дисциплины некоторой учебной специальности всегда пред-

ставляет собой исследование, основанное на знании решаемых УПС задач, предъявляемых к ним требований и грамотного анализа степени удовлетворения требований возможностями различных вариантов УПС (аналогов).

Обучающие функции должны реализовываться в соответствии с дидактическими принципами обучения, определяющими дидактические требования к УПС. Методика преподавания учебной дисциплины, в свою очередь, учитывает своеобразие и особенности соответствующей науки, что определяет методические требования к УПС — учебные цели, обоснование выбора тем для применения УПС, оценка педагогической эффективности использования УПС. Для повышения педагогической эффективности использования УПС, в целом, важны эргономические требования к содержанию и оформлению с учетом возрастных и индивидуальных особенностей обучающихся, определяющие комфортное (дружественность, простота использования, удобство) и позитивное взаимодействие (диалог) с рабочей средой УПС.

Основные требования, предъявляемые к разрабатываемым УПС [4], делятся на педагогические (дидактические; методические; обоснование выбора тематики учебного курса; проверка на педагогическую целесообразность и эффективность применения), технические, эргономические и эстетические. Их следует считать обязательными при разработке новых УПС. Однако в условиях реальных учебных процессов чаще приходится использовать готовые УПС, разработанные для чужих целей. Иначе говоря, требуется взаимно адаптировать их с собственным учебным материалом. В такой ситуации требования к УПС становятся основой для формулировки критериев подбора к имеющемуся или разрабатываемому учебному материалу наиболее подходящего из вероятных доступных аналогов варианта УПС с последующим мониторингом их педагогической эффективности использования.

В работе [5] приводится обзор EDA, которые, по мнению авторов, могут использоваться при организации электронных компьютерных лабораторий для дистанционного обучения. В ней приведен обзор соответствующих программ, предназначенных для расчета и моделирования электронных схем различного назначения и сформулированы следующие критерии (и их значения) отбора для использования в качестве электронных (виртуальных) лабораторий в дистанционном обучении:

- 1) круг решаемых задач (моделирование аналоговых цепей, моделирование цифровых цепей, моделирование смешанных цепей);
- 2) стоимость ПО (бесплатная, условно-бесплатная, платная, ученические и академические лицензии);
- 3) наличие книг и методических материалов (много, мало, отсутствуют на украинском или русском языке);
- 4) наличие локализации программы на украинском или русском языке;
- 5) уровень начальной подготовки обучаемого (начальный, средний, высокий);
- 6) наличие виртуальных приборов (много, мало, отсутствуют);
- 7) интерфейс программы (стандартный, нестандартный);

- 8) поддерживаемые ОС (одна, много);
- 9) использование ПО в радиолюбительской практике (используется, не используется).

Приведенный набор критериев без уточнения специфики решаемых электронной лабораторией задач представляется достаточно абстрактным и, безусловно, требует корректировки и дополнения с учетом результатов анализа эффективности использования выбранного варианта EDA.

Основными методами оценки качества средств ИКТ, применяемых в образовании, являются апробация и экспертиза [6].

Образовательные электронные издания и ресурсы подлежат апробации посредством их реального использования в учебном процессе, демонстрации и обсуждения основных качественных характеристик на интернет-форумах, конференциях, семинарах и других общественных мероприятиях. По результатам апробации итеративно и циклически (в идеале до полного достижения соответствия требованиям качества) формируется система корректировок для последующего совершенствования электронных ресурсов разработчиками.

Для проведения апробации УПС в учебном процессе формируют экспериментальную группу из обучающихся с разной успеваемостью. Требования к организации комплексной экспертизы включают оценку всех (технико-технологических, психолого-педагогических и дизайн-эргономических) аспектов УПС и их использования.

Предметом нашего исследования являются бесплатные, свободно распространяемые (open source и freeware) программы-симуляторы, подмножество EDA систем, ориентированные на проектирование и моделирование работы цифровых электронных схем (electronic/digital circuits simulation program, logic design system).

Ниже приводятся результаты анализа и выбора симулятора цифровых логических схем в качестве УПС при изучении цифровых автоматов в рамках учебных дисциплин «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Архитектура ЭВМ» для неэлектротехнических бакалаврских специальностей вузов.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР СИМУЛЯТОРА

Одной из задач учебных курсов упомянутых дисциплин является приобретение студентами представления об информационно-логических основах или, иначе говоря, о цифровом логическом уровне архитектуры ЭВМ [7]. В указанном тематическом блоке рассматриваются сведения о полупроводниковых транзисторах, формируемых на их основе логических вентилях, реализующих базовые операции алгебры логики, которые, в свою очередь, комбинируясь между собой, создают цифровые автоматы (комбинационные и последовательностные схемы), из которых далее выполняются функциональные узлы (блоки) ЭВМ.

На примере бакалаврской образовательной программы дисциплины «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации», входящей в базовую часть цикла «Профессиональные дисциплины» (Б3.Б.2) нетехнического направления подготовки 080500.62 «Бизнес-

информатика» в МГТУ им. Г.И.Носова, сформулированы следующие педагогические особенности изучаемого тематического блока с условным названием «Физические и логические основы ЭВМ (комбинационные и последовательные логические схемы)»:

- в результате освоения обучающийся должен знать принципы построения вычислительных систем и иметь представление об их архитектуре;
- изучение ведется на первом году обучения;
- трудоемкость лабораторных занятий – 10 ч;
- предметом изучения являются цифровые электронные схемы: логические вентили (AND, OR, NOT, XOR, NOT-AND и NOT-OR), комбинационные (шифраторы/дешифраторы, мультиплексоры/демультиплексоры, компараторы, контроля четности, сумматоры, простейшие арифметико-логические устройства) и последовательностные (триггеры, регистры, счетчики);
- цель – изучить назначение, принципы работы и порядок использования различных цифровых автоматов;
- задачи: научиться анализировать и моделировать работу цифровых схем, составлять таблицы истинности (ТИ) логических функций комбинационных схем и таблицы переключений для триггеров, строить временные диаграммы для различных цифровых автоматов.

Методика учебного процесса в рамках изучаемого тематического блока опирается на лабораторный практикум, то есть индивидуальное, преимущественно самостоятельное, выполнение студентами отдельных заданий лабораторного цикла на базе УПС. Учебные задания регламентированы и расположены по возрастанию сложности. Для предварительного ознакомления с предметом изучения в каждой лабораторной работе заданиям предшествует необходимый объем теоретического материала. При необходимости в процессе обучения целесообразны взаимное консультирование студентов, либо коллективное обсуждение проблемных ситуаций под контролем преподавателя.

В качестве «кандидатов на роль УПС» были выбраны следующие EDA с функцией симуляции логических схем, упоминаемые в Интернете [9-11] и относящиеся к группе свободно распространяемых: open source (с открытым кодом) — Atanua, Digital Logic Design, Ksimus, KtechLab, LogicCircuit, Logisim, TkGate, Qucs и freeware – MMLogic.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНАЛИЗИРУЕМЫХ СИМУЛЯТОРОВ ЦИФРОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

1. *Atanua* разработан Jari Komppa (jari.komppa@gmail.ru) для изучения основ булевой логики и электроники. Использует OpenGL, ускоренный аппаратными средствами визуализации, и интерфейс пользователя, ориентированный на быструю организацию учебного процесса, что позволяет студентам легко разобраться с тренажером и сконцентрироваться на изучении предмета.

2. *Digital Logic Design* (digitalcircuitdesign.com) разработан Majid Naeem на java для проектирования и моделирования цифровых схем, предназначен для использования профессионалами, увлеченными людьми и студентами. Учителя могут включить его в свои курсы: Цифровая логика и Компьютерный дизайн, Архи-

тектура ЭВМ, Организация компьютера и Встроенные системы. Обеспечивает создание цифровых схем (от простых логических элементов до АЛУ), которые могут быть легко преобразованы в допускающие повторное использование модули, составляющие, в свою очередь, более сложные схемы (например, ЦПУ).

3. *Ksimus* (ksimus.berlios.de) разработан Rasmus Diekenbrock для установки в системах Linux, позволяет создавать цифровые и аналоговые схемы с дискретными компонентами и моделировать их в режиме реального времени. Не может симулировать большие схемы, но достаточен для образования и схемотехнических экспериментов в области логического и автоматического управления.

4. *KtechLab* (github.com/ktechlab) — интегрированная среда разработки (Integrated Development Environment, IDE) для установки в системах Linux с целью симуляции схем электроники с разнообразными компонентами (логическими, интегральными, линейными/нелинейными, реактивными) и программирования PIC микроконтроллеров.

5. *LogicCircuit* (logiccircuit.org) — учебная программа для разработки и моделирования схем цифровой логики. Интуитивный пользовательский интерфейс позволяет создавать иерархические схемы с многоразрядными шинами и отлаживать их работу с помощью осциллографа. Возможна генерация ТИ для комбинационных схем. Симуляция схем осуществляется в режиме реального времени. На сайте разработчика имеется справочная система.

6. *Logisim* (cburch.com) разработан Carl Burch на java как образовательный инструмент для разработки и моделирования цифровых логических схем, работающий под управлением различных операционных платформ (Windows, Linux и Macintosh). Простой интерфейс и моделирование по ходу проектирования схем облегчает изучение основных понятий, связанных с логическими схемами. Имеется встроенное гипертекстовое руководство пользователя, организованное в последовательность разделов, представляющих основные части и возможности Logisim.

7. *Qucs* (англ. Quite Universal Circuit Simulator, рус. почти универсальный симулятор электронных цепей) — программа, предназначенная для моделирования электронных цепей различного типа (по постоянному и переменному току, переходных процессов, цифровое и пр.). Qucs представляет собой набор нескольких автономных программ, взаимодействующих между собой. Для создания схем, настройки моделирования, отображения результатов используется графический интерфейс основной программы. Моделирование выполняет утилита командной строки, вызываемая из основной программы с графическим интерфейсом. Она считывает описание схемы, проверяет его на наличие ошибок, выполняет моделирование и формирует выходной набор данных. Результаты моделирования могут быть представлены в диаграммах различного типа или таблицах истинности.

8. *TKGate* (tkgate.org) разработан Jeffery P. Hansen на связке языков C и Tk/Tcl как событийно-управляемое (интерактивное) средство моделирования цифровых схем для ОС Linux. Написан программистом. Сейчас разработкой новых версий проекта зани-

мается Андрей Скворцов. Поставляется со встроенным учебным руководством и схемами примеров.

9. *Multimedia Logic* (softtronix.com) – мультимедийная система логического проектирования от компании-разработчика образовательного ПО Softtronics Inc. Интуитивна в использовании и поддерживает интерактивное взаимодействие с мультимедийными логическими схемами.

Задача оптимального выбора объекта (наилучшего качества) из некоторого имеющегося набора исследуемых предполагает количественную оценку его качества, учитывающую заданные критерии (показатели качества, целевые функции, факторы), и относится к многокритериальным задачам оптимизации.

При этом оценка качества должна быть, по возможности, комплексной (полной, всесторонней, системной, согласованной, целенаправленной), т.е. учитывать не один или несколько, а все заданные критерии с учетом конкретного социально-экономического, культурного окружения, предпосылок и последствий. Для этого необходимо предварительное проведение анализа объектов сравнения, требующего аналитической обработки для изучения их сложных и многоаспектных свойств.

При многокритериальной оценке объектов возникают следующие основные проблемы:

- 1) противоречивость критериев (улучшение по одному критерию приводит к ухудшению по каким-либо другим);
- 2) невозможность аналитического (в виде формул) выражения связей между оценками по разным критериям;
- 3) оценки по различным критериям имеют разный вид (числовые, содержательные, балльные, в виде ранжирований и т.д.);
- 4) числовые оценки отличаются по размерности (измеряются в разных единицах), направленности (минимизация/максимизация) или диапазону значений;
- 5) различие по важности.

Для снятия этих проблем в процессе оценивания часто используют субъективные суждения эксперта (специалиста), уточняющие:

- перечень сравниваемых объектов;
- перечень критериев для сравнения;
- оценки объектов по критериям;
- степень важности критериев;
- ограничения по отдельным критериям и пр.

После анализа объектов сравнения методами сравнительного анализа выполняется объектный расчет некоторого обобщенного (комплексного) показателя, значение которого позволяет выстроить последовательность объектов в порядке их предпочтения.

В нашем исследовании все принятые к сравнению ЕДА имеют графическую среду для проектирования цифровых схем, необходимые компоненты (логические вентили) для построения виртуальных цифровых автоматов, соответствующих предмету изучения, в составе своих библиотек и реализуют функцию моделирования работы схем. Их различия определяются особенностями пользовательского интерфейса, изо-

бражений и других свойств компонентов, доступа к компонентам, управления ими в пространстве схемы, реализацией алгоритмов симуляции, выходным файловым форматом, возможностями интероперабельности и пр.

С учетом педагогических особенностей изучаемого тематического блока и требований, предъявляемых к современным УПС (см. выше), сформулированы следующие критерии сравнительного анализа перечисленных симуляторов логических схем:

- 1) простота и удобство пользовательского интерфейса и использования инструментария интерактивного редактора схем;
- 2) полнота реализации требуемого функционала;
- 3) интуитивность (понятность) и простота манипулирования компонентами схем (настройка свойств), использования функциональных инструментов и обработок;
- 4) моделирование работы схем в реальном времени;
- 5) наличие справочной подсистемы;
- 6) наличие библиотеки учебных примеров схем;
- 7) качество визуализации графических образов компонентов схем и диаграмм с учетом разрешения, цветности, объемности и пр.;
- 8) локализация программы на русском языке;
- 9) многооконность (рабочих окон в одном сеансе);
- 10) мультиплатформенность (поддерживаемые операционные платформы);
- 11) простота и «дружественность» инсталляции и деинсталляции, в частности зависимость от дополнительных системных и прикладных программ или библиотек, требовательность к ресурсам компьютера и пр.;
- 12) наличие доступных пользователю подсистем диагностики, предупреждений.

Практическое опробывание симуляторов автором работы позволило оценить для них значение каждого критерия по принятым шкалам (**табл. 1**). Числовые значения оценок критериев по симуляторам представлены в исходной результирующей **табл. 2**.

Веса критериев, представляющие собой числовые экспертные оценки их важности, отмечены в **табл. 3**.

Сравнительный анализ соответствия «кандидатов на роль УПС» установленным для них требованиям проводили методом комплексной оценки [12]

Взвешенные и комплексные оценки критериев по симуляторам схем приведены в **табл. 4**.

Лучшим по результатам сравнения является симулятор с большей комплексной оценкой — Qucs (3,73), немного уступает ему Logisim (3,55), за которым следует Multimedia Logic (3,39).

Остальные из участвовавших в сравнении симуляторов значительно уступают лидерам в соответствии предъявленным требованиям и не могут быть рекомендованы к использованию в качестве УПС при изучении цифровых автоматов в рамках учебных дисциплин «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Архитектура ЭВМ» для неэлектротехнических бакалаврских специальностей вузов.

Таблица 1

Критерии сравнения и их шкалы

Критерии	Способ оценки	Содержательные значения	Шкала числовых эквивалентов
1, 3, 7, 11	субъективно исходя из личного опыта автора	плохо (сложно) средне хорошо (легко)	0 1 2
2	наличие поддержки следующих учебных функций (моделирование работы схем, генерация ТИ схем, построение временных диаграмм, упрощение логических выражений)	да нет (по каждой из указанных функции симулятора)	1 0 затем сумма из четырех оценок (от 0 до 4)
4, 6, 8, 9, 12	наличие соответствующей возможности	да нет	1 0
5	наличие соответствующего варианта реализации возможности	встроенная на сайте нет	2 1 0
10	поддерживаемая операционная среда	Linux и Windows Linux или Windows	1 0

Таблица 2

Числовые значения критериев

критерии	симуляторы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	2	2	1	2	2	1	2
2	1	2	1	1	3	3	3	2	2
3	0	1	2	2	1	2	2	1	2
4	1	1	1	1	1	1	0	1	1
5	0	0	0	0	1	2	2	2	0
6	0	0	0	1	0	0	1	1	1
7	2	1	1	2	1	1	2	0	1
8	0	0	0	0	0	1	1	0	1
9	0	0	0	1	0	0	1	0	1
10	1	1	0	0	0	1	1	0	0
11	2	2	2	0	2	1	1	2	1
12	0	0	0	0	0	1	1	0	1

Таблица 3

Веса критериев сравнения

Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Веса критериев	5	5	4	5	3	2	3	4	2	1	3	2
Нормализованные веса	1	1	0,8	1	0,6	0,4	0,6	0,8	0,4	0,2	0,6	0,4

Таблица 4

Взвешенные и комплексные оценки критериев

критерии	симуляторы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,26	0,26	0,52	0,52	0,26	0,52	0,52	0,26	0,52
2	0,17	0,35	0,17	0,17	0,52	0,52	0,52	0,35	0,35
3	0,00	0,21	0,42	0,42	0,21	0,42	0,42	0,21	0,42
4	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,00	0,51	0,51
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,36	0,36	0,36	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,26	0,26	0,26
7	0,32	0,16	0,16	0,32	0,16	0,16	0,32	0,00	0,16
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,47	0,00	0,47
9	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,27	0,00	0,27
10	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	0,00
11	0,32	0,32	0,32	0,00	0,32	0,16	0,16	0,32	0,16
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,27	0,00	0,27
комплексная оценка	1,75	1,97	2,11	2,47	2,16	3,55	3,73	2,27	3,39

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровые симуляторы Qucs, Logisim и MultimediaLogic целесообразно опробовать в качестве УПС в условиях реальных учебных процессов для выявления дополнительных особенностей и оценки эффективности использования. Полученная в ходе их апробации и последующей экспертизы оценка всех (техничко-технологических, психолого-педагогических и дизайн-эргономических) аспектов УПС может служить опорной информацией для проведения более детального сравнительного анализа, например, с использованием функций полезности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CAD-программы. URL: [http://cxem.net /software /soft_CAD.php](http://cxem.net/software/soft_CAD.php).
2. Обзор пакетов прикладных программ электронного проектирования. URL: http://mirea-tu.ru /files /okp_i_mres /obzor.pdf.
3. Леонов А.П. О подходе к выбору инструмента для автоматизированного проектирования печатных плат: Препринт ИФВЭ 2000-18. Протвино, 2000. 12 с.
4. Требования к ППС. URL: <http://wiki.irkutsk.ru>

/index.php/Требования_к_ППС.

5. Ксензик А.В. Применение электронных компьютерных лабораторий в дистанционном обучении при изучении электротехнических дисциплин // Проблемы инж.-пед. освіти: зб. наук. пр. X., 2006. Вип. 12. С. 197–202.
6. Оценка качества образовательных электронных изданий и ресурсов/ URL: http://wiki.irkutsk.ru /index.php /Оценка_качества_образовательных_электронных_изданий_и_ресурсов.
7. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. СПб.: Питер, 2010. 848 с.
8. List of free electronics circuit simulators. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_free_electronics_circuit_simulators.
9. Electronic Design Automation For Integrated Circuits Handbook, by Lavagno, Martin, and Scheffer, ISBN 0-8493-3096-3, 2006.
10. The Electronic Design Automation Handbook, by Dirk Jansen et al., Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-7502-2, 2003, available also in German ISBN 3-446-21288-4 (2005).
11. <http://linuxjournal.com/content/computer-logic-design-ktechlab> (Jun 24, 2009 By Mike Diehl).
12. Гудков П.А. Методы сравнительного анализа. ечеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. 81 с.

INFORMATION IN ENGLISH

CHOICE OF LOGIC DIAGRAMS SIMULATOR IN THE STUDY OF DIGITAL AUTOMATIC MACHINES FOR NON-ELECTROTECHNICAL SPECIALTIES OF UNIVERSITIES

Stashchuk P.V.

Results of research work aimed at selection of freely extended emulators of digital circuits, which can be used as educational software in laboratory classes to study digital machines in such subjects as "Computing systems, networks and telecommunications" and "Computer Architecture" for non-electrotechnical specialties of higher education institutions are provided.

On the basis of bachelor degree educational programs, pedagogical requirements to training programs of the considered subject were developed and then, criteria of comparative analysis of logic diagrams simulators and scales of admissible values were formulated. The criterion weights representing numerical expert estimates of their importance according to the research objective are defined.

A short review of digital simulator analogs, which are common in the Internet, is executed. A practical test, which made it possible to estimate the value of each criterion on the accepted scales, was carried out. The comparative analysis of the normalized numerical values of criterion estimates and informative estimates, normalized to numerical ones, was carried out using the method of complex estimates. The weighed and complex criterion estimates for the compared objects made it possible to reveal "leaders" for application real educational processes and the subsequent expert analysis.

Keywords: computer architecture, computing systems, electronic circuit, digital machine, the simulation, EDA, simulator of logic (digital) diagrams, freeware, comparative analysis, method of integrated assessment.

REFERENCES

1. CAD-programs. URL: [http://cxem.net /software/soft_CAD.php](http://cxem.net/software/soft_CAD.php).
2. *Obzor paketov prikladnykh program elektronnoy proektirovaniya* [Review of application program packages of

electronic design], URL: http://mirea-tu.ru /files /okp_i_mres /obzor.pdf

3. Leonov A.P. *O podkhode k vyboru instrumenta dlya avtomatizirovannogo proektirovaniya pechatnykh plat* [One Approach to Tool Choice for Computer-aided Design of Printed Circuit Boards], IFVE 2000-18 preprint, Protvino, 2000, 12 p.
4. Requirements to PPS. URL: http://wiki.irkutsk.ru /index.php/Trebovaniya_k_pps
5. Ksenzik A.V. *Primenenie elektronnykh kompyuternykh laboratoriy v distantsionnom obuchenii pri izuchenii elektrotekhnicheskikh distsiplin* [Application of Electronic Computer Laboratories in On-line Learning in Electrotechnical Disciplines], 2006, vol.12, pp. 197-202.
6. Assessment of quality of educational electronic publications and resources, URL: http://wiki.irkutsk.ru /index.php/Otsenka_kachestva_obrazovatelnykh_elektronnykh_izdaniy_i_resursov.
7. Tanenbaum E. *Arkhitektura kompyutera* [Computer Architecture], Saint-Petersburg, Piter, 2010, 848 p.
8. List of free electronics circuit simulators, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_free_electronics_circuit_simulators.
9. Electronic Design Automation For Integrated Circuits Handbook, by Lavagno, Martin, and Scheffer, ISBN 0-8493-3096-3, 2006.
10. The Electronic Design Automation Handbook, by Dirk Jansen et al., Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-7502-2, 2003, available also in German ISBN 3-446-21288-4 (2005).
11. <http://linuxjournal.com/content/computer-logic-design-ktechlab> (Jun 24, 2009 By Mike Diehl).
12. Gudkov P. A. *Metody sravnitel'nogo analiza* [Methods of Comparative Analysis], Study guide, Penza, Publishing house of Penza State University, 2008, 81 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агапитов Артем Евгеньевич – студент, каф. теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. E-mail: artagapitov@gmail.com

Агапитов Евгений Борисович – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Бодров Евгений Эдуардович – канд. техн. наук, доцент, каф. электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: fortheartist@mail.ru.

Варганов Дмитрий Евгеньевич – инженер-проектировщик, ООО «ЮГРАЭНЕРГО», г. Магнитогорск. E-mail: gbi@yandex.ru.

Гостев Анатолий Николаевич – электрик, ЛПЦ-10, ОАО «ММК», г. Магнитогорск.

Григорьев Андрей Дмитриевич – канд. пед. наук, доцент, заведующий каф. дизайна, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: g_ad77@mail.ru.

Гузей Ксения Евгеньевна – ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск.

Ефимова Ирина Юрьевна – канд. пед. наук, доцент, доцент каф. бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Ишметьев Евгений Николаевич – д-р техн. наук, директор по стратегическому развитию, ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск.

Каблукова Маргарита Сергеевна – ассистент, каф. теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. E-mail: margo88k@rambler.ru.

Коробейников Станислав Михайлович – ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск.

Крюков Олег Викторович – канд. техн. наук, доцент, главный специалист, АО «Гипрогазцентр», г. Нижний Новгород.

Курзаева Любовь Викторовна – канд. пед. наук, доцент, каф. прикладной информатики, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: lkurzaeva@mail.ru.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, доцент, зав. каф. вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет».

Лукьянов Сергей Иванович – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. электроники и микроэлектроники, директор института энергетики и автоматизированных систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Мацко Игорь Игоревич – Исследовательско-технологический центр «Аусферр», г. Магнитогорск.

Миков Анатолий Юрьевич – ст. преподаватель, каф. вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Михайловский Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доцент, каф. теплотехнических и энергетических систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. E-mail: mikhaylovskiy.vn@mmk.ru.

Мовчан Ирина Николаевна – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Новикова Татьяна Борисовна – канд. пед. наук, доцент, каф. прикладной информатики, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tglushenko_2184@mail.ru.

Одинцов Константин Эдуардович – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. электротехники и электротехнических систем МГТУ, г. Магнитогорск.

Павлов Владимир Викторович – ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск.

Панов Александр Николаевич – канд. техн. наук, ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск. E-mail: panov.a@konsom.ru.

Посохов Иван Александрович – ст. преподаватель, каф. вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Сафин Ильдар Рафкатович – инженер, ООО «ОСК», г. Магнитогорск.

Серебряков Артем Владимирович – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Стащук Петр Владимирович – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск.

Хисаметдинов Фиргат Зайнуллович – ст. преподаватель, каф. прикладной математики и информационных технологий Сибайского института (филиала) ФГОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Сибай, Респ. Башкортостан. E-mail: KhisametdinovFZ@mail.ru.

Храмшин Рифхат Рамазанович – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники и электротехнических систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. E-mail: hramshinrr@mail.ru.

Чистяков Дмитрий Владимирович – канд. социол. наук, исполнительный директор ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск.

Чичиланова Светлана Анатольевна – канд. пед. наук, доцент, начальник отдела менеджмента качества, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Челябинск. E-mail: svetchitch@mail.ru.

Шубин Андрей Григорьевич – начальник центральной электротехнической лаборатории ОАО «ММК», г. Магнитогорск.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Agapitov Artem Evgenyevich – student, Department of Heat Engineering and Energy Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: artagapitov@gmail.com.

Agapitov Evgeniy Borisovich – Ph.D. (Eng.), Professor, Department of Heat Engineering and Energy Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Bodrov Evgeniy Eduardovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor of Electronics and Microelectronics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. E-mail: fortheartist@mail.ru.

Chichilanova Svetlana Anatolyevna – Ph.D. in Education, Associate Professor, Head of Quality Management Department, South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk. E-mail: svetchitch@mail.ru.

Chistjakov Dmitriy Vladimirovich – Ph.D. in Sociology, chief executive officer, CJSC "KonsOM SKS", Magnitogorsk.

Efimova Irina Yuryevna – Ph.D. in Education, Associate Professor, Associate Professor of Business Informatics and Information Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Gostev Anatoly Nikolaevich – an electrician of the Rolling Mill – 10, OJSC "MMK", Magnitogorsk.

Guzei Kseniya Evgenievna – CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia.

Grigoryev Andrey Dmitrievich – Ph.D. in Education, Associate Professor, Head of Design Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: g_ad77@mail.ru.

Ishmetyev Evgeny Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Strategic Development director, CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk.

Kablukova Margarita Sergeevna – assistant, Department of Heat Engineering and Energy Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: margo88k@rambler.ru.

Khisametdinov Firgat Zainullovich – Senior Lecturer, Department of Applied Mathematics and Information Technology, Sibay Institute of Bashkir State University, Sibay, Bashkortostan. E-mail: KhisametdinovFZ@mail.ru.

Khramshin Rifhat Ramazanovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor of Electrical and Systems Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. E-mail: hramshinrr@mail.ru.

Korobeinikov Stanislav Mikhailovich – CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk.

Kryukov Oleg Viktorovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Main Specialist of JSC "Giprogaзtsentr", Nizhny Novgorod.

Kurzaeva Lyubov Viktorovna – Ph.D. in Education, Associate Professor, Applied Informatics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: lkurzaeva@mail.ru.

Logunova Oksana Sergeevna – D.Sc.(Eng.), Associate Professor, Head of Department of Computer Science and

Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Lukyanov Sergey Ivanovich – D.Sc.(Eng.), Professor, Head of Electronics and Microelectronics department, Director of Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Matsko Igor Igorevich – Research and engineering center «Ausferr», Magnitogorsk.

Mikhailovskiy Vladimir Nikolaevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Heat Engineering and Energy Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: mikhaylovskiy.vn@mmk.ru.

Mikov Anatoliy Yuryevich – senior lecturer, Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Movchan Irina Nikolaevna – Ph.D. in Education, Associate Professor, Associate Professor of Business Informatics and Information Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Novikova Tatyana Borisovna – Ph.D. in Education, Associate Professor, Applied Informatics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.
E-mail: tglushenko_2184@mail.ru.

Odintsov Konstantin Eduardovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Head of Electrical and Systems Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Panov Alexander Nikolaevich – Ph.D.(Eng.), CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk.
E-mail: panov.a@konsom.ru.

Pavlov Vladimir Viktorovich – OJSC "MMK", Magnitogorsk.

Posokhov Ivan Aleksandrovich – senior lecturer, Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Safin Ildar Rafkatovich – engineer, USC ltd., Magnitogorsk.

Serebryakov Artiom Vladimirovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Alekseev NGTU, Nizhny Novgorod.

Shubin Andrey Grigoryevich – Head of the central electrotechnical laboratory, OJSC "MMK", Magnitogorsk.

Stashchuk Petr Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk.

Varganov Dmitriy Evgenyevich – design-and-planning engineer, LLC "YUGRAENERGO", Magnitogorsk.
E-mail: gtbi@yandex.ru.