

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1996 Г.

№3(28), СЕНТЯБРЬ 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.

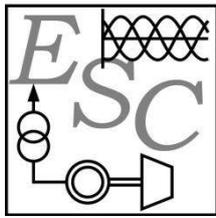
Адрес редакции:

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 31.06.2015. Заказ ... Тираж 500 экз. Цена свободная.



ELECTROTECHNICAL SYSTEMS AND COMPLEXES

PUBLISHED SINCE JAN., 1996

№3(28) SEPT., 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: 31.06.2015. Order. Circulation: 500.

Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и практика автоматизированного электропривода.....	4
<i>Мещераков В.Н., Байков Д.В.</i> Исследование преобразователя частоты матричного типа при работе на асинхронный двигатель.....	4
<i>Николаев А.А., Денисевич А.С., Ложкин И.А., Тухватуллин М.М.</i> Исследование влияния провалов напряжения в системе электроснабжения завода ММК Metalurji на работу главных электроприводов стана горячей прокатки.....	8
<i>Мещераков В.Н., Толчеев В.М.</i> Разработка способа снижения динамических нагрузок электропривода прокатной клетки стана холодной прокатки.....	14
<i>Николаев А.А., Тулупов П.Г.</i> Разработка усовершенствованных алгоритмов управления гидроприводом перемещения электродов сверхмощной электродуговой сталеплавильной печи ДСП-250.....	20
Электроэнергетика.....	28
<i>Джагаров Н.Ф., Бонев М.Б., Гроздев Ж.Г., Лазаров Т.П., Джагарова Ю.В.</i> Моделирование процессов в судовом синхронном генераторе с системой компаундирования.....	30
<i>Юлдашева А.И., Малафеев А.В.</i> Учет показателей надежности при планировании режима промышленной системы электроснабжения с собственными электростанциями.....	36
<i>Тухватуллин М.М., Ивекеев В.С., Ложкин И.А., Урманова Ф.Ф.</i> Анализ современных устройств FACTS, используемых для повышения эффективности функционирования электроэнергетических систем России.....	41
Энерго- и ресурсосбережение	47
<i>Панов А.Н., Мудрый А.П., Коробейников С.М., Цуприк Л.С., Гузей К.Е., Сапунов А.В.</i> Автоматизированная система мониторинга технологических параметров компрессорной станции на базе контроллерного оборудования «B&R».....	47
Теория и методика профессионального образования	51
<i>Белусова И.Д.</i> Реализация компетентного подхода при разработке профессиональных и образовательных стандартов для сферы ИТ.....	51
<i>Мовчан И.Н.</i> Информационно-образовательная среда образовательного учреждения.....	53
Сведения об авторах	59

CONTENT

Theory and practise of automated electric drive.....	4
<i>Meshcheryakov V.N., Baykov D.V.</i> Research of the matrix type frequency converter during operation with the induction motor.....	4
<i>Nikolaev A.A., Denisevich A.S., Lozhkin I.A., Tuxvatullin M.M.</i> Investigation of voltage drops' influence in the power supply system of the "MMK Metalurji" ironworks on the main electric drives of the hot strip mill.....	8
<i>Meshcheryakov V.N., Tolcheev V.M.</i> Development of a method for reducing the dynamic loads of the electric drive of the roll stand of the cold rolling mill.....	14
<i>Nikolaev A.A., Tulupov P.G.</i> Development of the improved control algorithms for ultra-high power electric arc furnace EAF-250 electrode motion system.....	20
Power engineering.....	28
<i>Djagarov N.F., Bonev M.B., Grozdev Z.G., Lazarov T.P., Djagarova J.V.</i> Processes simulation in ship's synchronous generator with compaund system excitation.....	30
<i>Yuldasheva A.I., Malafeev A.V.</i> Accounting the reliability index at planning the mode of industrial power supply system with own electric power stations.....	36
<i>Tuxvatullin M.M., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A., Uрманова F.F.</i> Analysis of the modern facts devices, used for increasing the functioning efficiency of Russian electric power systems.....	41
Energy- and resources-economy	47
<i>Panov A.N., Mudryi A.P., Korobeinikov S.M., Tsuprik L.S., Guzey K.E., Sapunov A.V.</i> Automated monitoring system of compressor station technological parameters via B&R controller equipment.....	47
Theory and methods of professional education	51
<i>Belousova I.D.</i> The implementation of competence-based approach in the process of professional and educational standards development for the it sector....	51
<i>Movchan I.N.</i> Informational and education environment of educational institution.....	53
Information about the authors.....	60

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

УДК 621.313.3

Мещеряков В. Н., Байков Д.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ МАТРИЧНОГО ТИПА ПРИ РАБОТЕ
НА АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Работа посвящена исследованию асинхронного электропривода на базе матричного преобразователя частоты, представляющего собой комбинацию виртуального активного выпрямителя и виртуального автономного инвертора напряжения с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции. Исследования проводились методом математического моделирования в программе Matlab/Simulink. Показаны результаты моделирования выходного напряжения и тока матричного преобразователя частоты при различных выходных частотах, произведен гармонический анализ выходного напряжения преобразователя.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, асинхронный двигатель, автономный инвертор напряжения, активный выпрямитель, пространственно-векторная модуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное стремление к повышению энергетической эффективности, включающей в себя обеспечение синусоидальности входных токов, близкий к единице коэффициент мощности, а также возможность сброса электрической энергии в режиме рекуперативного торможения в промышленную сеть – это один из основных современных путей развития электропривода переменного тока.

В настоящее время на международном рынке преобразовательной техники наиболее распространенными и востребованными являются двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ). Большая часть таких преобразователей выполняется на основе автономных инверторов напряжения (АИН), реже инверторов тока (АИТ). АИН обычно связывают с промышленной сетью с помощью диодного моста, а для обеспечения тормозных режимов работы асинхронного двигателя в звене постоянного тока устанавливают тормозной резистор или дополнительный тиристорный мост, подключенный между звеном постоянного тока и промышленной сетью. Данные технические решения хороши для определенных условий работы, но обладают значимыми недостатками: потребляют значительную реактивную мощность и характеризуются высоким коэффициентом гармоник входного тока. Устранить данные проблемы можно заменив в топологии преобразователя диодный мост на активный выпрямитель (АВ). Однако это не позволит решить еще одну насущную проблему – наличие накопителя в звене постоянного тока (конденсатора в АИН или дросселя в АИТ), существенно влияющего на массогабаритные показатели преобразователя и влекущего за собой дополнительные проблемы, связанные с ограничением эксплуатационных условий работы электропривода и периодической замены накопителя. Данные аспекты не позволяют достичь максимальных значений удельной мощности и уменьшить размеры преобразователя, тем самым расширив сферу применения частотных преобразователей в промышленности. Поэтому по-прежнему актуальными остаются вопросы повышения качества потребляемой энергии, энергетической эффективности и надежности электропривода.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Наиболее перспективным направлением развития рекуперативного электропривода переменного тока видится сравнительно новая разновидность непосредственных преобразователей частоты – матричный преобразователь частоты (МПЧ) [1-3], не содержащий в своем составе ненадежных элементов и характеризующийся более высоким качеством потребляемой энергии и малыми массогабаритными показателями.

Только сейчас первые опытные образцы МПЧ выходят на мировой рынок силовой преобразовательной техники, характеризуясь высокими энергетическими показателями и не менее высокой ценой, что по-прежнему заставляет их оставаться объектом научно-технических изысканий [4]. Тем не менее существующие топологии силовой части МПЧ позволяют снизить размеры входного фильтра или полностью исключить его из конструкции преобразователя, а отсутствие звена постоянного тока влечет к существенному снижению массогабаритных показателей и повышению надежности всего электропривода в целом, что делает этот тип преобразователей привлекательным объектом для исследований. Особое внимание исследователей привлекает разработка энергосберегающего электропривода на базе асинхронного двигателя (АД), управляемого МПЧ, о чем свидетельствует растущее число научных публикаций, подтверждающих преимущества МПЧ по сравнению с традиционными ДПЧ. Выделяются следующие достоинства МПЧ: двунаправленный обмен энергией между питающей сетью и двигателем без дополнительных устройств; высокие энергетические и динамические характеристики; отсутствие в силовой части дорогостоящих электролитических конденсаторов большой емкости, существенно ухудшающих массогабаритные показатели преобразователя [5, 6].

При проектировании асинхронного электропривода на базе преобразователя частоты матричного типа наиболее важным является выбор способа управления силовой частью и расчет входного фильтра, обеспечивающего заданный коэффициент мощности при минимальных размерах преобразователя.

В настоящее время разработано несколько алгоритмов управления силовой частью МПЧ, условно их можно разделить на алгоритмы скалярной и простран-

ственно-векторной модуляции. К алгоритмам скалярной модуляции относятся базовый метод управления [7-8], его развитие, известный как оптимизированный алгоритм Вентарини [9] и алгоритм канадского ученого Жиль Роя [10]. Отличие между ними заключено лишь в том, что вычисленные по оптимизированному алгоритму коэффициенты модуляции зависят от коэффициента передачи напряжения, а в алгоритме канадского ученого они постоянны и равны своему максимальному значению.

Общим недостатком перечисленных алгоритмов является недостаточно высокое значение выходного напряжения. Так, базовый метод управления и алгоритм Роя способны обеспечить максимальный коэффициент передачи, равный 0,5, а оптимизированный алгоритм Вентарини и пространственно-векторная модуляция – не более 0,866. Это значит, что из сети 220/380 В МПЧ способен сформировать выходное напряжение не более 190/330 В, что несомненно вносит ограничение в сферу применения МПЧ в промышленности и ставит перед учеными задачу по разработке новых и модификации существующих алгоритмов управления преобразователем с целью повышения максимально возможного значения коэффициента передачи без существенного ухудшения спектра выходного напряжения.

В работах [9,11] МПЧ был представлен в виде эквивалентной схемы замещения, представленной на рис. 1. Этот факт и развитие современной микропроцессорной техники дали возможность строить системы управления МПЧ на основе хорошо известных пространственно-векторных алгоритмов управления выпрямительной и инверторной частей ДПЧ.

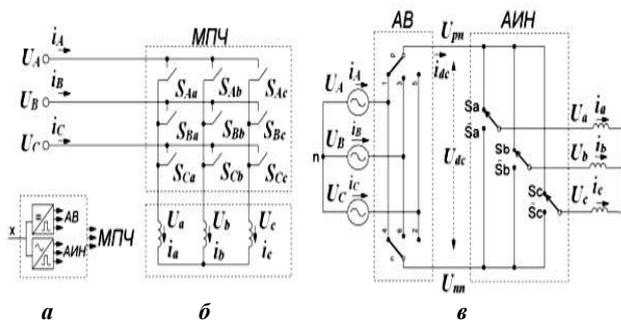


Рис. 1. МПЧ: а – управляющая часть; б – силовая часть; в – схема замещения

Для корректной работы матричного электропривода в режиме пространственно-векторной модуляции (отсутствие интервалов короткого замыкания фаз сети и разрыва тока нагрузки) необходимо, чтобы в любой момент времени выполнялось следующее условие: из девяти двунаправленных ключей МПЧ одновременно замкнутыми (активными) всегда должны быть три ключа, относящиеся к разным фазам нагрузки [12]. Поэтому существует 27 разрешенных комбинаций открытых ключей, представленных в таблице и разделенных на три группы. Для каждой комбинации линейные напряжения входа и выхода могут быть выражены в виде пространственных векторов.

Группа I соответствует случаю, когда все три выходные фазы каким-либо способом соединены только с двумя входными фазами и содержит 18 комбинаций

активных векторов выходного напряжения \vec{U}_o и активных векторов входного \vec{I}_i , имеющих фиксированное направление

Группа II соответствует случаю, когда все три фазы связаны только с одной из выходных и содержит 3 комбинации нулевых векторов выходного напряжения и входного тока.

Группа III соответствует случаю, когда величина и фаза каждого из векторов являются переменными и содержат 6 комбинаций, в которых каждая выходная фаза связана с различной входной фазой. Эта группа векторов не используется.

Состояние ключей МПЧ

Группа	№	Вектор	Ключи	\vec{U}_o	\vec{I}_i
I	1	+1	S _{Aa,Bb,Bc}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _a
	2	-1	S _{Ba,Ab,Ac}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _a
	3	+2	S _{Ba,Cb,Cc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _a
	4	-2	S _{Ca,Bb,Bc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _a
	5	+3	S _{Ca,Ab,Ac}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _a
	6	-3	S _{Aa,Cb,Cc}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _a
	7	+4	S _{Ba,Ab,Bc}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _b
	8	-4	S _{Aa,Bb,Ac}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _b
	9	+5	S _{Ca,Bb,Cc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _b
	10	-5	S _{Ba,Cb,Bc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _b
	11	+6	S _{Aa,Cb,Ac}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _b
	12	-6	S _{Ca,Ab,Cc}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _b
	13	+7	S _{Ba,Bb,Ac}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _c
	14	-7	S _{Aa,Ab,Bc}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _c
	15	+8	S _{Ca,Cb,Bc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _c
	16	-8	S _{Ba,Ab,Cc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _c
	17	+9	S _{Aa,Ab,Cc}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _c
	18	-9	S _{Ca,Cb,Ac}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _c
II	19	0	S _{Aa,Ab,Ac}	0	0
	20	0	S _{Ba,Bb,Bc}	0	0
	21	0	S _{Ca,Cb,Cc}	0	0
III	22	-	S _{Aa,Bb,Cc}	u _i	i ₀
	23	-	S _{Aa,Cb,Bc}	-u _i	i ₀
	24	-	S _{Ba,Cb,Ac}	-u _i	i ₀
	25	-	S _{Ba,Ab,Cc}	u _i	i ₀
	26	-	S _{Ca,Ab,Bc}	u _i	i ₀
	27	-	S _{Ca,Bb,Ac}	-u _i	i ₀

Таким образом, пространственно-векторная модуляция МПЧ подразумевает полный контроль над вектором выходного напряжения \vec{U}_o и вектором входного тока \vec{I}_i , используя 18 активных векторов I группы и 3 нулевых вектора II группы [5].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Работа преобразователя частоты матричного типа исследовалась в среде моделирования Matlab/Simulink. Нагрузкой преобразователя служили обмотки трехфазного общепромышленного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа АИР90L4 мощностью 2,2 кВт, 1500 об/мин, параметры которого закладывались в имитационную модель. МПЧ был реализован с помощью 9 двунаправленных ключей, выполненных по схеме с общим эмиттером и способных блокировать обратное напряжение и проводить ток в обоих направлениях.

Для обеспечения электромагнитной совместимости с питающей сетью, а также для сглаживания вход-

ных токов и получения жесткой характеристики входа по напряжению был установлен *LC* фильтр. Так как входной фильтр такого рода потребляет из сети реактивный (емкостной) ток, то емкость фильтра выбиралась из условия обеспечения коэффициента мощности не ниже 0,8 при 10% загрузке, а индуктивность – согласно IEEE Стандарту 519-1992 с целью обеспечения хорошего качества потребляемого входного тока.

Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при частоте модуляции $f_s=5$ кГц и выходных частотах f_o 25, 50 и 100 Гц представлены на рис. 2 - 4 соответственно. На рисунках показаны осциллограммы выходного тока и напряжения МПЧ, а также спектр гармоник выходного напряжения МПЧ при различных выходных частотах.

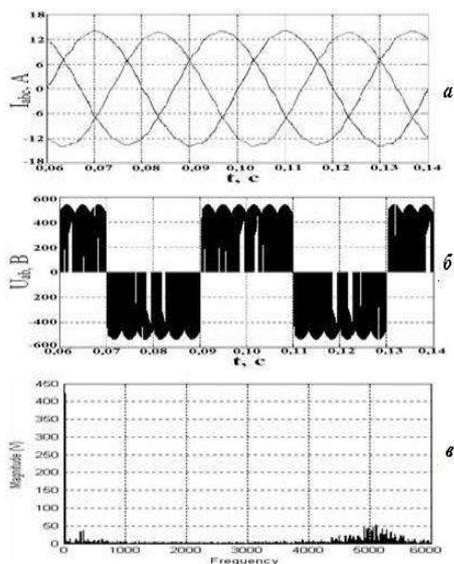


Рис. 2. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=25$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

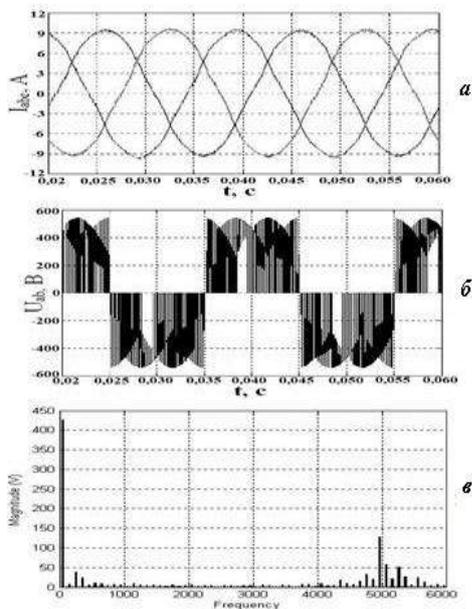


Рис. 3. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=50$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

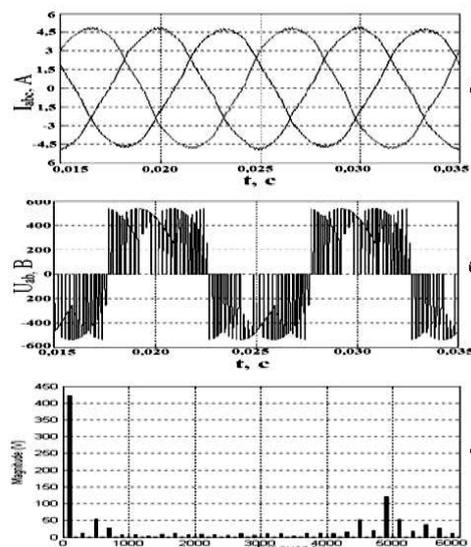


Рис. 4. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=100$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенного исследования было определено:

1. Практическая реализация матричного преобразователя сильно осложнена из-за проблем с безопасной коммутацией ключей и требует либо введения в силовую часть преобразователя датчиков тока для каждого двунаправленного ключа, либо осуществления поэтапной коммутации четырех транзисторов.

2. Применение матричной структуры преобразования электрической энергии в современном электроприводе переменного тока может повысить надежность системы, так как при отказе одной из фаз первичного источника алгоритм управления может с легкостью работать с оставшимися фазами входного напряжения, обеспечивая напряжение более низкого качества, но достаточное для поддержания работоспособности электрического привода.

3. Входной фильтр МПЧ лишь замыкает формируемые преобразователем составляющие входных токов, поэтому имеет небольшие ценовые и массогабаритные показатели.

4. Необходимо произвести оптимизацию и адаптацию алгоритмов управления МПЧ, представляющего собой комбинацию виртуального автономного инвертора напряжения и виртуального активного выпрямителя, с целью удаления в выходном напряжении паразитных гармоник в низкочастотной части спектра.

5. Качество выходного напряжения матричного преобразователя частоты сильно ухудшается в случае несимметричной работы сети, что наиболее заметно при максимальных выходных частотах.

6. При данном алгоритме управления МПЧ выходное напряжение вне зависимости от выходной частоты не имеет крупных гармоник до момента достижения частоты коммутации ключей.

7. Стратегия пространственно-векторной модуляции способна обеспечить коэффициент передачи напряжения, равный 0,866, что достигается при $\cos\varphi_i=1$.

Это означает, что для заданного угла входного сдвига фаз φ_i максимальное выходное напряжение снижается пропорционально $\cos\varphi_i$. Несмотря на это, качество работы асинхронного электропривода на базе МПЧ снижается в меньшей степени, т. к. режим малой мощности может быть как при малой нагрузке на валу, так и при низких скоростях вращения АД, а при малой нагрузке будет целесообразным обеспечить в МПЧ режим потребления реактивной мощности с целью компенсации первой гармоники емкостного тока входного фильтра, что приведет к повышению коэффициента.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №15-38-50155 «Исследование и математический анализ алгоритма управления преобразователем частоты матричного типа для электроприводов переменного тока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосберегающий промышленный регулируемый асинхронный электропривод нового поколения на основе двухзвенно-непосредственных преобразователей частоты / Р.Т. Шрейнер, В.К. Кривовяз, А.И. Калыгин и др. // Силовая электроника. 2007. №1. С. 42-45.
2. Klumpner C., Wijekoom T., P.Wheeler A new class of hybrid AC/AC direct power converter // IEEE Industry App. Conference. 2005, vol. 4, pp. 2374-2381.
3. Wheeler P., Grant D. Matrix converters a technology review / Practical Matrix Converter // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2002, vol, 49, pp. 276.
4. Виноградов А.Б. Новые алгоритмы пространственно-векторного управления матричным преобразователем частоты // Электричество. 2008. №3. С. 41-52.

5. Мещеряков В.Н., Байков Д.В. Математический анализ и моделирования преобразователя частоты матричного типа с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15. №1. С. 21-33.
6. Байков Д.В., Карасев А.В. Матричный преобразователь частоты – перспективное решение в сфере экономии энергии и развития электропривода // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2 т. / отв. за вып. И.В. Гуляев. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 492-494.
7. Alesina A., Venturini M. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuous variable adjustable input power factor // IEEE PESC'80. 1980, pp. 242-252.
8. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements // POWERCON'80. 1980, pp. E3/1-E3/15.
9. Alesina A., Venturini M. Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters // IEEE Transactions on Power Electronics. January 1989, vol. 4, no.1, pp. 101-112.
10. Asynchronous operation of cycloconverter with improved voltage gain by employing a scalar control algorithm / G. Roy, L. Duguay, S. Manias, G. April // IEEE IAS Conference Record. 1987, pp. 889-898.
11. Alesina A., Venturini M. Intrinsic amplitude limits and optimum design of 9-switches direct PWM ac-ac converters // IEEE PESC'88. 1988, vol. 2, pp. 1284-1291.
12. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». Иваново, 2008. С. 123.

INFORMATION IN ENGLISH

RESEARCH OF THE MATRIX TYPE FREQUENCY CONVERTER DURING OPERATION WITH THE INDUCTION MOTOR

Meshcheryakov V.N., Baykov D.V.

The research of the induction motor based on matrix type frequency converter which is the combination of the virtual active front end and virtual autonomous voltage inverter with direct control by the method of space vector modulation was discovered. The researches were simulated by the method of mathematical simulation program Matlab/Simulink. The results of simulation the output voltage and current of the matrix type frequency converter at different output frequencies, produced by harmonic analysis of the output voltage of the matrix converter were shown.

Keywords: matrix type frequency converter, induction motor, autonomous voltage inverter, active front end, space vector modulation.

REFERENCES

1. Shreyner R.T., Krivovяз V.K., Kalygin A.I. *Energosberegayushchij promyshlennyj reguliruemyy asinhronnyj elektroprivod novogo pokoleniya na osnove dvuhzvenno-neposredstvennyh preobrazovatelej chastoty* [Energy-saving industrial asynchronous electric adjustment of the new generation on the basis of a two-tier direct-frequency converters]. *Silovaya elektronika* [Power electronics], 2007, no.1, pp. 42-45.
2. Klumpner C., Wijekoom T., P.Wheeler A new class of hybrid AC/AC direct power converter // IEEE Industry App. Conference. 2005, vol. 4, pp. 2374-2381.

3. Wheeler P., Grant D. Matrix converters a technology review / Practical Matrix Converter // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2002, vol, 49, pp. 276.
4. Vinogradov A.B. *Novye algoritmy prostranstvenno-vektornogo upravleniya matrichnym preobrazovatelem chastoty [New algorithms for space vector control of a matrix frequency converter]*. *Elektrichestvo* [Electrical Technology], Russia, 2008, no. 3, pp. 41-52 (in Russ.)
5. Meshcheryakov V.N., Baykov D.V. *Matematicheskiy analiz i modelirovaniya preobrazovatelya chastoty matrichnogo tipa s neposredstvennym upravleniem po metodu prostranstvenno-vektornoy modulyacii* [Mathematical Analysis and Simulation of Space Vector Modulated Direct Controlled Matrix Converter]. *Vestnik yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering], 2015, vol. 15, no. 1, pp. 21-33.
6. Baykov D.V., Karasev A.V. *Matrichnyy preobrazovatel' chastoty – perspektivnoe reshenie v sfere ekonomii energii i razvitiya elektroprivoda* [Matrix frequency converter – perspective solution in the field of energy-saving and electric drive development]. *Tруды VIII Mezhduнародной (XIX Vserossiyskoy) konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu AEP-2014* [Proc. of the VIII International (XIX All-Russian) Conference on automated electric drive AEP 2014]. Saransk, 2014, pp. 492-494.

7. Alesina A., Venturini M. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuous variable adjustable input power factor // IEEE PESC'80. 1980, pp. 242-252.

8. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements // POWER-CON'80. 1980, pp. E3/1-E3/15.

9. Alesina A., Venturini M. Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters // IEEE Transactions on Power Electronics. January 1989, vol. 4, no.1, pp. 101-112.

10. Asynchronous operation of cycloconverter with improved voltage gain by employing a scalar control algorithm / G. Roy, L. Duguay, S. Manias, G. April // IEEE IAS Conference Record. 1987, pp. 889-898.

11. Alesina A., Venturini M. Intrinsic amplitude limits and optimum design of 9-switches direct PWM ac-ac converters // IEEE PESC'88. 1988, vol. 2, pp. 1284-1291.

12. Vinogradov A.B. *Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka* [Vector Control of AC electric drives]. *GOU VPO "Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V. I. Lenina"* [Ivanovo Power Engineering Institute Publ.]. 2008, 298 p.

УДК621.314.64

Николаев А.А., Денисевич А.С., Ложкин И.А., Тухватуллин М.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА ММК METALURJI НА РАБОТУ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В статье рассмотрен способ повышения надежности работы главных электроприводов стана горячей прокатки «1750» ЗАО «ММК Metalurji» (г. Искендерун), Турция за счет использования резервов реактивной мощности статического тиристорного компенсатора, установленного на электрической подстанции завода. Разработана математическая модель преобразователя частоты с многоуровневым активным выпрямителем. На модели проведены исследования переходных процессов токов и напряжений при возникновении провалов напряжения в сети 34,5 кВ. Определены причины отключения преобразователей частоты и доказана эффективность способов демпфирования провалов напряжения с использованием внутривзаводского статического тиристорного компенсатора.

Ключевые слова: провал напряжения, преобразователь частоты, активный выпрямитель, главный привод, статический тиристорный компенсатор.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время главные электроприводы прокатных станов выполняются на базе высоковольтных синхронных двигателей и преобразователей частоты (ПЧ) с активными выпрямителями (АВ) и автономными инверторами напряжения (АИН). Силовая схема АВ и АИН выполнена на базе полностью управляемых полупроводниковых вентилей (IGCT тиристоры или IGBT транзисторы). Опыт эксплуатации показывает, что системы управления этих ПЧ не адаптированы к несимметричным провалам напряжения [1]. Кратковременные провалы напряжения, которые характеризуются длительностью 100- 200 мс и глубиной 10-40% , очень часто приводят к отключению электроприводов и нарушению технологического процесса, сопровождающегося значительным экономическим ущербом. Аналогичная проблема существует на металлургическом заводе ЗАО «ММК Metalurji» (г. Искендерун, Турция), где функционирует стан горячей прокатки «1750», в состав которого входят группа черновых клетей (2 клетки с высоковольтными синхронными двигателями 6600 и 7800 кВт) и группа чистовых клетей (4 клетки с двигателями 9500 и 8500 кВт). Силовая схема ПЧ выполнена на базе многоуровневых АВ и АИН.

На данном заводе существует проблема возникновения провалов напряжения в питающей линии 380 кВ. Данные провалы трансформируются сетевыми трансформаторами 380/34,5 кВ во внутривзаводскую сеть и вызывают отключение ПЧ. В статье рассмотрен способ повышения надежности работы электроприводов стана горячей прокатки (СГП) за счет объединения секции 34,5 кВ, питающей

электросталеплавильный комплекс, включающий в себя сверхмощную дуговую сталеплавильную печь ДСП-250 (300 МВА), установку ковш-печь (УКП), статический тиристорный компенсатор СТК 330 МВАр, с другой секцией 34,5 кВ, от которой получают питание главные электроприводы СГП.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ «1750»

Металлургический завод получает питание по одной питающей линии электропередачи 380 кВ от районной подстанции Erzincan (рис. 1). Главная понизительная подстанция завода включает в себя открытое распределительное устройство (ОРУ) 380 кВ и закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 34,5 кВ, которые связаны между собой четырьмя силовыми понизительными трансформаторами единичной мощностью 155 МВА. Трансформаторы Т₁ и Т₂ осуществляют подвод питания к четырем секциям ЗРУ-34,5 кВ, к которым подключены электроприемники станов горячей и холодной прокатки, непрерывно-термического агрегата, агрегатов горячего цинкования и полимерных покрытий, кислородной станции и др. Трансформаторы Т₃ и Т₄ включены на параллельную работу для питания электросталеплавильного комплекса, включающего самую мощную в мире дуговую сталеплавильную печь ДСП-250 (300 МВА), а также установку ковш-печь (48 МВА). Статический тиристорный компенсатор (СТК) 330 МВАр подключен на одну секцию с дуговой печью и установкой ковш-печь и в нормальном режиме осуществляет компенсацию реактивной мощности электросталеплавильного комплекса, симметрирование и

фильтрацию высших гармоник токов ДСП и УКП [2].

Электроснабжение завода осуществляется по одной питающей линии 380 кВ, поэтому при возникновении коротких замыканий в питающей сети на внутривзаводском уровне электроснабжения наблюдаются провалы напряжения, которые оказывают негативное влияние на работу главных электроприводов (СГП) [3]. Анализ статистических данных, полученных с подстанции завода, показывает большое количество однофазных провалов напряжения, приводящих к отключению ПЧ стана горячей прокатки. Аварийная остановка главных электроприводов СГП с застреванием полосы в прокатных клетях ликвидируется в течение 2 ч. Необходимо отметить, что СГП работает в составе непрерывного литейно-прокатного комплекса, и отключение главных электроприводов клетей вызывает остановку всего электростале-плавильного комплекса, что приводит к значительному экономическому и технологическому ущербу.

В предыдущих работах [3, 4] было предложено объединить секции шин 34,5 кВ с целью компенсации провалов напряжения с помощью резервов реактивной мощности СТК. Также были разработаны усовершенствованные алгоритмы управления СТК 330 МВАр с контролем фазных напряжений на период времени возникновения провала. На рис. 1 показана дополнительная кабельная линия, обеспечивающая параллельную работу СГП с комплексом «ДСП-АПК-СТК».

СТК».

Детальное исследование процессов, протекающих в ПЧ с активным выпрямителем при возникновении провалов напряжения, с целью оценки эффективности способа повышения надежности работы электроприводов СГП за счет СТК 330 МВАр, требует создания подробной имитационной модели ПЧ с АВ, учитывающей особенности силовой схемы и структуры системы управления АВ.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ MATLAB С ПРИЛОЖЕНИЕМ SIMULINK

Главный электропривод черновой клетки СГП представляет систему, в которой синхронный двигатель мощностью 6600 кВт подключен к двум параллельно соединенным трехуровневым ПЧ (рис. 2). Для улучшения качества выпрямленного напряжения и гармонического состава потребляемого тока применяется двенадцатипульсная схема выпрямления. Для реализации данной схемы первичные обмотки трансформаторов соединены последовательно. Активный выпрямитель и автономный инвертор напряжения ПЧ имеют полностью идентичную структуру и выполнены на базе полностью управляемых тиристоров IGCT [1].

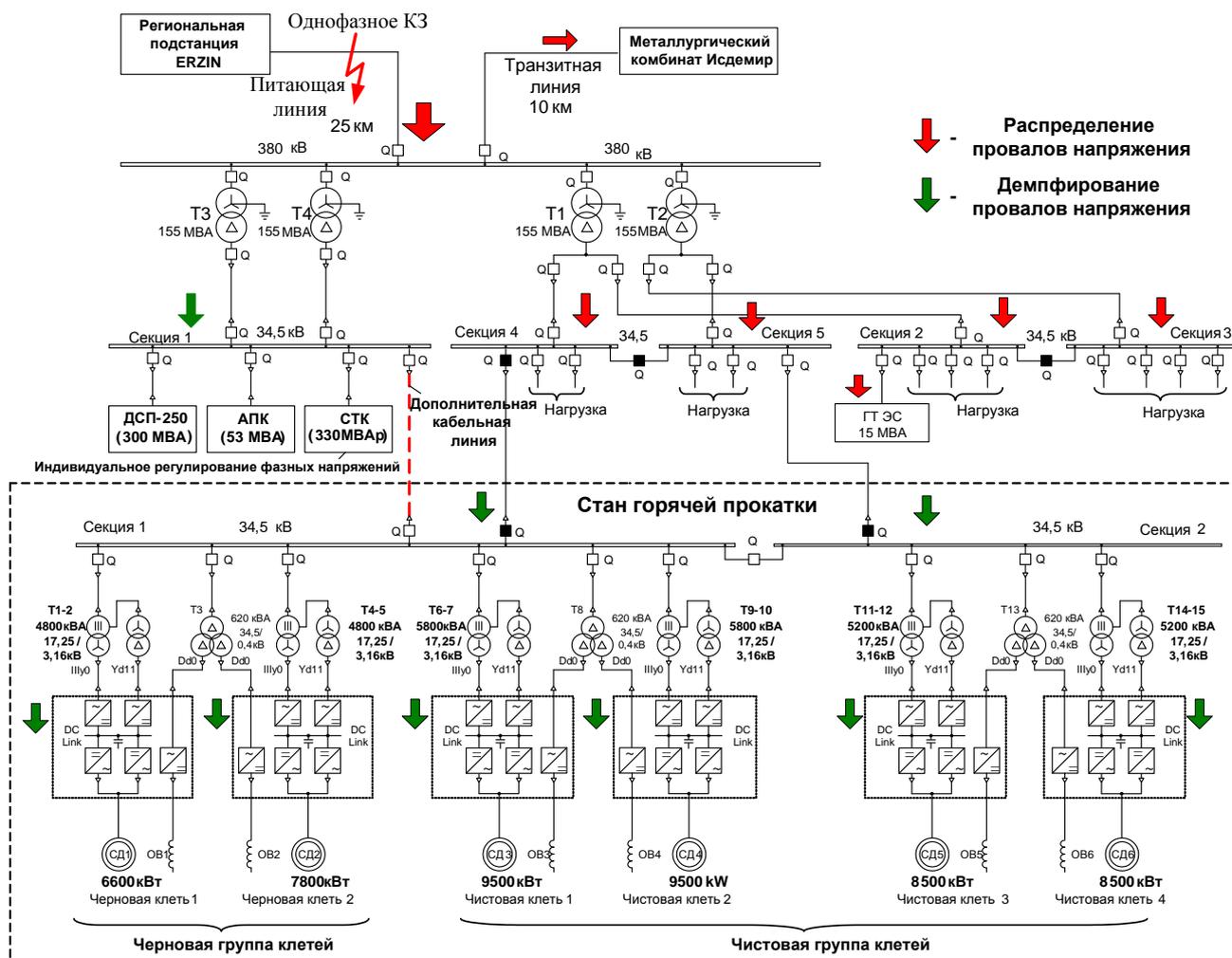


Рис. 1. Модернизированная схема электроснабжения с дополнительной кабельной линией, обеспечивающая параллельную работу СГП с комплексом «ДСП-АПК-СТК»

Каждое плечо преобразователя состоит из четырех управляемых ключей с подключенными параллельными диодами и соединительными диодами. Соединительные диоды необходимы для того, чтобы соединять шесть средних силовых модулей к нулевой точке преобразователя [5]. Преобразователи частоты имеют общее звено постоянного тока, которое представлено в виде двух эквивалентных емкостей, соединенных последовательно. Напряжение на одном конденсаторе составляет половину напряжения в звене постоянного тока и равно 2420 В. Точка между конденсаторами образует нулевой потенциал преобразователя.

Имитационная модель преобразователя частоты была разработана в программном продукте MATLAB с приложением Simulink. При моделировании АИН и синхронный двигатель представляются упрощенно в виде источника тока. Для моделирования АВ был использован блок «Three-Level Bridge» из библиотеки Power Electronics. Для улучшения гармонического состава потребляемого АВ тока между зажимами питающей сети и входами АВ включены буферные реакторы, обладающие большим показателем добротности и высоким напряжением короткого замыкания [6]. Упрощенная схема замещения преобразователя частоты с активным выпрямителем представлена на рис. 3.

Для управления силовыми ключами активного выпрямителя используется векторная система управления (СУ) с ориентацией по вектору напряжения питающей сети (рис. 4). Система управления АВ должна поддерживать напряжение в звене постоянного тока на заданном уровне и обеспечивать коэффициент мощности на входе преобразователя, равным единице. В соответствии с этими требованиями СУ выполнена двухконтурной с внутренним двухканальным контуром регулирования dq составляющих токов и внешним контуром регулирования выпрямленного напряжения АВ. В СУ также предусмотрен блок фазовой автоподстройки частоты PLL, который отслеживает изменение частоты и фазы питающего напряжения и формирует опорный сигнал wt для блока преобразования координат $abc/dq0$. В блоке $abc/dq0$ происходит преобразование токов, измеренных на входе АВ, из трехфазной системы координат abc во вращающуюся систему $dq0$. Затем вычисленные активная i_d и реактивная i_q составляющие токов АВ сравниваются с заданными значениями $i_{d.ref}$ и $i_{q.ref}$. Ток задания по активной составляющей $i_{d.ref}$ формируется во внешнем контуре регулирования напряжения, где сравниваются фактическое $U_{DC.act}$ и заданное $U_{DC.ref}$ значения напряжений в звене постоянного тока. Ошибка регулирования напряжения устраняется пропорционально-интегральным регулятором PH. Ток задания по реактивной составляющей $i_{q.ref}$ напрямую определяет потребление реактивной мощности ПЧ из питающей сети. В нормальном режиме работы значение $i_{q.ref}$ устанавливается равным 0.

Сигналы ошибок регулирования токов обрабатываются пропорционально-интегральными регуляторами PTd и PTq , на выходе которых формируются задания на dq составляющие входного напряжения АВ (U_d

и U_q). К выходным сигналам регуляторов PTd и PTq прибавляются дополнительные сигналы компенсирующих связей, после чего результирующие параметры U'_d и U'_q поступают на вход блока, где происходят вычисления коэффициента модуляции m и фазового угла θ . На основании этих параметров в блоке формирования заданных трехфазных напряжений АВ рассчитываются опорные синусоиды $U_{abc.ref}$, которые поступают на вход блока широтно-импульсной модуляции PWM, где по известным алгоритмам формируются импульсы для управления ключами АВ [6-9].

Система относительных единиц в СУ подобрана таким образом, чтобы обеспечивалось соотношение

$$m = \sqrt{U_d^2 + U_q^2} / U_{л.вх} \leq 1, \quad (1)$$

где U_d, U_q – напряжения задания по активной d и реактивной q составляющей; $U_{л.вх}$ – линейное напряжение на входе АВ.

Системы дифференциальных уравнений в неподвижной abc и во вращающейся $dq0$ координат имеют следующий вид:

$$\begin{cases} U_{sa} = i_a \cdot R + pL \cdot i_a + U_{aAB}; \\ U_{sb} = i_b \cdot R + pL \cdot i_b + U_{bAB}; \\ U_{sc} = i_c \cdot R + pL \cdot i_c + U_{cAB}, \end{cases} \quad (2)$$

где U_{sa}, U_{sb}, U_{sc} – мгновенные значения фазных напряжений питающей сети; $U_{aAB}, U_{bAB}, U_{cAB}$ – мгновенные значения фазных напряжений на входе АВ; i_a, i_b, i_c – мгновенные значения токов потребляемых АВ; R, L – активное сопротивление и индуктивность реактора.

Параметры реактора на входе АВ были определены исходя из условий, что напряжение короткого замыкания $U_k=13\%$, показатель добротности реактора $\sigma=100$, а ток нагрузки одного АВ равен 621 А:

$$\begin{aligned} L &= \frac{13 \cdot U_{\phi}}{100 \cdot I_{нагр.АВ} \cdot 2\pi \cdot f} = \\ &= \frac{13 \cdot 1824}{100 \cdot 621 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ Гн;} \\ R &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{\sigma} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12 \cdot 10^{-4}}{100} = 0,004 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (3)$$

где U_{ds}, U_{qs} – напряжение питающей сети; U_{dAB}, U_{qAB} – напряжения на входе АВ; i_d, i_q – значения токов по оси d и q .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЧ С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ

На основании разработанной имитационной модели были проведены исследования режимов работы АВ при возникновении несимметричного провала напряжения в питающей сети, также была выполнена оценка эффективности компенсации несимметричного провала напряжения за счет СТК 330 МВАр.

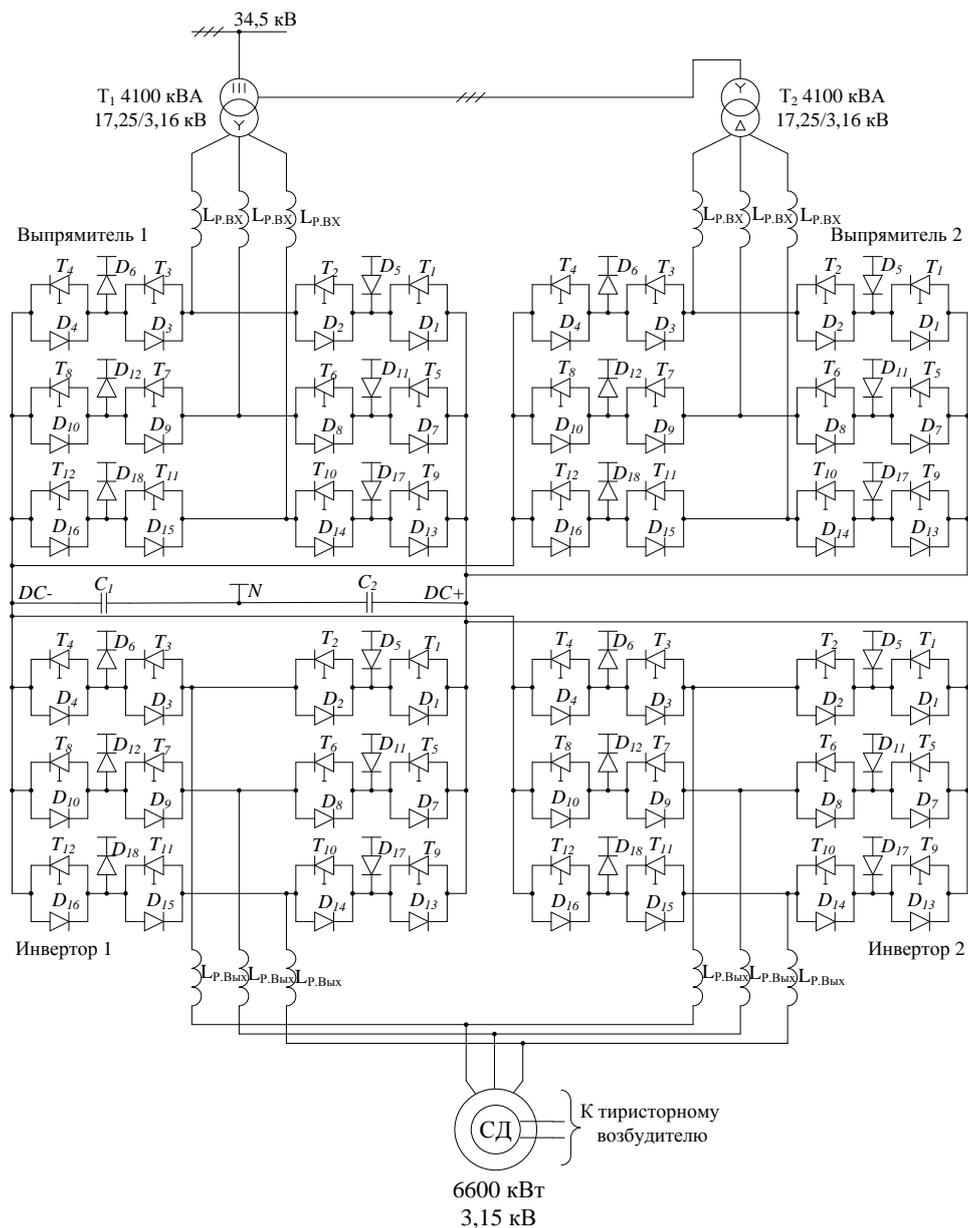


Рис. 2. Упрощенная силовая схема главного электропривода СГП 1750

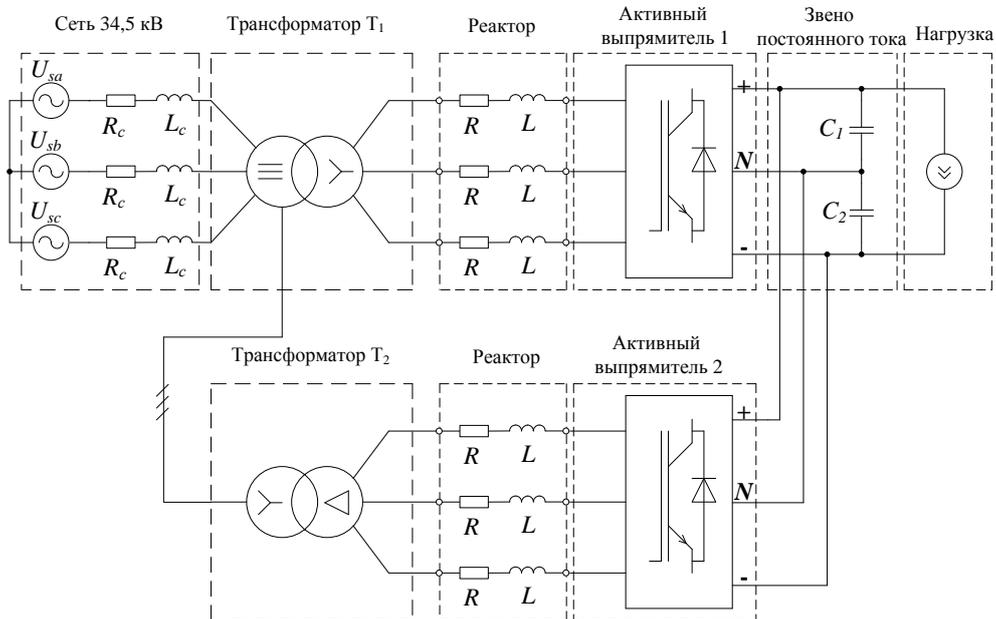


Рис. 3. Упрощенная схема замещения преобразователя частоты с активным выпрямителем

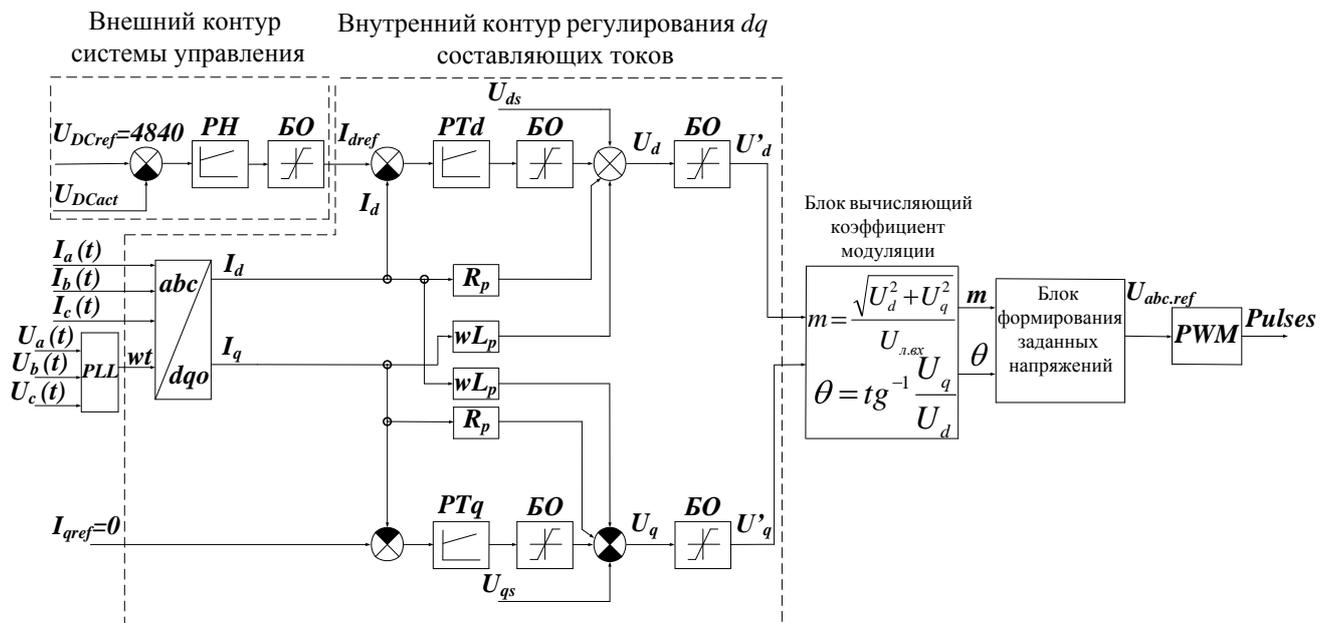


Рис. 4. Функциональная схема системы управления активным выпрямителем

При исследовании оценивались токи на входе АВ, а также напряжение в звене постоянного тока. Анализ проводился для следующих режимов работы: 1) нормальный режим работы АВ, при котором напряжение в звене постоянного тока поддерживается на заданном уровне (рис. 5, а, б); 2) работа АВ при однофазном провале напряжения глубиной 30%, длительностью 200 мс (рис. 5, в, з); 3) работа АВ при компенсации провала напряжения с помощью СТК 330 МВАр (рис. 5, д, е). Для реализации последнего режима имитационная модель АВ была дополнена моделью СТК 330 МВАр с системой управления тиристорно-реакторной группы, которая разработана ранее и описана в статьях [3, 4].

В нормальном режиме работы преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжение в звене постоянного тока поддерживается на заданном уровне 4840 В (см. рис. 5, б). Амплитудное значение тока, потребляемого активным выпрямителем (см. рис. 5, а), составляет 880 А. Возникновение однофазного провала напряжения на уровне 30% приводит к снижению напряжения U_{DC} до критического значения (см. рис. 5, з). При возникновении аварийного режима работы наблюдается несимметрия токов на входе АВ, а также при восстановлении напряжения возникает бросок тока, действующее значение которого превышает уставку срабатывания токовой защиты АВ (см. рис. 5, в).

Заметное улучшение переходных процессов наблюдается при компенсации провала напряжения с помощью резервов реактивной мощности СТК 330 МВАр. Напряжение в звене постоянного тока практически поддерживается на заданном уровне с незначительными колебаниями (см. рис. 5, е). Сетевые токи, потребляемые активным выпрямителем, на протяжении всей длительности провала напряжения остаются на прежнем уровне, сохраняя симметрию по фазам. При восстановлении сети к нормальному режиму наблюдается незначительное увеличение тока, действующее значение которого не превышает уставку срабатывания защиты АВ (см. рис. 5, д).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Провалы напряжения оказывают существенное влияние на работу преобразователей частоты с активными выпрямителями. Провалы напряжения по одной фазе глубиной 30% и длительностью 200 мс могут привести к отключению ПЧ из-за снижения напряжения в звене постоянного тока, а также из-за увеличения токов, потребляемых из сети.

2. Одним из способов повышения надежности работы преобразователей частоты с активным выпрямителем является демпфирование провалов напряжения за счет использования резервов реактивной мощности СТК, установленного в системе внутривзаводского электроснабжения. Реализация данного способа возможна путем объединения секций шин, питающих электросталеплавильный комплекс и главные электроприводы стана горячей прокатки, и изменения алгоритмов управления статическим тиристорным компенсатором.

3. На имитационной модели преобразователя частоты с активным выпрямителем были исследованы процессы влияния провалов напряжения на работу главных электроприводов СГП 1750. Было показано, что в случае параллельной работы СТК и ПЧ колебания напряжения в звене постоянного тока не превышают критических значений. Токи, потребляемые активным выпрямителем, также не превышают значения уставки срабатывания токовой защиты преобразователя частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храпшин Т.Р., Крубцов Д.С., Корнилов Г.П. Математическая модель активного выпрямителя в несимметричных режимах работы // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014. Т. 1. № 2. С. 3-9.
2. Особенности электроснабжения металлургического завода «ММК Metalurji» / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А. В. Ануфриев и др. // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 20. С. 235-239.
3. Использование статического тиристорного

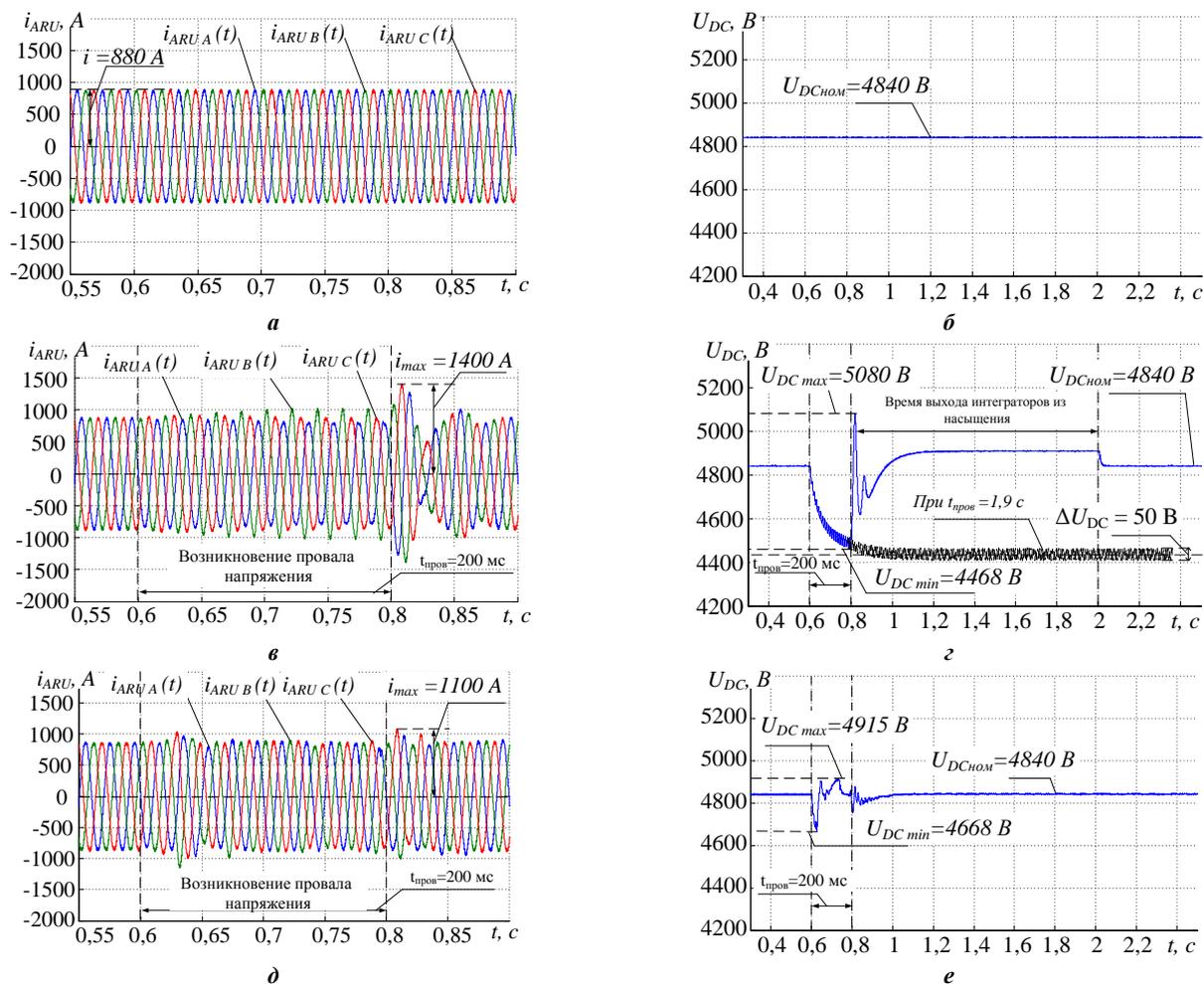


Рис. 5. Мгновенные значения токов, потребляемых АВ, и напряжение в звене постоянного тока: а, б - нормальный режим работы; в, г - при провале напряжения в питающей сети; д, е - при компенсации провала напряжения с помощью резервов реактивной мощности СТК

компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи для обеспечения устойчивости электроэнергетической системы и повышения надежности внутривозовского электрообеспечения / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, В.С. Ивекеев, И.А. Ложкин, В.Е. Котышев, М.М. Тухватуллин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №1. С.59-69.

4. Способы повышения надежности устойчивости электроприводов непрерывных производств при провалах напряжения / Т.Р. Храшшин, Г.П. Корнилов, Д.С. Крубцов, А.А. Николаев, О.И. Карандаева, П.Ю. Журавлев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2014. Вып. 14. №2. С. 80-87.

5. Маклаков А.С. Имитационное моделирование главного электропривода прокатной клетки толстолистового стана 5000 // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №3. С. 16-25.

6. Маклаков А.С., Гасияров В.Р., Белый А.В. Энергосберегающий электропривод на базе двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем и автономным инвертором напряжения // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014. Т.1. №1. С. 23-30.

7. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 654 с.

8. Маклаков А.С., Радионов А.А. Влияние на сеть трёхфазного мостового двухуровневого активного выпрямителя напряжения при различных видах ШИМ // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С. 40-47.

9. Исследование воздействия активных выпрямителей большой мощности на питающую сеть / Т.Р. Храшшин, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Р.Р. Храшшин, Д.С. Крубцов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. №1. С. 80-83.

INFORMATION IN ENGLISH

INVESTIGATION OF VOLTAGE DROPS' INFLUENCE IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE "MMK METALURJI" IRONWORKS ON THE MAIN ELECTRIC DRIVES OF THE HOT STRIP MILL

Nikolaev A.A., Denisevich A.S., Lozhkin I.A., Tukhvattullin M.M.

The article describes a method of increasing the reliability of the main drives of the hot strip mill "1750" JSC "MMK

Metalurji" (Iskenderun, Turkey) due to use of reserves of reactive power of the static var compensator installed at the ironwork's

electrical substation. The mathematical model of a frequency converter with a multilevel active rectifier was elaborated. Researches of transient processes of currents and voltages during voltage drop in 34.5 kV network have been made on the model. Causes of frequency converter tripping were determined and the effectiveness of methods of damping of voltage drops using the static var compensator was proven.

Keywords: voltage drop; frequency converter; active rectifier; hot strip mill main electric drive; static var compensator.

REFERENCES

1. Khramshin T.R., Krubtsov D.S., Kornilov G.P. *Matematicheskaya model' aktivnogo vypryamitelya v nesimmetrichnykh rezhimakh raboty* [Mathematical model of the active rectifier under unbalanced voltage operating conditions]. *Elektrotehnika: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Electrical Engineering], 2014, vol.1, no.2, pp.3-9.
2. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Anufriyev A.V. *Osobennosti elektro-snabzheniya metallurgicheskogo zavoda «MMK Metalurji»* [Features of electric power supply of a metallurgical plant "MMK Metalurji"]. *Elektrotekhnicheskiye sistemy I komplekсы* [Electrical systems and complexes]. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, 2012, vol.20, pp.235-239.
3. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A., Kotyishev V.E., Tukhvattullin M.M. *Ispol'zovanie staticheskogo tiristorного kompensatora sverhmoshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi dlya obespecheniya ustoychivosti elektroenergeticheskoy sistemy i povysheniya nadezhnosti vntrizavodskogo elektrosnabzheniya* [Using the static thyristor compensator of the ultra-high power electric arc furnace for supporting of electrical power system's stability and increasing reliability of factory power supply]. *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2014, no.1, pp.59-69.
4. Khramshin T.R., Kornilov G.P., Krubtsov D.S., Nikolaev A.A., Karandaeva O.I., Zhuravlev Yu.P. *Sposoby povysheniya nadezhnosti ustoychivosti elektroprivodov nepreryvnykh proizvodstv pri provalah napryazheniya* [Methods of increasing

the reliability of electric drives of continuous production in a voltage drops]. *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Energetika»* [Bulletin of the South Ural State University. Series "Power Engineering"], 2014, vol.14, no.2, pp.80-87.

5. Maklakov A.S. *Imitacionnoe modelirovanie glavnogo elektroprivoda prokatnoy kleti tolstolistovogo stana 5000* [Simulation of the main electric drive of the plate mill rolling stand 5000]. *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2014, no.3, pp.16-25.

6. Maklakov A.S., Gasiyarov V.R., Belyi A.V. *Energosberegayushchiy elektroprivod na baze dvuhzvennogo preobrazovatelya chastoty s aktivnym vypryamitelem i avtonomnym invertorom napryazheniya* [Energy-saving electric drive based on the two-inverter with an active rectifier and autonomous voltage inverter]. *Elektrotehnika: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Electrical Engineering], 2014, no.1, pp.23-30.

7. Shreyner R.T. *Matematicheskoye modelirovaniye elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty* [Mathematical simulation of AC drives based on semiconductor frequency converters], Yekaterinburg, UrO RAN, 2010, 654 p.

8. Maklakov A.S., Radionov A.A. *Vliyanie na set' trekhfaznogo mostovogo dvuhurovnevnogo aktivnogo vypryamitelya napryazheniya pri razlichnykh vidakh SHIM* [Influence of a triphasic dual level bridge rectifier with different types of PWM to power network]. *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2013, no.2, pp.40-47.

9. Khramshin T.R., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Khramshin R.R., Krubtsov D.S. *Issledovanie vozdeystviya aktivnykh vypryamiteley bol'shoy moshchnosti na pitayushchuyu set'* [Research of influence of high power active rectifiers on main supply] // *Vestnik IGJeU* [Journal of ISPU], 2013, no. 1, pp. 80-83.

УДК 621.313.33

Мещеряков В.Н., Толчеев В.М.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

В статье рассмотрен вопрос разработки способа снижения динамических нагрузок электропривода прокатной клетки стана бесконечной холодной прокатки. Исследование проводилось на примере клетки №4 стана бесконечной холодной прокатки «2030» ПХПП ОАО «НЛМК». Затронут вопрос математического описания электромеханической системы прокатной клетки как системы с упругостью первого рода. Произведен анализ влияния натяжений на момент нагрузки электропривода стана холодной прокатки. Проведено моделирование системы электропривода прокатной клетки. Сделаны выводы о влиянии упругостей на характер упругого момента и динамической нагруженности передач электромеханической системы клетки. Рассмотрены методы снижения динамических нагрузок. Разработан оптимальный способ уменьшения упругого момента на систему электропривода прокатной клетки. Математическое моделирование проводилось программой Matlab 2011, приложением Simulink. Осциллограммы работы прокатного стана сняты программой FADEX.

Ключевые слова: электропривод, холодная прокатка, динамические нагрузки, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Электроприводы станов холодной прокатки – сложные электромеханические системы, испытывающие влияние разного рода возмущений, влияющих на их работу. Вместе с тем предъявляются серьезные требования к статической и динамической точности за-

данных параметров. В большинстве случаев компоновка механического оборудования и его состояние оказывает влияние на работу всей системы прокатной клетки. Важным является изучение влияния параметров электромеханической системы электропривода на динамические нагрузки, испытываемые электроприводом

[4]. Помимо этого, динамические режимы работы электроприводов прокатного стана во многом зависят от технологических режимов его эксплуатации [5]. Значимым является строгое математическое описание характера изменения момента прокатки и существенных особенностей, вносимых влиянием переднего и заднего натяжений кleti.

Станы бесконечной холодной прокатки являются высокопроизводительными станами, непредвиденные простои в работе которых вызывают серьезные экономические убытки. Зачастую простои вызваны сильным износом механической части электропривода ввиду невозможности проведения исследований динамических свойств электромеханических систем прокатных клетей на реальном стане. Осуществление точного математического описания и моделирования системы электропривода позволяет проводить исследования динамических свойств системы, а также разрабатывать методы по снижению нетехнологических нагрузок.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Объектом исследования является прокатная клеть №4 стана бесконечной прокатки «2030». Клеть типа «кварто» имеет два рабочих и два опорных валка, а также механические элементы, связывающие приводные двигатели и рабочие валки. Подвижная механическая часть прокатной кleti совершает вращательное движение, причем элементы, входящие в данную систему, являются как элементами с распределенными параметрами и сосредоточенными массами, так и абсолютно упругими элементами. Помимо этого прокатная клеть является многомассовой системой. Структурная схема прокатной кleti №4 стана бесконечной

холодной прокатки представлена на рис. 1.

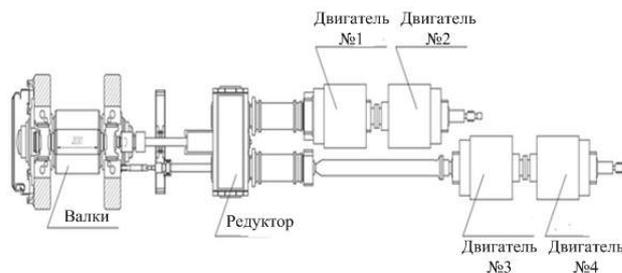


Рис. 1. Структурная схема

По рис. 1 видно, что электропривод каждого из рабочих валков двухдвигательный, такое решение обосновывается уменьшением суммарного момента инерции. Электродвигатели нижнего валка соединены с помощью муфты, передний двигатель соединен с редуктором через промышленный вал и соединительные муфты, далее вращение через шпindel и муфты передается рабочему валку. Электропривод верхнего валка имеет аналогичное строение с той лишь особенностью, что соединение переднего двигателя с редуктором осуществляется через вал и промышленный вал. При исследовании динамических свойств крупных машин широкое распространение получила гипотеза эквивалентной упругой системы, состоящей из дискретного числа абсолютно жестких масс, соединенных упругими безынерционными связями [5]. Для составления кинематической схемы разобьем вращающиеся детали на сосредоточенные вращающиеся массы и упругости. На рис. 2 представлена кинематическая схема кleti №4 стана бесконечной холодной прокатки.

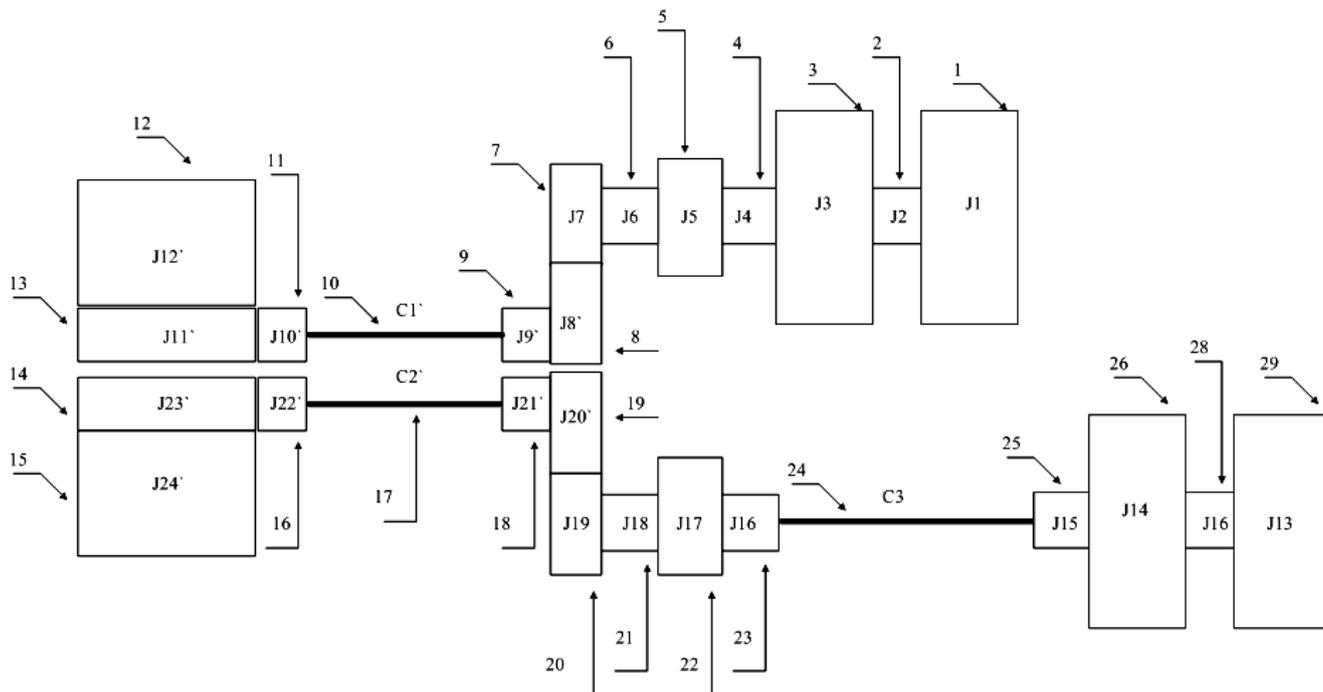


Рис. 2. Кинематическая схема электромеханической системы кleti

На рис. 2 представлены: 1, 3, 26, 29 – электродвигатели постоянного тока; 28, 2 – муфта «двигатель-двигатель»; 25 – муфта «вал-двигатель»; 24 – вал соединительный; 4 – муфта «пром.вал-двигатель»; 23 – муфта «вал-пром.вал»; 5, 22 – пром.вал; 6, 21 – муфта «пром.вал - редуктор»; 7,8 – редуктор верхнего валка ; 20, 19 – редуктор нижнего валка; 9, 18 – муфта «редуктор-шпиндель»; 10, 17 – шпиндели; 16, 11 – головки шпинделей; 14, 13 – рабочие валки; 12, 15 – опорные валки.

Согласно [1] представим электроприводы верхнего и нижнего валков прокатной клетки как двухмассовые системы, содержащие зазоры в передачах и с наличием упругостей, а также введем учет влияния диссипативных сил, с приведением расчетных моментов инерции и жесткостей к валу двигателя. Расчетная схема представлена на рис. 3.

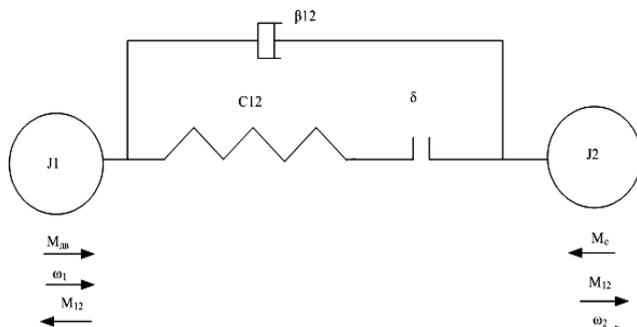


Рис. 3. Приведенная кинематическая расчетная схема

Характер движения данной системы описывается системой дифференциальных уравнений в операторной форме [1]:

$$\begin{cases} M_{дв} - M_{12} = J_1 \cdot p \cdot \omega_1; \\ M_{12} - M_c = J_2 \cdot p \cdot \omega_2. \end{cases} \quad (1)$$

Упругий момент при этом определится [1]

$$M_{12} = \begin{cases} C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2 \pm \Delta\varphi_3 / 2), & |\varphi_1 - \varphi_2| \geq \Delta\varphi_3 / 2; \\ 0, & |\varphi_1 - \varphi_2| \leq \Delta\varphi_3 / 2, \end{cases} \quad (2)$$

где φ_2, φ_1 – углы поворота второй и первой масс; $\Delta\varphi_3$ – зазор в механических передачах.

Момент нагрузки будет равен [2]

$$M_n = M_{пр}(t) + M_{\Delta T}, \quad (3)$$

где $M_{пр}(t)$ – момент прокатки без натяжения; $M_{\Delta T}$ – момент от разности натяжений до и после клетки.

Момент прокатки без натяжения [3]

$$M_{пр}(t) = \begin{cases} M_{пр} \cdot (\sin \omega_0 \cdot t), & t \leq t_0; \\ M_{пр}, & \end{cases} \quad (4)$$

где ω_0 – угловая скорость валка при захвате полосы; t_0 – время заполнения очага деформации.

Время заполнения очага деформации [5]

$$t_0 = \sqrt{R \cdot \Delta h} / V_3, \quad (5)$$

где R – радиус рабочего валка; Δh – абсолютное обжатие; V_3 – линейная скорость при захвате полосы.

Момент нагрузки от разности натяжений [2]

$$M_{\Delta T} = R \cdot \left(T_{вх} \cdot \frac{h_{ввых}}{h_{вх}} - T_{ввых} \right), \quad (6)$$

где $T_{вх}$ – натяжение до клетки; $T_{ввых}$ – натяжение после клетки; $h_{ввых}/h_{вх}$ – отношение толщин металла после и до клетки.

Приводные двигатели являются двигателями постоянного тока. Момент, развиваемый двигателем, определится:

$$M_{дв} = K \cdot \Phi \cdot I_{дв}. \quad (7)$$

Электрическая часть эмс верхнего и нижнего валков имеет ряд особенностей: каждый приводной двигатель постоянного тока имеет индивидуальный преобразователь Simoreg DCM и соответственно индивидуальный регулятор тока. Задание на ток для каждого преобразователя приходит с выхода регулятора числа оборотов, являющегося общим для двух двигателей одного валка. Регулятор числа оборотов реализован в управляющем контроллере. Стоит отметить, что на приводы клетевой группы стана приходит общее задание на линейную скорость, а для каждой клетки пересчитывается свое задание согласно принципу постоянства секундного объема металла, проходящего через межвалковый промежуток. Затем задание на линейную скорость валков одной клетки пересчитывается отдельно для привода верхнего и нижнего валка в зависимости от реального радиуса рабочих валков.

В работе прокатной клетки с индивидуальным приводом валков часто имеет место неравномерная нагрузка привода верхнего и нижнего валка. Для компенсации неравномерной нагрузки приводных валков предусмотрен регулятор выравнивания моментов. Это регулятор ПИ типа, входными значениями для которого являются значения выхода интегральной составляющей регулятора числа оборотов для верхнего/нижнего валка. Воздействует этот регулятор в канал задания числа оборотов. Он уменьшает момент того двигателя момент которого больше. Максимальное воздействие в канале задания это 1,5 % от заданного числа оборотов.

Модель электромеханической системы прокатной клетки представлена на рис. 4.

Для оценки адекватности построения модели реальной системе проведем сравнение осциллограмм линейной скорости и тока и результатов моделирования для привода верхнего валка. Работа системы моделировалась для случая прокатки стали DC01 (толщина 3,2 мм и ширина 1253 мм). На рис. 5 представлена осциллограмма линейной скорости верхнего валка.

На рис. 6 представлена линейная скорость верхнего валка по результатам моделирования.

На рис. 7 представлен ток двигателя верхнего валка (осциллограмма).

На рис. 8 представлен ток двигателя верхнего валка (моделирование).

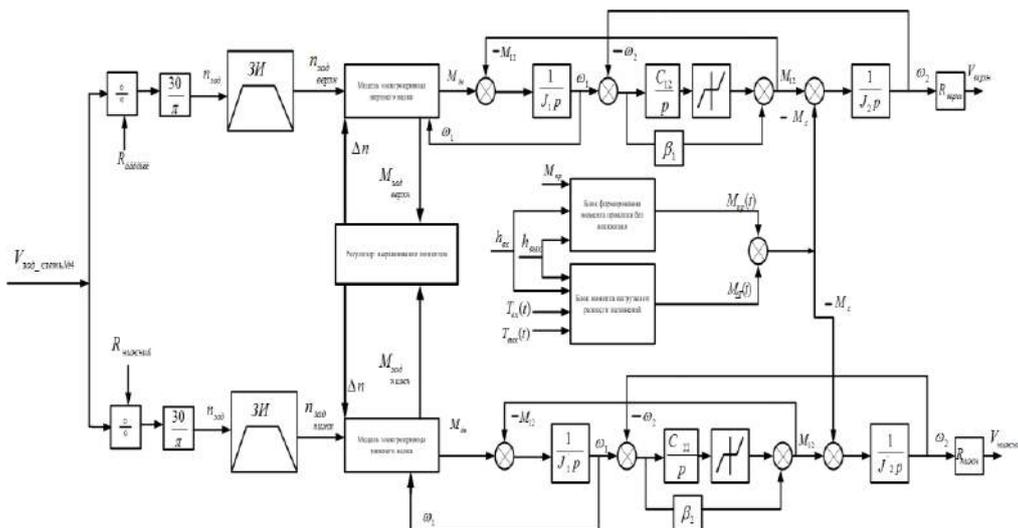


Рис. 4. Математическая модель электромеханической системы прокатной клетки стана холодной прокатки

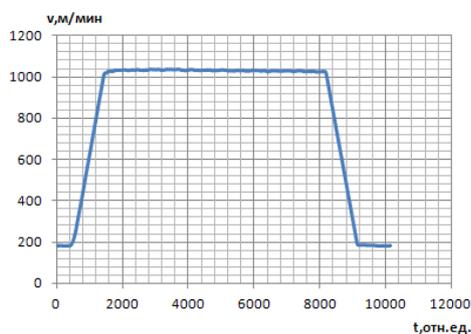


Рис. 5. Линейная скорость верхнего валка (осциллограмма)

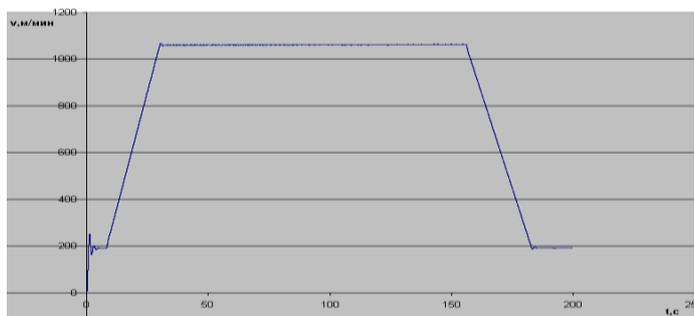


Рис. 6. Линейная скорость верхнего валка (моделирование)

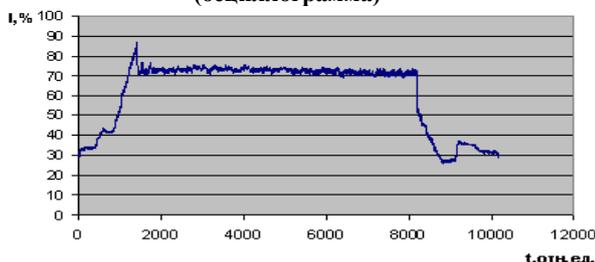


Рис. 7. Ток двигателя (осциллограмма)

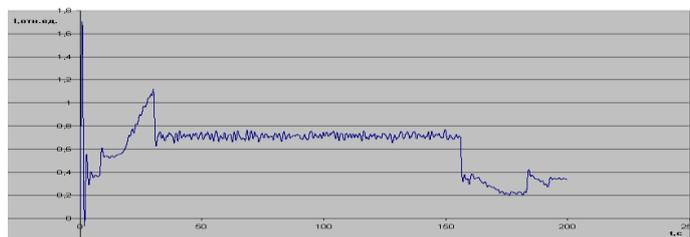


Рис. 8. Ток двигателя (моделирование)

Сопоставляя графики линейных скоростей и токов, можно сделать вывод о том, что результаты моделирования и реальные осциллограммы имеют высокую сходимость. Это дает право говорить об адекватности модели реальной системе.

Произведем оценку динамической нагруженности электропривода прокатного валка согласно результатам моделирования. Нагрузка, возникающая за счет наличия упругостей, оценивается по динамическому коэффициенту. Данный коэффициент характеризует то, насколько момент нагрузки превышает среднее значение нагрузки. Выражение для динамического коэффициента [1]:

$$K_{дин} = \frac{M_{12м2м}}{M_{12с2}} \quad (8)$$

На рис. 9 представлен график упругого момента.

Для определения динамического коэффициента изменим масштаб рис. 9. На рис. 10 представлен необходимый график.

По графику рис. 10 динамический коэффициент

определится следующим образом:

$$K_{дин} = \frac{9,346 \cdot 10^4}{5,973 \cdot 10^4} = 1,564 \approx 1,6. \quad (9)$$

По значению данного коэффициента можно заключить, что упругие колебания в 1,6 раз увеличивают рабочие нагрузки передач.

Существует множество известных способов снизить динамические нагрузки:

- 1) использование оптимальных законов управления системой электропривода [1];
- 2) уменьшения жесткости механических передач [1];
- 3) использование программных наблюдателей упругого момента и т.д.

В данном исследовании предлагается несколько снизить колебательность угловой скорости первой массы за счет снижения коэффициента П-части регулятора числа оборотов с существующего 13 до 10.

На рис. 11 представлен график упругого момента с коэффициентом П – части, равным 10.

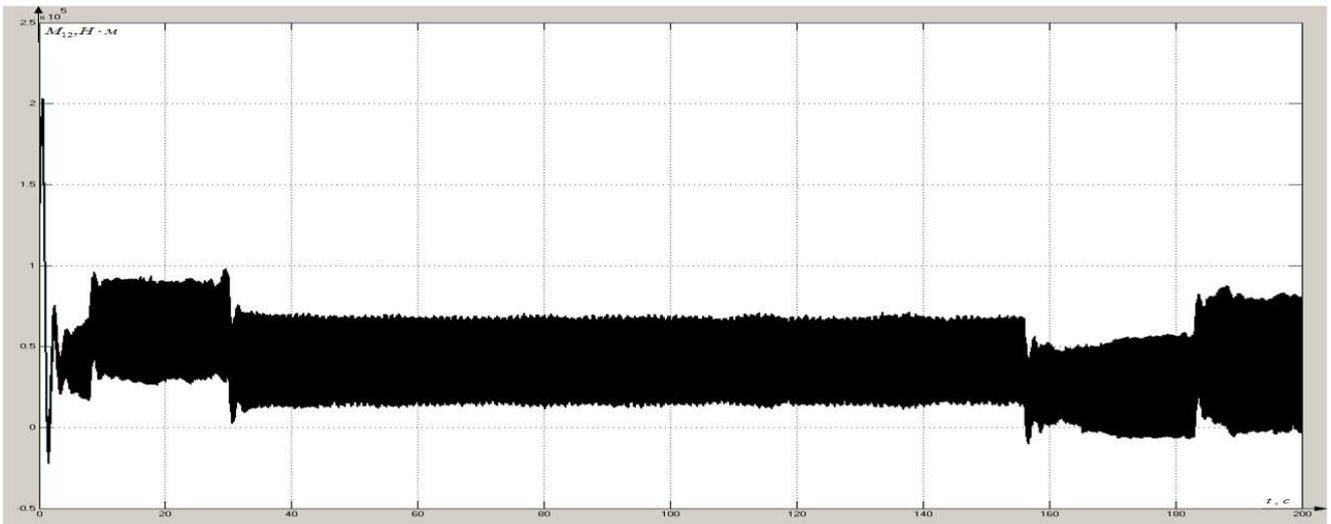


Рис. 9. Упругий момент привода верхнего валка

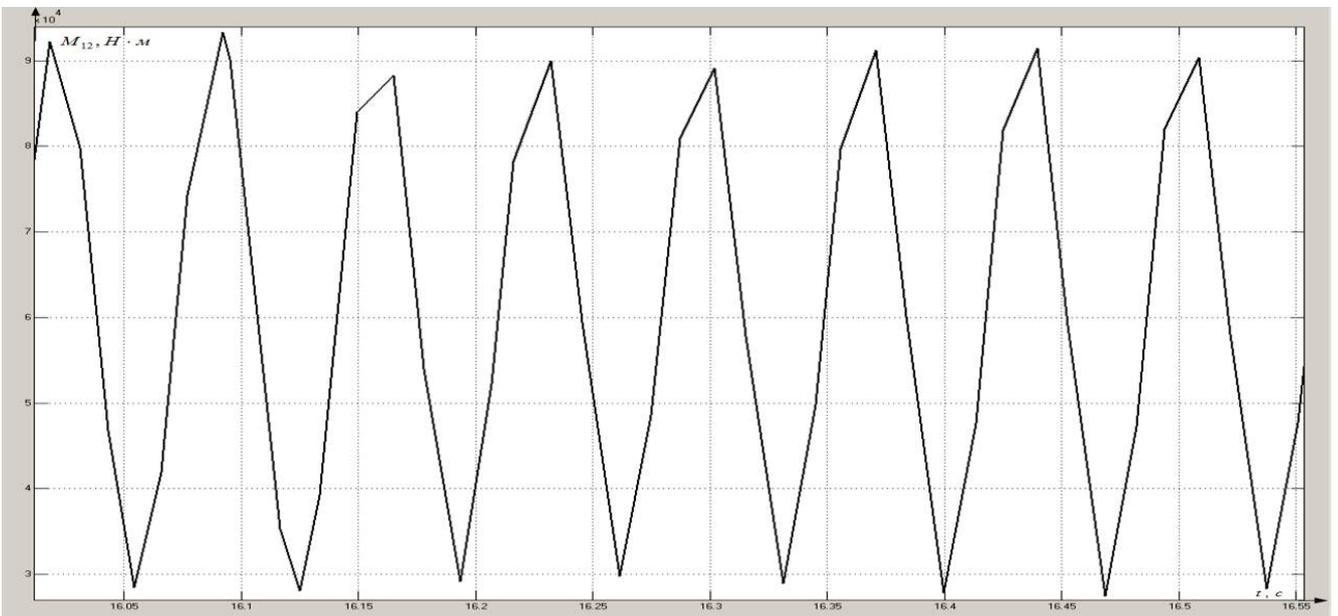


Рис. 10. Упругий момент привода верхнего валка (масштаб)

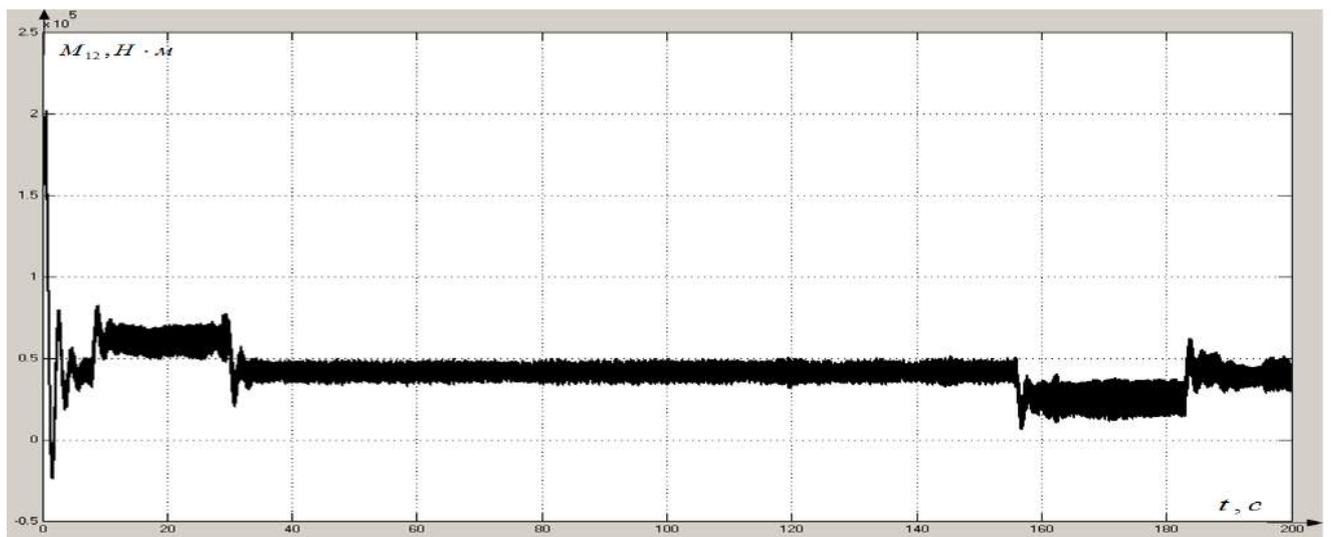


Рис. 11. Упругий момент с коэффициентом П-части, равным 10

По графику **рис. 11** динамический коэффициент определится следующим образом:

$$K_{\text{дин}} = \frac{7,06 \cdot 10^4}{5,99 \cdot 10^4} = 1,18 \approx 1,2. \quad (10)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Произведено математическое описание электромеханической системы прокатной клетки стана холодной прокатки на примере реальной системы прокатной клетки №4 стана «2030» ПХПП ОАО «НЛМК».

2. Произведено математическое описание и моделирование момента нагрузки электропривода прокатной клетки с учетом натяжений.

3. Сопоставлены результаты математического моделирования и осциллограммы работы реальной системы. Сделаны выводы о сходимости результатов моделирования и реальных осциллограмм.

4. Произведено математическое описание форми-

рования упругого момента двухмассовой системы с упругостью первого рода и зазорами. Сделаны выводы о динамической нагруженности исследуемой системы.

5. Разработан способ снижения влияния упругого момента, путем снижения динамического коэффициента с 1,6 до 1,2 уменьшением коэффициента П-части регулятора числа оборотов с 13 до 10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
2. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве: учеб. пособие для студентов металлургических вузов. М.: Металлургия, 1977. 281 с.
3. Смирнов В.В., Яковлев Р.Я. Механика приводов прокатных станов. М.: Металлургия. 1977. 216 с.
4. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М.: Энергия, 1971. 380 с.
5. Лехов О.С. Динамические нагрузки в линии привода обжимных станов. М.: Машиностроение, 1975. 184 с.

INFORMATION IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REDUCING THE DYNAMIC LOADS OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE ROLL STAND OF THE COLD ROLLING MILL

Meshcheryakov V.N., Tolcheev V.M.

The question of the development of a method for reducing the dynamic loads of the electric drive of the mill of the endless cold rolling was reviewed. The research was conducted on the example of the stand №4 cold rolling mill "2030" PHPP "NLMK". The question of the mathematical description of the electromechanical rolling mill system as a system with the elasticity of the first type was discussed. The analysis of the influence of the tensioning in the moment of the cold rolling mill electric drive load was carried out. The simulation of the rolling mill electric drive system was reviewed. The conclusions about the effect of the elasticity presence to the mode of elastic torque and the dynamic loading of electromechanical system mill gears were made. The methods for reducing the dynamic loads were reviewed. The optimum way for reducing the elastic torque to the gear of the electromechanical system mill was developed. Mathematical simulation was carried out using the Matlab 2011 software and application SIMulink. Oscillogram charts were created using software FADEX.

Keywords: electric drive, cold rolling, dynamic loads, simulation.

REFERENCES

1. Kluchev V.I. *Teoriya elektroprivoda. Ucheb. dlya vuzov* [Theory of electric drive. Proc. for high schools]. 2nd ed. Moscow, Energoatomizdat, 2001, 704 p.
2. Afanasiev V.D. *Avtomatizirovanny elektroprivod v prokatnom proizvodstve: uchebnoe posobie dlya studentov metallurgicheskikh vuzov* [Automated electric drive in the rolling production: textbook for students of higher educational metallurgical institutions]. Moscow, Metallurgiya [Metallurgy], 1977, 281 p.
3. Smirnov V.V. *Mekhanika privodov prokatnyh stanov* [Mechanics of rolling mill drives]. Moscow, Metallurgiya [Metallurgy], 1977, 216 p.
4. Kluchev V.I. *Ogranichenie dinamicheskikh nagruzok elektroprivoda* [Limitation of dynamic loads of the drive]. Moscow, Energiya [Energy], 1971, 380 p.
5. Lehov O.S. *Dinamicheskie nagruzki v linii privoda obzhimnyh stanov* [Dynamic loads in the drive line of roughing mill]. Moscow, Mashinostroenie [Mechanical engineering], 1975, 184 p.

**РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ГИДРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ
СВЕРХМОЩНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДСП-250**

В данной статье рассмотрена усовершенствованная система управления гидравлическим приводом перемещения электродов ДСП-250 (ЗАО «ММК-Metalurji», г. Искендерун, Турция). Проведён анализ недостатков существующей системы управления HIREG (Danieli, Италия), установленной на ДСП-250. Предложена структура усовершенствованного пропорционального регулятора адмитанса, внедрение которого позволит существенно упростить процесс настройки, уменьшить число уникальных характеристик регулятора, а также улучшить динамические показатели качества работы системы.

Ключевые слова: электродуговая сталеплавильная печь, система управления перемещением электродов, адаптивный регулятор адмитанса, математическая модель электрического контура дуговой печи, электрическая дуга, гидропривод перемещения электродов.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в металлургической отрасли промышленности стран СНГ и зарубежья наблюдается тенденция роста объёмов производства жидкой стали в высокопроизводительных электродуговых сталеплавильных печах (ДСП) с последующей выпечной обработкой в установках ковш-печь (УКП). При реструктуризации старых электросталеплавильных цехов, а также при освоении новых производственных чаще всего предпочтение отдаётся именно мощным и сверхмощным ДСП ввиду экологичности и высоких показателей энергоэффективности.

Очевидно, что электротермические установки подобного рода характеризуются существенным энергопотреблением. Внутривзаводские показатели удельного расхода электроэнергии для электросталеплавильных цехов могут превышать 50%. Вследствие этого особую актуальность приобретает задача сокращения энергопотребления за счёт оптимизации процесса плавки.

Одним из путей решения данной задачи является усовершенствование системы управления гидравлическим приводом перемещения электродов путём внедрения новых алгоритмов. В настоящее время сегмент рынка, связанный с разработкой систем управления процессом плавки в ДСП, практически полностью занят зарубежными производителями, такими как Mitsubishi Heavy Industries (бывший Siemens VAI; системы ARCOS и Simelt), Danieli (система HIREG), Amec Spie (система E.M.P.E.R.E) и др.

При этом существующие системы обладают рядом недостатков, а также в существенной мере закрытой структурой, что делает адаптацию системы под изменяющиеся производственные условия без привлечения иностранных специалистов достаточно сложной задачей. Таким образом, разработка новой системы управления перемещением электродов, более гибкой в настройке и лишённой недостатков существующих систем, позволит повысить энергоэффективность установки за счёт более стабильных режимов горения электрических дуг.

**АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ HIREG
(DANIELI, ИТАЛИЯ)**

В качестве объекта данного исследования выбрана самая мощная в мире электродуговая сталеплавиль-

ная печь ДСП-250, расположенная на базе ЭСПЦ ЗАО «ММК-Metalurji» (г. Искендерун, Турция). На ДСП-250 установлена система управления HIREG (Danieli, Италия), структура которой является двухуровневой. Система управления первого уровня реализует переключение ступени печного трансформатора и реактора в соответствии с профилем плавки. Это позволяет регулировать объём электрической энергии, вводимой в печь, путём изменения формы кривой электрической характеристики, что наглядно продемонстрировано на **рис. 1**.

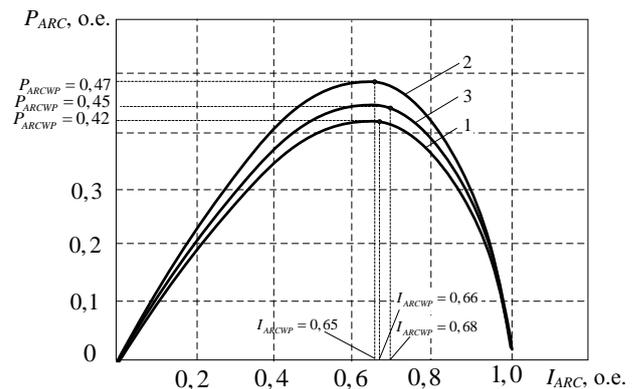


Рис. 1. Электрические характеристики ДСП-250 при различных комбинациях ступеней трансформатора и реактора на разных стадиях плавки: 1 – проплавление колодцев и образование «болота» (Nтр=8; Nр=6; Nрк=4); 2 – основной период расплавления (Nтр=10; Nр=6; Nрк=4); 3 – окисление и нагрев (Nтр=9; Nр=6; Nрк=4)

Тем не менее данный способ регулирования является медленным (одно переключение занимает около 30 с). Кроме того, слишком частые коммутации недопустимы ввиду преждевременного износа устройства РПН. Вследствие этого для отработки возмущающих воздействий в виде мгновенного изменения длины дуги, а также регулирования рабочей точки в пределах одной кривой электрической характеристики используется система управления второго уровня. Данная система построена на основе гидравлического привода перемещения электродов, функциональная схема которого представлена на **рис. 2** [1].

В системе HIREG параметром регулирования рабочей точки является значение адмитанса фазы электрического контура ДСП, которое вычисляется в соответствии со следующей формулой:

$$Y_{2\phi} = I_{ARC} / U_{2\phi}, \quad (1)$$

где I_{ARC} – действующее значение тока дуги; $U_{2\phi}$ – действующее значение фазного напряжения на вторичной обмотке печного трансформатора.

Таким образом, система управления первого уровня, в соответствии с профилем плавки, формирует сигнал адмитанса задания, который однозначно определяет рабочую точку на электрической характеристике и жёстко привязан к номеру рабочей кривой.

Структура регулятора адмитанса является про-

порционально-интегральной (рис. 3). На вход регулятора поступает ошибка регулирования ΔY , рассчитанная на основании сигнала задания и сигнала, поступающего с цепей обратной связи по адмитансу. Коэффициент усиления пропорциональной части формируется в соответствии с величиной ошибки ΔY , степенью трансформатора N_{TR} и реактора N_R , а также номером рабочей кривой N_{OC} . На выходе регулятора предусмотрен блок компенсации мёртвой зоны сервоклапана, который позволяет ликвидировать нарастающую статическую ошибку в контуре регулирования [2,3].

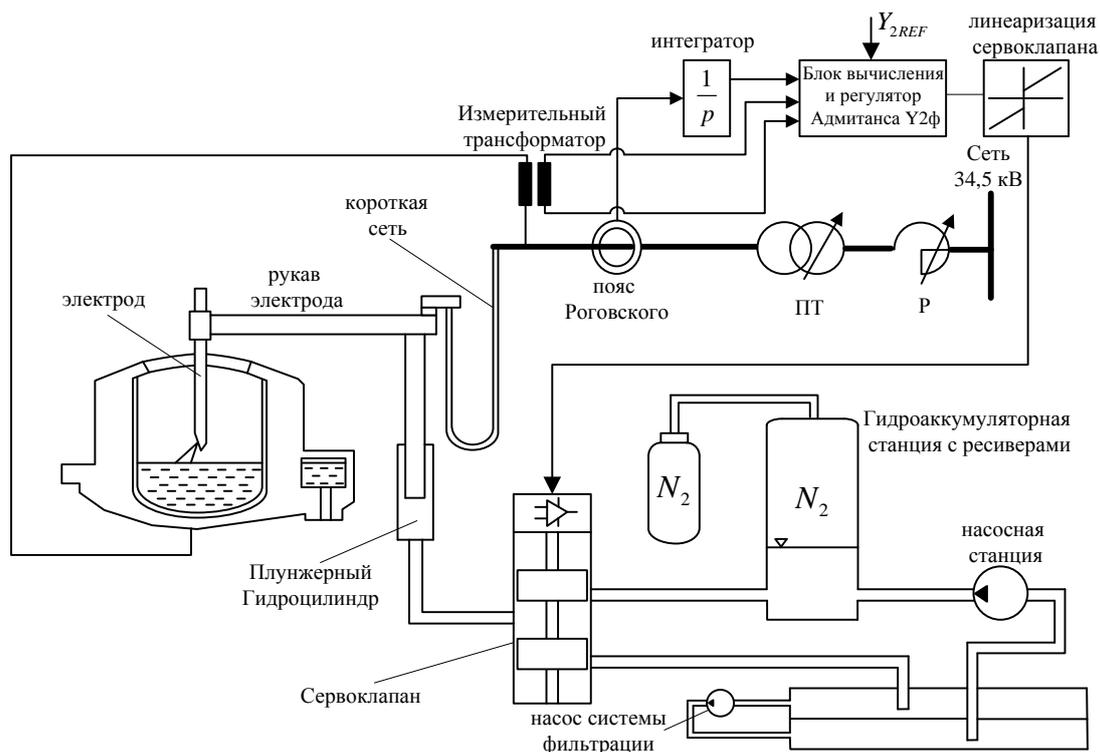


Рис. 2. Функциональная схема системы управления гидроприводом перемещения электродов ДСП-250

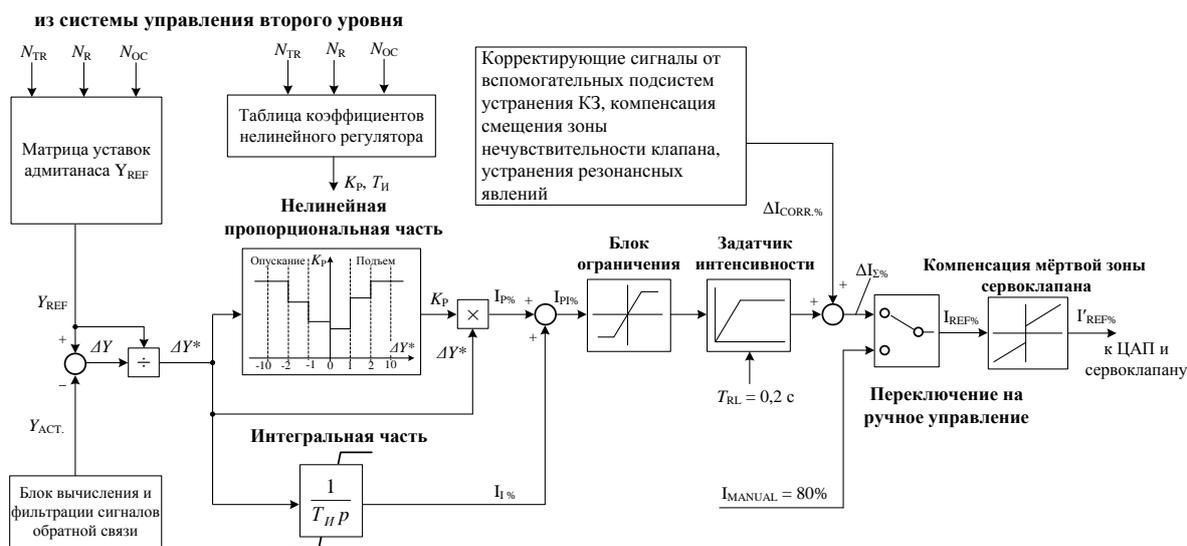


Рис. 3 Структурная схема регулятора адмитанса в системе HIREG

РАЗРАБОТКА

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ДСП-250

Структура нелинейного регулятора адмитанса, представленная на рис. 3, имеет ряд недостатков. В первую очередь следует отметить, что коэффициент усиления пропорциональной части регулятора имеет привязку к ступени трансформатора, реактора и номеру рабочей кривой. Это обуславливает наличие большого числа уникальных характеристик, что наряду с закрытостью алгоритмов построения данных характеристик делает настройку регулятора достаточно сложным процессом. Для того чтобы устранить данные недостатки, необходимо провести анализ контура регулирования и разработать усовершенствованный адаптивный регулятор с меньшим количеством уникальных

линеаризующих характеристик, структурная схема контура регулирования адмитанса которого представлена на рис. 4.

Контур регулирования адмитанса включает в себя две основные нелинейности. Первая нелинейная характеристика относится непосредственно к электрическому контуру. Вторая нелинейность обусловлена нелинейными характеристиками гидропривода перемещения электродов. Если учитывать, что число ступеней печного трансформатора [4] равно 16, а число ступеней реактора – 12, то в общей сложности число уникальных характеристик будет равно 192. Данные характеристики можно получить на основании математической модели электрического контура ДСП-250 с гидроприводом перемещения электродов (рис. 5).

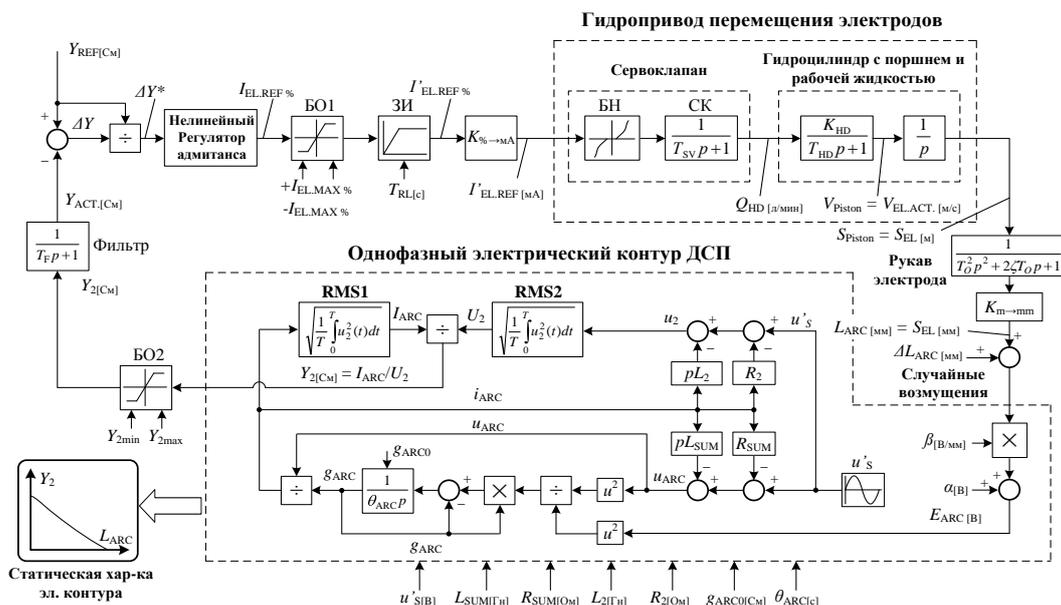


Рис. 4. Структурная схема контура регулирования адмитанса ДСП-250

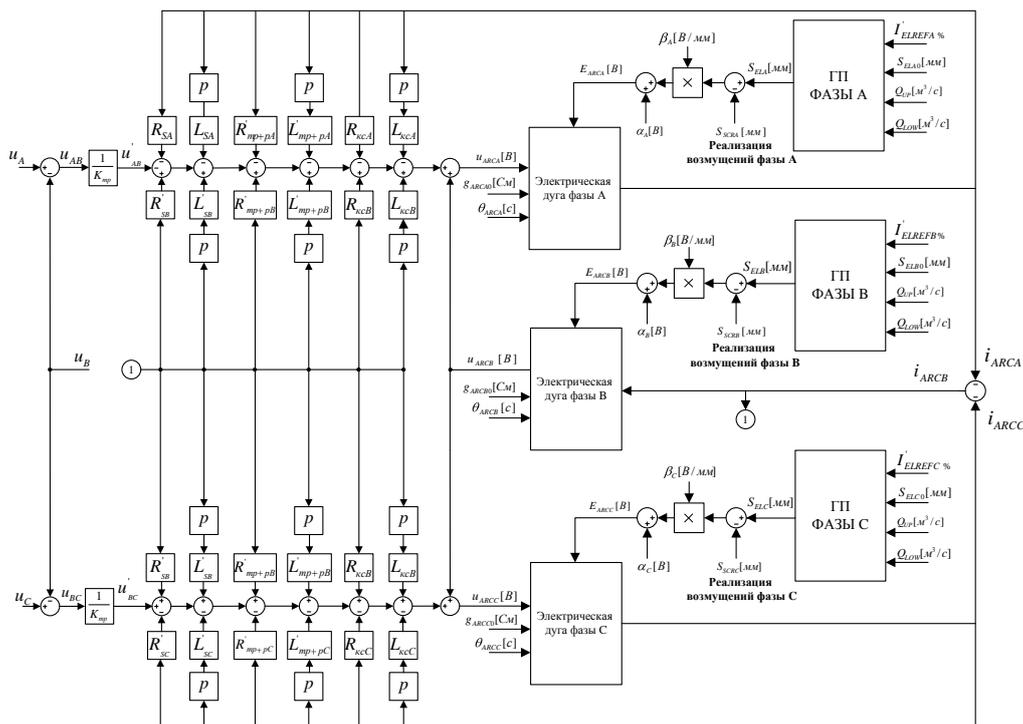


Рис. 5. Структурная схема электрического контура ДСП-250 с гидравлическим приводом перемещения электродов

В качестве примера на **рис. 6, а** приведена характеристика электрического контура [5,6], представленная функцией $Y_{2\phi}=f(L_{ARC})$. Данная характеристика получена для ступени трансформатора $N_{TP}=10$ и ступени реактора $N_p=6$. Поскольку данная характеристика является нелинейной, изменение величины длины дуги L_{ARC} будет приводить к изменению коэффициента усиления электрического контура K_p . Данный коэффициент определяется в соответствии с первой производной от функции $Y_{2\phi}=f(L_{ARC})$, график которой представлен на **рис. 6, б**. Компенсация усилительных свойств электрического контура производится с помощью линеаризующей характеристики $K_{OP}=f(Y_{2\phi})$, приведённой на **рис. 6, в**. Последняя характеристика может быть получена в соответствии со следующей формулой:

$$K_{OP} \left(\left. \frac{d}{dY_{2\phi}} \right|_{Y_{2\phi}} \right) \equiv \frac{1}{K_p \left(\left. \frac{d}{dL_{ARC}} \right|_{L_{ARC}} \right)} \quad (2)$$

Вторая нелинейная характеристика, как было ска-

зано ранее, относится к регулировочной характеристике сервоклапана, которая имеет мёртвую зону, а также участки нелинейности в диапазоне высоких скоростей перемещения электродов (**рис. 7, а**). Наличие в контуре звена с мёртвой зоной приводит к появлению нарастающей статической ошибки при регулировании адмитанса. Для того чтобы ликвидировать влияние мёртвой зоны на показатели качества регулирования, внедряется компенсационная характеристика, представленная на **рис. 7, б**.

Подобный подход к линеаризации актуален только для системы HIREG, поскольку коэффициент, компенсирующий участки нелинейности при заходе в диапазон высоких скоростей, заложен в таблицу коэффициентов нелинейного регулятора. Применение усовершенствованного подхода к линеаризации подразумевает компенсацию как мёртвой зоны, так и нелинейных участков в диапазоне высоких скоростей в рамках одной характеристики, представленной на **рис. 7, в**.

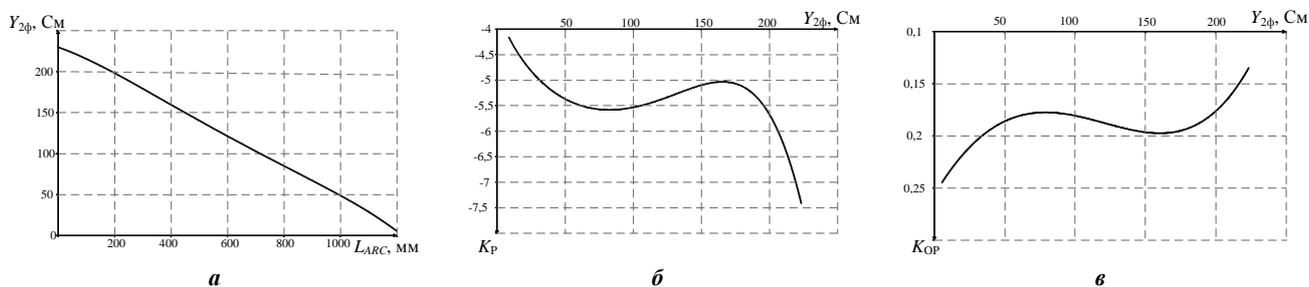


Рис. 6. Статические и линеаризующие характеристики электрического контура ДСП-250: а – нелинейная характеристика электрического контура $Y_{ACT}=f(L_{ARC})$; б – характеристика коэффициента усиления электрического контура $K_p=f(Y_{2\phi})$; в – линеаризующая характеристика $K_{OP}=f(Y_{2\phi})$

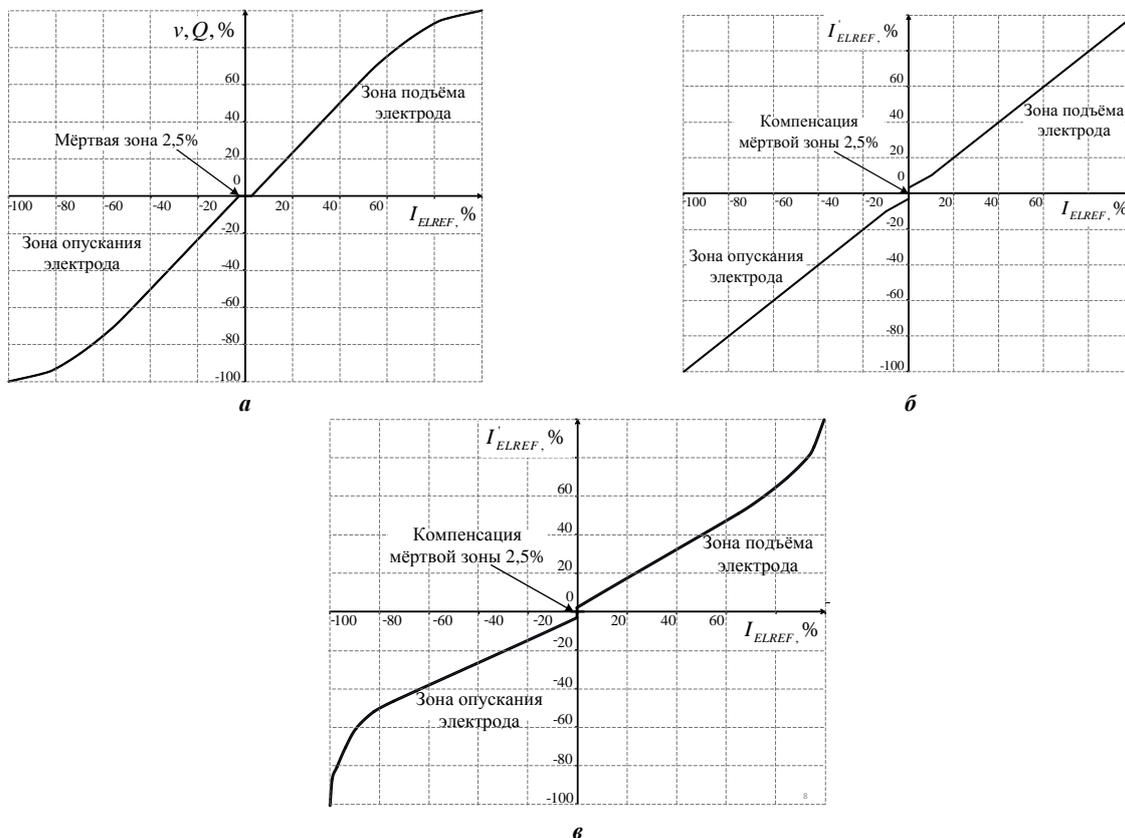


Рис. 7. Статические и линеаризующие характеристики гидравлического контура ДСП-250: а – нелинейная характеристика сервоклапана $Q=f(I_{ELREF})$; б – линеаризующая характеристика сервоклапана в системе HIREG; в – линеаризующая характеристика сервоклапана в усовершенствованной системе управления

Таким образом, на основании вышеприведённого теоретического анализа разработана структура усовершенствованного адаптивного пропорционального регулятора адмитанса (рис. 8). Данный регулятор является четырёхуровневым, поскольку результирующий коэффициент усиления может быть представлен как произведение четырёх составляющих:

- 1) $K0 = I'_{ELREF} / I_{ELREF}$ – коэффициент усиления линеаризующей характеристики сервоклапана (см. рис. 7, в);
- 2) $K1 = Y'_{REF}$ – коэффициент, учитывающий приведение сигнала ошибки к безразмерной величине;
- 3) $K2 = K_{OP}$ – коэффициент линеаризующей характеристики электрического контура ДСП (см. рис. 6, в);
- 4) $K3$ – коэффициент, учитывающий свойства блоков приведения единиц измерения, градиента напряжения дугового столба β , а также некомпенсируемые постоянные времени контура регулирования.

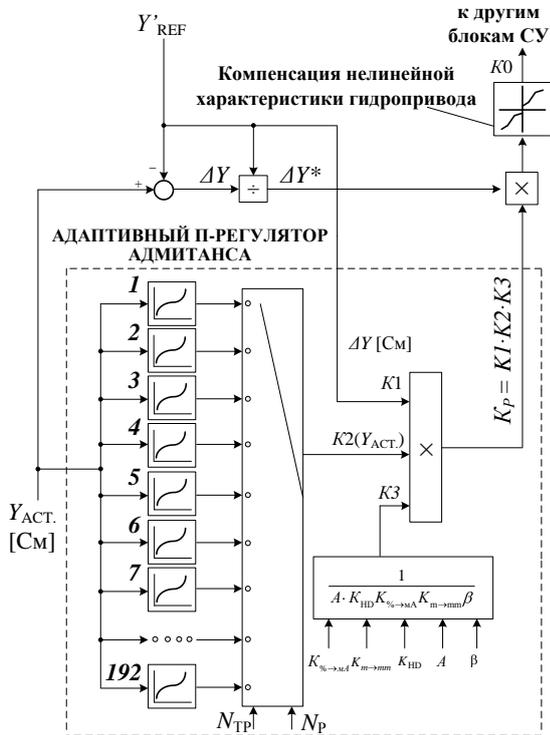


Рис. 8. Структурная схема усовершенствованного П-регулятора адмитанса

В качестве пояснения к 4 пункту отметим, что система регулирования адмитанса достаточно инерционна и не предназначена для компенсации колебаний с частотой, превышающей 1,5-3 Гц. Вследствие этого основные постоянные времени контура, такие как постоянная времени задатчика интенсивности $T_{RL}=0,2$ с, постоянная времени сервоклапана $T_{SV}=0,005$ с, постоянная времени гидравлического цилиндра $T_{HD}=0,2$ с, постоянная времени рукава электрода как колебательного звена $T_0=0,0455$ с, постоянная времени электрического контура $T_{ЭЛ}$, постоянная времени блока вычисления среднеквадратичного значения $T_{RMS}=0,007$ с, а также тепловая постоянная времени дуги θ_{ARC} и постоянная времени фильтра T_F , остаются некомпенсируемыми.

Подобная структура регулятора позволяет уменьшить число уникальных характеристик в 6 раз, поскольку его результирующий коэффициент усиления

не зависит от номера рабочей кривой [7]. Математическое моделирование показало, что усовершенствованная система управления обеспечивает стабильные переходные процессы как по управляемому, так и по возмущающему воздействиям в виде случайного изменения длины дуги в фазе А на 100 мм (рис. 9, а). При этом коэффициент взаимовлияния между фазами достаточно мал, поскольку изменение сигнала задания и возмущающие воздействия в фазе А оказывают незначительное влияние на установившееся значение длины дуги в фазах В и С (рис. 9, б). Кроме того, линеаризующие характеристики электрического контура данного регулятора имеют явную связь с параметрами объекта, что наряду с разделением компенсационных характеристик электрического и гидравлического контура делает настройку параметров регулятора более понятной и простой.

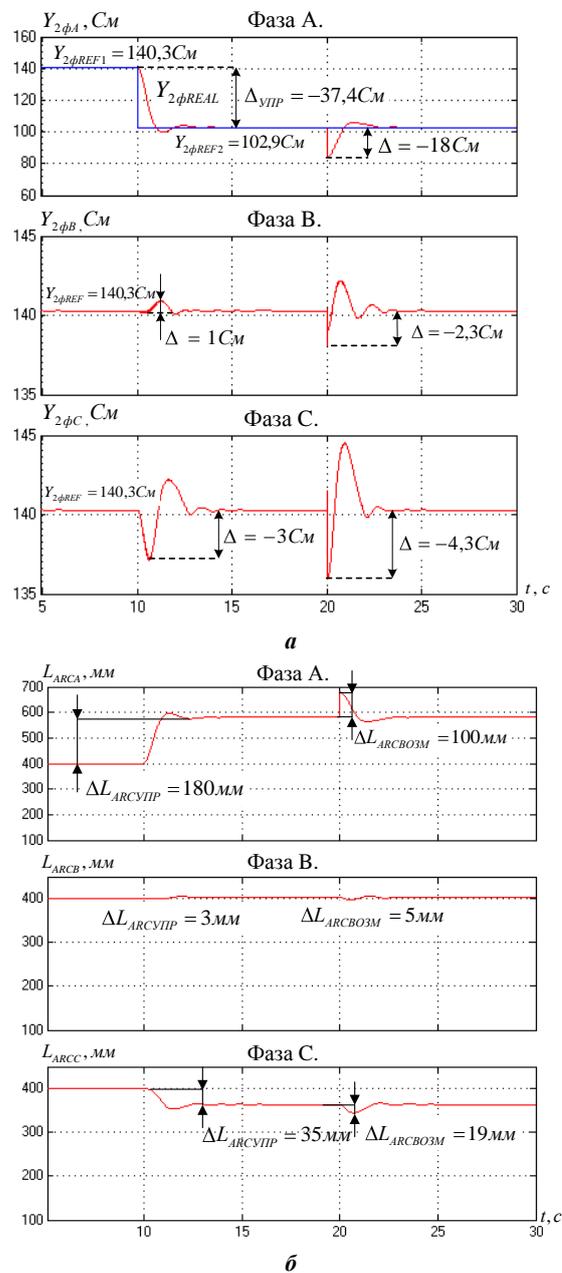


Рис. 9. Реакция системы управления на управляющее и возмущающее воздействие в виде мгновенного изменения длины дуги в фазе А на 100 мм: а - по адмитансу; б - по длине электрической дуги

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Структура ПИ-регулятора адмитанса системы управления положением электродов HI-REG, установленной на ДСП-250, обладает достаточно сложной структурой ввиду закрытых алгоритмов настройки нелинейного регулятора, а также большого числа уникальных характеристик. Кроме того, в данном регуляторе совмещены коэффициенты, компенсирующие усилительные свойства электрического контура ДСП, а также сервоклапана в диапазоне высоких скоростей. Вследствие этого адаптация линеаризующей характеристики сервоклапана в соответствии с актуальной регулировочной характеристикой является достаточно сложной задачей.

2. Недостатки существующей системы можно компенсировать путём внедрения усовершенствованного адаптивного пропорционального регулятора адмитанса. Число уникальных характеристик данного регулятора сокращено в 6 раз ввиду отсутствия жёсткой привязки к номеру рабочей кривой. Помимо этого, его структура подразумевает полное разделение линеаризующих характеристик электрического и гидравлического контура, а также отсутствие ступенчатого изменения результирующего коэффициента усиления, что позволит существенно упростить процесс настройки и улучшить динамические показатели качества работы системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.А., Тулупов П.Г. Исследование гидропривода перемещения электродов сверхмощной электродуговой сталеплавильной печи ДСП-250 ЗАО «ММК Metalurji», г. Искендерун, Турция // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. Вып.1. С.84-95.
2. Разработка усовершенствованной системы автоматического управления положением электродов дуговых сталеплавильных печей и агрегатов печь-ковш / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, П.Г. Тулупов, И.А. Якимов, Е.В. Повелица, А.В. Ануфриев // Электротехника: сетевой электронный научный журнал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electrical-engineering.ru/>, свободный. Т.1. С.48-58, 2014.
3. Николаев А.А., Тулупов П.Г. Особенности моделирования гидропривода перемещения электродов сверхмощной электродуговой сталеплавильной печи ДСП-180 // Инновации в науке: сб.статей по материалам XXVII международной научно-практической конференции. Новосибирск: СибАК, 2013. №27. С.53-61.
4. Исследование перенапряжений при коммутации печного трансформатора электродуговой установки с помощью вакуумного выключателя / А.А. Николаев, Ф.Ф. Урманова, А.А. Сатосова, П.Г. Тулупов // Инновации в науке: сб. статей по материалам XLIV международной научно-практической конференции. Новосибирск: СибАК, 2015. №4(41). С.40-51.
5. Управление тепловым и электрическим режимами агрегата ковш-печь / Е.Б. Агапитов, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, М.М. Ерофеев, А.А. Николаев // Электromеталлургия. 2006. №6. С. 11-16.
6. Способы управления электрическим режимом электродуговых печей / Ю.П. Журавлёв, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, А.А. Николаев, Е.Б. Агапитов // Изв. вузов. Электromеханика. 2006. №4. С.76-80.
7. Electrical Optimization of Superpowerful Electric Arc furnaces / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, А.В. Ануфриев // Steel in Translation. 2014. Т.44. №4.
8. Особенности моделирования дуговой сталеплавильной печи как электротехнического комплекса / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, Т.Ю. Вахитов, И.А. Якимов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им.Г.И. Носова. 2013. №1(41). С.76-82.
9. Исследование электрических режимов сверхмощной дуговой сталеплавильной печи дсп-250 металлургического завода "ММК-Metalurji" (г. Искендерун, Турция) / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, Т.Ю. Вахитов, А.В. Ануфриев // Труды XII Международного конгресса сталеплавильщиков. 2013. С.87-89.
10. Анализ различных вариантов построения систем автоматического управления перемещением электродов дуговых сталеплавильных печей и установок ковш-печь / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, П.Г. Тулупов, Е.В. Повелица // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им.Г.И. Носова. 2015. №2(50). С.90-100.
11. Моделирование электрического контура дуговой печи / Г.П. Корнилов, А.Ю. Мешеряков, А.А. Николаев, И.А. Якимов, Т.Р. Храмшин // Электротехнические системы и комплексы. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова. 2006. №12. С.110.
12. Математическая модель электрического контура дуговой сталеплавильной печи с реализацией случайных возмущений электрических дуг / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, А.В. Ануфриев, Е.В. Повелица // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. 2014. №4(4). С.260-271.
13. Пути совершенствования динамических характеристик дуговых сталеплавильных печей / И.А. Якимов, А.А. Николаев, Д.А. Корнилов, Г.П. Корнилов, А.В. Ануфриев, В.С. Горбунов, Е.В. Прудников // Электротехнические системы и комплексы. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова. 2010. №1. С.233
14. Оптимизация электрических режимов сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, Т.Ю. Вахитов, А.В. Ануфриев // Электротехнические системы и комплексы, Изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012, №20, с.274-279
15. Повышение эффективности работы сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / Корнилов Г.П., Николаев А.А., Храмшин Т.Р., Шеметов А.Н., Якимов И.А. // Изв. вузов. Электromеханика. 2009. №1. С.55-99.
16. Управление тепловым и электрическим режимами агрегата ковш-печь / Е.Б. Агапитов, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, М.М. Ерофеев, А.А. Николаев // Электromеталлургия. 2006. №6. С.11-16.
17. Анализ и оптимизация электрических режимов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, Т.Ю. Вахитов // Электromеталлургия. 2013. №7. С.2-10.
18. Развитие системы управления электродуговой установкой ковш-печь с целью повышения эффективности нагрева / Е.Б. Агапитов, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, М.М. Ерофеев, Ю.П. Журавлёв, А.П. Мусиенко // Изв. вузов. Электromеханика. 2006, №4, с.81-84.
19. Основные резервы повышения производительности электродуговой печи как электротехнического комплекса / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, И.А. Якимов, Е.В. Повелица, А.В. Ануфриев, Т.Е. Пелагеин, В.А. Иванов, Т.Р. Храмшин // Электротехнические системы и комплексы. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. №1. С.89-95.
20. Николаев А.А., Корнилов Г.П., Якимов И.А. Оптимизация электрических режимов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей // Электromеталлургия. 2014. №5. С.15-22.

DEVELOPMENT OF THE IMPROVED CONTROL ALGORITHMS FOR ULTRA-HIGH POWER ELECTRIC ARC FURNACE EAF-250 ELECTRODE MOTION SYSTEM

Nikolaev A.A., Tulupov P.G.

The article describes the improved system for control the hydraulic drive of the EAF-250 electrodes motion (OJSC «MMK Metalurji», Iskenderun, Turkey). The analysis of the disadvantages of existing control system HIREG (Danieli, Italy), which is installed on the EAF-250, was reviewed. The structure of improved proportional admittance control, which implementation will allow to simplify the setup process, to reduce the number of unique characteristics of the control, and also to improve the dynamic characteristics of the system work quality was provided.

Keywords: electric arc furnace, electrode position control system, adaptive admittance control, mathematical model of the arc furnace electrical circuit, electric arc, electrode motion hydraulic drive.

REFERENCES

1. Nikolaev A.A., Tulupov P.G. *Issledovanie gidroprivoda peremeshcheniya elektrodov sverhmoshchnoy elektrodugovoy staleplavil'noy pechi DSP-250 ZAO «MMK Metalurji», g. Iskenderun, Turtsiya* [Investigation of a hydraulic drive of the ultra-high power electric arc furnace EAF-250 CJSC «MMK Metalurji» in Iskenderun, Turkey]. *Energeticheskie i elektrotekhnicheskie sistemy* [Energetical and electrotechnical systems], collection of papers, Magnitogorsk, Publ. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, pp.84-95.
2. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Tulupov P.G., Yakimov I.A., Povelitsa E.V., Anufriev A.V. *Razrabotka usovershenstvovannoy sistemy avtomaticheskogo upravleniya polozheniem elektrodov dugovoyh staleplavil'nyh pechey i agregatov pech'-kovsh* [Design of the improved automatic control system of electric arc furnace and ladle furnaces electrodes' position]. *Elektrotehnika: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Electrical Engineering], 2014, part 1, pp. 48 -58.
3. Nikolaev A.A., Tulupov P.G. *Osobennosti modelirovaniya gidroprivoda peremeshcheniya elektrodov sverhmoshchnoy elektrodugovoy staleplavil'noy pechi DSP-180* [Simulation features of hydraulic drive of extra-power electric arc furnace EAF-180 electrodes movement]. *Innovatsii v nauke: sb. statey po materialam XXVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations in science: XXVII international scientific conference]. Novosibirsk, publ. «SIBaK», 2013, no.27. pp.53-61.
4. Nikolaev A.A., Urmanova F.F., Satosova A.A., Tulupov P.G. *Issledovanie perenapryazheniy pri kommutatsii pechnogo transformatora elektrodugovoy ustanovki s pomoshch'yu vakuumnogo vyklyuchatelya* [Research of high voltages caused by furnace transformer commutation of electric arc equipment using the vacuum switch]. *Innovatsii v nauke: sb. statey po materialam XLIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations in science: XLIV international scientific conference]. Novosibirsk, publ. «SIBaK», 2015, no.4(41), pp.40-51.
5. Agapitov E.B., Kornilov G.P., Hramshin T.R., Erofeev M.M., Nikolaev A.A. *Upravlenie teplovym i jelektricheskim rezhimami agregata kovsh-pech'* [Control of the thermal and electrical ladle furnaces regimes]. *Electrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2006, no.6, pp. 11-16.
6. Zhuravljov Ju.P., Kornilov G.P., Hramshin T.R., Nikolaev A.A., Agapitov E.B. *Sposoby upravleniya jelektricheskim rezhimom jelektrrodugovoyh pechey* [The ways of control the electrical regimes of arc furnaces]. *Izv. vuzov. Elektromekhanika* [Proceedings of the higher educational institutions. Electromechanics], 2006, no.4, pp. 76-80.
7. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Anufriev A.V. *Electrical Optimization of Superpowerful Electric Arc furnaces*. Steel in Translation, 2014, T.44, no.4, pp. 289.
8. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Hramshin T.R., Vahitov T.Yu., Yakimov I.A. *Osobennosti modelirovaniya dugovoy staleplavil'noy pechi kak elektrotekhnicheskogo kompleksa* [Features of the electric arc furnace modeling as an electrotechnical complex]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im.G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no.1(41), pp.76-82.
9. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Hramshin T.R., Vahitov T.Yu., Anufriev A.V. *Issledovanie elektricheskikh rezhimov sverhmoshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi dsp-250 metallurgicheskogo zavoda "MMK-Metalurji" (g. Iskenderun, Turtsiya)* [Research of the electrical regimes of ultra high-power electric arc furnace EAF-250 of the "MMK-Metalurji" metallurgical plant (Iskenderun, Turkey)]. *Trudy XII Mezhdunarodnogo kongressa staleplavil'shchikov* [Proceedings of the XII International steel-makers congress], 2013, pp.87-89.
10. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Tulupov P.G., Povelitsa E.V. *Analiz razlichnykh variantov postroeniya sistem avtomaticheskogo upravleniya peremeshcheniem elektrodov dugovoyh staleplavil'nyh pechey i ustanovok kovsh-pech'* [Research of the different methods for design automated control systems of an electrode position for electric arc furnaces and ladle furnaces]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im.G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], Magnitogorsk, 2015, no.2(50), pp.90-100.
11. Kornilov G.P., Meshcheryakov A.Yu., Nikolaev A.A., Yakimov I.A., Hramshin T.R. *Modelirovanie elektricheskogo kontura dugovoy pechi* [Simulation of the arc furnace electrical circuit]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2006, no.12, pp.110.
12. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Anufriev A.V., Povelitsa E.V. *Matematicheskaya model' elektricheskogo kontura dugovoy staleplavil'noy pechi s realizatsiey sluchaynykh vozmushcheniy elektricheskikh dug* [The mathematical model of electric arc furnace's electric circuit with realization of the electric arcs' random disturbances]. *Prilozhenie matematiki v ehkonomicheskikh i tekhnicheskikh issledovaniyakh* [The application of mathematics in economic and technical researches], 2014, no.4(4), pp.260-271.
13. Yakimov I.A., Nikolaev A.A., Kornilov D.A., Kornilov G.P., Anufriev A.V., Gorbunov V.S., Prudnikov E.V. *Puti sovershenstvovaniya dinamicheskikh harakteristik dugovoyh staleplavil'nyh pechey* [The ways to improve dynamical characteristics of the electric arc furnaces]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2010, no.1, pp.233.
14. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Hramshin T.R., Vahitov T.YU., Anufriev A.V. *Optimizatsiya elektricheskikh rezhimov sverhmoshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi* [Optimization of the electrical regimes for ultra-high power electric arc furnace]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2012, no.20, pp.274-279.
15. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Hramshin T.R., Shemetov A.N., Yakimov I.A. *Povyshenie effektivnosti raboty sverhmoshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi* [Increasing of the work efficiency for ultra-high power electric arc furnace]. *Izv. vuzov. Elektromekhanika* [Proceedings of the higher educational institutions. Electromechanics], 2009, no.1, pp.55-99.
16. Agapitov E.B., Kornilov G.P., Hramshin T.R., Erofeev

М.М., Nikolaev A.A. *Upravlenie teplovym i elektricheskim rezhimami agregata kovsh-pech* [Control of the electrical and thermal regimes for ladle furnaces]. *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2006, no.6, pp. 11-16.

17. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Hramshin T.R., Vahitov T.Yu. *Analiz i optimizatsiya elektricheskikh rezhimov sverhmoshchnykh dugovykh staleplavil'nykh pechey* [Analysis and optimization of the electrical regimes for ultra-high power electric arc furnaces]. *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2013, no.7, pp. 2-10.

18. Agapitov E.B., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Erofeev M.M., Zhuravlyov Yu.P., Musienko A.P. *Razvitie sistemy upravleniya elektrodugovoy ustanovkoy kovsh-pech' s tsel'yu povysheniya effektivnosti nagreva* [Improving of the ladle furnace control system for increasing the heating efficiency]. *Izv. vuzov. Elektro-*

mehanika [Proceedings of the higher educational institutions. Electromechanics], 2006, no.4, pp. 81-84.

19. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Yakimov I.A., Povelitsa E.V., Anufriev A.V., Pelagein T.E., Ivanov V.A., Hramshin T.R. *Osnovnye rezervy povysheniya proizvoditel'nosti elektrodugovoy pechi kak elektrotekhnicheskogo kompleksa* [The ways to increase productivity of the electric arc furnace as an electrotechnical system]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electro-technical systems and complexes], 2011, no.1, pp. 89-95.

20. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Yakimov I.A. *Optimizatsiya elektricheskikh rezhimov sverhmoshchnykh dugovykh staleplavil'nykh pechey* [Optimization of the electrical regimes for ultra-high power electric furnace]. *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2014, no.5, pp. 15-22.

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.

Что такое Энергетический Университет



Лучший в отрасли образовательный ресурс по насущным вопросам энергопотребления

Электроэнергия — топливо прогресса. Так было всегда. И нынешнее увеличение потребностей экономики — как развивающихся, так и развитых стран — в сочетании с растущими опасениями в отношении воздействия на окружающую среду и сокращением запасов полезных ископаемых ставят прогресс под угрозу. Энергетический университет Schneider Electric поможет справиться с ситуацией!

Основные сведения по эффективному использованию электроэнергии

Бесплатная программа веб-обучения Энергетического Университета нацелена на сбережение электроэнергии и повышение эффективности ее использования. Разработанная мировым специалистом в области управления энергией, компанией Schneider Electric, эта программа обеспечивает доступ к актуальным рекомендациям и объективному анализу специалистов по использованию в различных отраслях.

Ориентация на реальные потребности с учетом высокой занятости обучающихся

Принимая во внимание напряженный трудовой ритм потенциальных обучающихся все курсы поделены на тридцатиминутные модули, рассчитанные на изучение, в удобное время, в удобном темпе. Ряд ассоциаций засчитывает эти курсы как дополнительное профессиональное обучение. В настоящее время охвачены следующие темы: энергопотребление и измерения, средства расчета эффективности и показателя рентабельности инвестиций (ROI). Какой бы курс вы ни выбрали, это будет решение, рассчитанное на практическое применение с немедленным положительным эффектом и способное помочь специалисту по энергоэффективности завоевать заслуженный авторитет.



Кратко об обучении:

- > Бесплатная программа
- > Засчитывается как дополнительное профессиональное обучение
- > Круглосуточный доступ по сети
- > Свободный график, 30-минутные модули
- > Контроль полученных знаний и тестирование при завершении курса
- > Возможность выбора языка. В настоящее время — обучение на немецком, итальянском, испанском, бразильском варианте португальского, китайском и русском
- > Удобный веб-сайт с информационными статьями и разнообразными учебными пособиями

998-3345_RU



Все очень просто. И бесплатно.
Подробности на сайте
www.MyEnergyUniversity.com

**Energy
University**
by Schneider Electric

©2011 Schneider Electric. Все права защищены. Товарные знаки Schneider Electric и Energy University принадлежат Schneider Electric и ее аффилированным компаниям в США и других странах.

Станьте профессионалом в области энергоэффективности с Энергетическим Университетом!

Широкий тематический охват и ориентация на практические задачи



> Пользователи сайта в 120 странах мира

> Более 90% освоивших тот или иной курс заявляют об интересе к остальным

> Более 90% готовы рекомендовать Энергетический Университет другим

В настоящее время предлагаются следующие курсы, основанные на актуальной информации, предоставленной специалистами по управлению электроэнергией в различных отраслях:

- комплексное решение проблем электропитания и теплового режима;
- неравномерность потребления и интеллектуальная электросеть Smart Grid;
- проведение энергоаудита;
- средства проведения энергоаудита;
- закупки электроэнергии;
- энергоэффективность: концепции и показатели;
- структура тарифов на электроэнергию;
- показатели энергоэффективности центра обработки данных;
- переход на экологичные технологии с эффективным использованием электроэнергии и минимизацией отрицательного воздействия на окружающую среду;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования и психрометрические таблицы;
- повышение энергоэффективности центра обработки данных за счет высокой энергетической плотности электрораспределительной подсистемы;
- использование изоляционных материалов в промышленности;
- системы освещения;
- измерение и оценка характеристик энергопотребления;
- оценка эффективности использования электрической энергии в центре обработки данных;
- измерения и контроль;

- экономия за счет энергоэффективности;
- нормативы и стандарты США в области использования электроэнергии.

Практические преимущества

Курсы Энергетического Университета одобрены или засчитываются как дополнительное профессиональное обучение по определенным специальностям следующими профессиональными ассоциациями:

- The Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership;
- The U.S. Green Building Council;
- The International Electrical and Electronics Engineers.

Время, проведенное с пользой

Программа Энергетического Университета помогает использовать время с максимальной пользой: основное внимание уделяется наиболее важным конечным рынкам, представляющим 72% мирового энергопотребления:

- энергетика и инфраструктура;
- промышленность;
- центры обработки данных и сети;
- административные и жилые здания.

998-3345_RU



Все очень просто. И бесплатно.
Подробности на сайте
www.MyEnergyUniversity.com

Energy
University™
by Schneider Electric

©2011 Schneider Electric. Все права защищены. Товарные знаки Schneider Electric и Energy University принадлежат Schneider Electric и ее аффилированным компаниям в США и других странах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СУДОВОМ СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ С СИСТЕМОЙ КОМПАУНДИРОВАНИЯ

В судовых электроэнергетических системах широко используются синхронные генераторы с системами компаундирования. В статье предложена модель системы компаундирования, учитывающая процессы в компаундирующем трансформаторе. Это позволяет учитывать полностью его свойства, что имеет большое значение для учета форсирующих свойств трансформатора в переходных режимах. Моделированием исследованы переходные режимы, вызванные различными возмущающими воздействиями. Полученные результаты показывают точность и полезность предложенной модели.

Ключевые слова: система компаундирования возбуждения судовых синхронных генераторов, автоматический регулятор возбуждения, модели судовых электроэнергетических систем.

ВВЕДЕНИЕ

Синхронный генератор имеет большое внутреннее сопротивление, вызывающее снижение его напряжения при увеличении нагрузки, ограничение мощности при параллельной работе по условиям устойчивости и склонность к качаниям [1-3].

В судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) мощности генераторов и нагрузки соизмеримы, соизмеримы и электромагнитные и механические постоянные времени электрических машин, электроэнергия генерируется и потребляется без трансформации, распределительная сеть ограничена размером. Все это вызывает очень большие скорости протекания переходных процессов и очень большие требования к регуляторам и системам управления [4-7].

Требования к судовым синхронным генераторам (СГ) низкого напряжения регламентируются стандартом IEC60034-1 и требованиями морских классификационных организаций (например, Det Norske Veritas, Норвегия и Germanischer Lloyd, Германия). Относительно точности поддержания напряжения имеются требования в статическом режиме $\pm 2,5\%$, а в динамическом $\pm 15\%$.

Системы компаундирования осуществляют регулирование напряжения СГ с обратной связью по напряжению и току статора. Контур напряжения обеспечивает режим холостого хода, а контур тока компенсирует размагничивающую реакцию тока якоря. Для обеспечения необходимой точности поддержания напряжения используется дополнительно автоматический регулятор напряжения (АРВ) (корректор напряжения).

При моделировании процессов в СЭЭС система компаундирования обычно представляется алгебраическим выражением суммирования сигналов каналов напряжения и тока [4-7]. Однако компаундирующий трансформатор проявляет во время переходных процессов форсирующие свойства, увеличивая напряжение возбуждения СГ до потолочного значения. Поэтому необходимо учесть динамику трансформатора, улучшающую регулирование напряжения.

В статье предложена модель компаундирующего трансформатора, учитывающая его динамику. Создана модель одноузловой СЭЭС, включающая синхронный генератор с компаундирующим трансформатором и

АРВ. Исследованы переходные процессы, вызванные различными возмущениями.

ИССЛЕДУЕМАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

На рис. 1 показана схема исследуемой СЭЭС, которая содержит дизель-генератор с автоматическим регулятором скорости АРС, с компаундирующим трансформатором с автоматическим регулятором возбуждения КТ и АРВ [8].

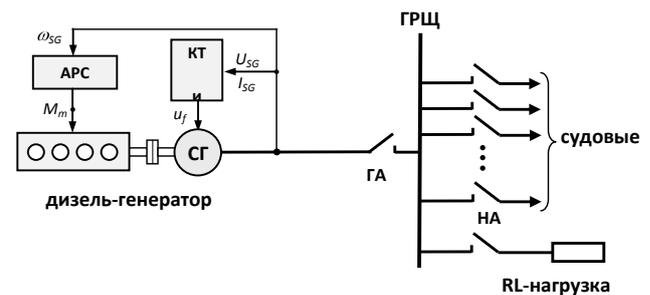


Рис. 1. Исследуемая судовая электроэнергетическая система

СГ через генераторный автомат и главный распределительный щит ГРЩ питает судовые потребители, включающие активно-индуктивную RL нагрузку. Параметры исследуемой системы следующие: синхронный генератор: $S_{ном}=5\text{ kVA}$, $U_{ном}=390\text{ V}$, $I_{ном}=7,4\text{ A}$, $n_{ном}=3000\text{ об/мин}$, $U_{f,ном}=90\text{ V}$, $I_{f,ном}=3,8\text{ A}$. $x'_{d}=0,17\text{ о.е.}$; компаундирующий трансформатор (рис. 2): обмотка напряжения $W_U=500\text{ витков}$, $r_s=0,0005\ \Omega$, $l_s=0,0005\text{ H}$; токовая обмотка $W_I=60\text{ витков}$, $r_s=0,0005\ \Omega$, $l_s=0,0005\text{ H}$; вторичная обмотка $W_2=50\text{ витков}$, $r_s=0,001\ \Omega$, $l_s=0,001\text{ H}$; индуктивность намагничивания $L_{\mu}=2,5\text{ H}$; емкость компаундирующего элемента $C=10\ \mu\text{F}$.

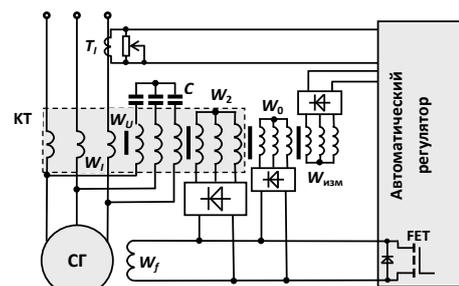


Рис. 2. Схема системы компаундирования и автоматический регулятор возбуждения

где a_{ij} и b_{ij} являются функциями активно-индуктивной нагрузки и угловой скорости вращения осей координатной системы $d, q, 0 - \omega_k$; $a_{11}=a_{22}=-r/l_i$; $a_{12}=-a_{21}=\omega_k$; $b_{11}=b_{22}=1/l_T$; r_H, l_H – активное и индуктивное сопротивление нагрузки.

Модель дизеля и его автоматического регулятора скорости

На рис. 5 показана блок-схема дизеля и автоматического регулятора скорости дизеля, используемая при моделировании [10].

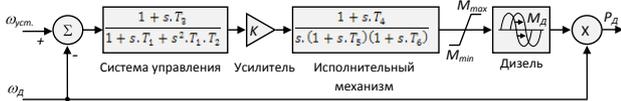


Рис. 5. Блок-схема дизеля и его автоматического регулятора скорости

Модель компаундирующего трансформатора

В фазной координатной системе a, b, c уравнения обмоток трансформатора будут иметь вид:

$$\begin{aligned} u_{aU} &= r_{aU} \cdot i_{aU} + \frac{d}{dt} \Psi_{aU}; \\ u_{bU} &= r_{bU} \cdot i_{bU} + \frac{d}{dt} \Psi_{bU}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} u_{cU} &= r_{cU} \cdot i_{cU} + \frac{d}{dt} \Psi_{cU}; \\ u_{aI} &= r_{aI} \cdot i_{aI} + \frac{d}{dt} \Psi_{aI}; \\ u_{bI} &= r_{bI} \cdot i_{bI} + \frac{d}{dt} \Psi_{bI}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} u_{cI} &= r_{cI} \cdot i_{cI} + \frac{d}{dt} \Psi_{cI}; \\ u_{a2} &= r_{a2} \cdot i_{a2} + \frac{d}{dt} \Psi_{a2}; \\ u_{b2} &= r_{b2} \cdot i_{b2} + \frac{d}{dt} \Psi_{b2}; \\ u_{c2} &= r_{c2} \cdot i_{c2} + \frac{d}{dt} \Psi_{c2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где: индексом U обозначены переменные и параметры обмотки напряжения; индексом I обозначены переменные и параметры обмотки тока; индексом 2 обозначены переменные и параметры вторичной обмотки; $r_{aj} = r_{bj} = r_{cj}$.

Так как статорный ток генератора протекает по токовой обмотке W_I компаундирующего трансформатора, то нет необходимости решать уравнение (4).

В матричном виде системы уравнения (3), (5) и уравнение компаундирующего элемента примут следующий вид:

$$\begin{aligned} U_{abc,U} &= r_U \cdot I_{abc,U} + \\ &+ \frac{d}{dt} \Psi_{abc,U} + U_{abc,C}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$U_{abc,2} = r_2 \cdot I_{abc,2} + \frac{d}{dt} \Psi_{abc,2}; \quad (7)$$

$$U_{abc,C} = \frac{1}{C} \cdot \int I_{abc,U} \cdot dt. \quad (8)$$

Систему уравнений (3), (5) необходимо дополнить уравнениями связи токов и потокоцеплений:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Psi_{aU} \\ \Psi_{bU} \\ \Psi_{cU} \end{bmatrix} &= \\ &= \begin{bmatrix} l_U & m_U & m_U \\ m_U & l_U & m_U \\ m_U & m_U & l_U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{aU} \\ i_{bU} \\ i_{cU} \end{bmatrix} + m_{U2} \begin{bmatrix} i_{a2} \\ i_{b2} \\ i_{c2} \end{bmatrix} + m_{UI} \begin{bmatrix} i_{aI} \\ i_{bI} \\ i_{cI} \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Psi_{a2} \\ \Psi_{b2} \\ \Psi_{c2} \end{bmatrix} &= \\ &= \begin{bmatrix} l_2 & m_2 & m_2 \\ m_2 & l_2 & m_2 \\ m_2 & m_2 & l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a2} \\ i_{b2} \\ i_{c2} \end{bmatrix} + m_{2U} \begin{bmatrix} i_{aU} \\ i_{bU} \\ i_{cU} \end{bmatrix} + m_{2I} \begin{bmatrix} i_{aI} \\ i_{bI} \\ i_{cI} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (10)$$

где l_j, m_j – коэффициенты само- и взаимоиндукции токов данной обмотки, $j=U,2$; m_{ij} – коэффициенты взаимоиндукции между обмотками.

В матричном виде системы уравнения (9), (10) примут следующий вид:

$$\Psi_{abc,U} = m_U \cdot I_{abc,U} + m_{U2} \cdot I_{abc,2} + m_{UI} \cdot I_{abc,I}; \quad (11)$$

$$\Psi_{abc,2} = m_2 \cdot I_{abc,2} + m_{2U} \cdot I_{abc,U} + m_{2I} \cdot I_{abc,I}. \quad (12)$$

После преобразования системы уравнений (6), (7), (8) к координатной системе $d, q, 0$, вращающейся с угловой скоростью ω_k , получим:

$$U_{dq,U} = r_U \cdot I_{dq,U} + \frac{d}{dt} \Psi_{dq,U} \mp \omega_k \cdot \Psi_{qd,U} + U_{dq,C}; \quad (13)$$

$$\Psi_{dq,U} = m_U \cdot I_{dq,U} + m_{U2} \cdot I_{dq,2} + m_{UI} \cdot I_{dq,I}; \quad (16)$$

$$U_{dq,2} = r_2 \cdot I_{dq,2} + \frac{d}{dt} \Psi_{dq,2} \mp \omega_k \cdot \Psi_{qd,2}; \quad (14)$$

$$\Psi_{dq,2} = m_2 \cdot I_{dq,2} + m_{2U} \cdot I_{dq,U} + m_{2I} \cdot I_{dq,I}. \quad (17)$$

$$U_{dq,C} = \frac{1}{C} \cdot \int I_{dq,U} \cdot dt. \quad (15)$$

Таким же образом преобразуем и уравнения потокоцеплений (11), (12):

$$\Psi_{dq,U} = m_U \cdot I_{dq,U} + m_{U2} \cdot I_{dq,2} + m_{UI} \cdot I_{dq,I}; \quad (16)$$

$$\Psi_{dq,2} = m_2 \cdot I_{dq,2} + m_{2U} \cdot I_{dq,U} + m_{2I} \cdot I_{dq,I}. \quad (17)$$

Замещая потокоцепления в (13), (14) с помощью (16), (17) и разрешая относительно производных токов,

получим:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{dq,U} \\ \mathbf{I}_{dq,2} \end{bmatrix} = & \\ = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{UU} & \mathbf{A}_{U2} \\ \mathbf{A}_{2U} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{dq,U} \\ \mathbf{I}_{dq,2} \end{bmatrix} + & \\ + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{UU} & \mathbf{B}_{U2} & \mathbf{B}_{UC} \\ \mathbf{B}_{2U} & \mathbf{B}_{22} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{dq,U} \\ U_{dq,2} \\ U_{dq,C} \end{bmatrix}, & \end{aligned} \quad (18)$$

где элементы матриц \mathbf{A}_{ij} и \mathbf{B}_{ij} являются функциями параметров обмоток трансформатора, угловой скорости ω_k и компаундирующего элемента C .

В правой части (18) в векторе напряжения есть три составляющих: $U_{dq,U} = U_{ГРЩ}$, $U_{dq,C}$ – напряжение компаундирующего элемента вычисляется с помощью (15). Напряжение вторичной обмотки трансформатора находится с помощью первого закона Кирхгофа в дифференциальной форме:

$$\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{d}{dt} i_f + \frac{d}{dt} \sqrt{i_{d2}^2 + i_{q2}^2} = 0, \quad (19)$$

где $\frac{d}{dt} i_f = \frac{1}{l_f} u_f - \frac{r_f}{l_f} i_f$; (20)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \mathbf{I}_{dq,2} = & \mathbf{A}_{2U} \cdot \mathbf{I}_{dq,U} + \mathbf{A}_{2I} \cdot \mathbf{I}_{dq,I} + \\ + & \mathbf{A}_{22} \cdot \mathbf{I}_{dq,2} + \mathbf{B}_{2U} \cdot U_{dq,U} + \mathbf{B}_{22} \cdot U_{dq,2}. \end{aligned} \quad (21)$$

После замещения производных в (19) правыми частями дифференциальных уравнений (20) и (21) получим алгебраическое уравнение вычисления напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{dq,2}$.

Напряжение ГРЩ вычисляется с помощью первого закона Кирхгофа в дифференциальной форме

$$m^{\Gamma} \cdot \frac{d}{dt} \mathbf{I}_{s,dq}^{\Gamma} + m^{\text{H}} \cdot \frac{d}{dt} \mathbf{I}_{dq}^{\text{H}} = 0, \quad (22)$$

где масштабные коэффициенты $m^{\Gamma}=1$, $m^{\text{H}}=S^{\text{H}}/S^{\Gamma}$; S^{Γ} , S^{H} – мощность генератора и нагрузки соответственно.

После замещения производных в (22) правыми частями (1), (2) и преобразования по отношению к неизвестному напряжению ГРЩ получим следующее алгебраическое уравнение:

$$\mathbf{U}_{\text{ГРЩ}} = - \frac{\mathbf{H}_s^{\Gamma} + \mathbf{B}_{sr}^{\Gamma} \cdot \mathbf{u}_f + m_{\text{H}} \cdot \mathbf{H}^{\text{H}}}{\mathbf{B}_{ss}^{\Gamma} + m_{\text{H}} \cdot \mathbf{B}^{\text{H}}}. \quad (23)$$

Учет насыщения компаундирующего трансформатора

Большое количество работ посвящено моделированию нелинейностей стали трансформаторов [11-14]. Основной нелинейностью является насыщение стали, которое превышает другие нелинейности – гистерезис и вихревые токи. Используются различные модели насыщения: матричные модели, в которых связь меж-

ду напряжениями и токами обмоток выражена импедансами или проводимостями; модели с помощью эквивалентных схем (чаще упрощенных). Обычно насыщение стали моделируется переменными сопротивлениями активного r_m и индуктивного l_m сопротивлений намагничивающего контура. При этом нелинейность представляется двумя сопрягающимися наклонными прямыми, или более точной нелинейной кривой.

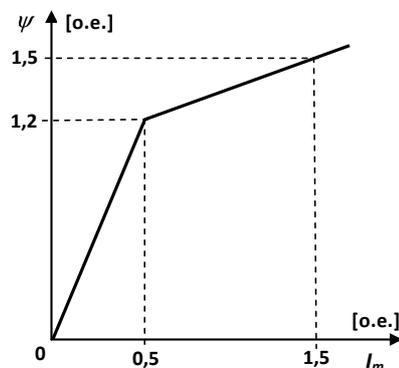


Рис. 6. Кривая насыщения трансформатора

Компаундирующий трансформатор не требует точной аппроксимации кривой намагничивания, т.к. в рабочих режимах он работает в линейном участке кривой. При этом потери на гистерезис и вихревые токи учитываются в эквивалентном активном сопротивлении r_m . При коротких замыканиях обмотка тока приводит трансформатор в насыщенный режим и обеспечивает установившийся ток $I_{к.з}=(3÷4)I_{ном}$, необходимый для обеспечения селективности защиты (см. рис. 3). Тогда характеристика насыщения трансформатора может быть представлена двумя сопряженными прямыми, отражающими оба режима работы – ненасыщенного и насыщенного (см. рис. 6).

Коэффициенты трансформации трансформатора:

$$k_U = \frac{W_2}{W_U} = \frac{50}{500} = 0,1; \quad k_I = \frac{W_2}{W_I} = \frac{50}{60} = 0,83,$$

где k_U , k_I – коэффициенты трансформации канала напряжения и канала тока соответственно.

Из рис. 6 видно, что на первом участке $L_m=2,4$, а на втором – $L_m=1$. Таким образом, с помощью кривой насыщения вычисляются величины взаимных индуктивностей m_j в (16), (17).

Выпрямитель

Используется модель трехфазного неуправляемого выпрямителя пакета SimPowerSystems, программной среды Matlab.

Автоматический регулятор напряжения

В качестве автоматического регулятора возбуждения используется пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор со следующими коэффициентами передач: $k_p=1,5$, $k_i=0,5$, $k_d=0,1$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ИССЛЕДУЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Были исследованы различные переходные режимы исследуемой ЭЭС, вызванные различными возмущениями в системе в среде Matlab. Ниже приведена часть полученных результатов при трехфазном симметрическом коротком замыкании. Короткое замыка-

ние симулировалось вводом в систему сопротивления к.з. $R_{к.з}=0,25\Omega$, $L_{к.з}=0,5H$ при $t=4$ sec, его выключении при $t=4,4$ sec.

Приведены осциллограммы следующих переменных состояний: напряжение возбуждения СГ u_j ; ток возбуждения СГ i_j ; действующее $U = \sqrt{u_d^2 + u_q^2}$ и фазное

значение u_a напряжения ГРЦ; действующее $I = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$ и фазное значение i_a тока СГ; активная P и реактивная Q мощность СГ; выходной сигнал ПИД регулятора PIDout (рис. 7-15).

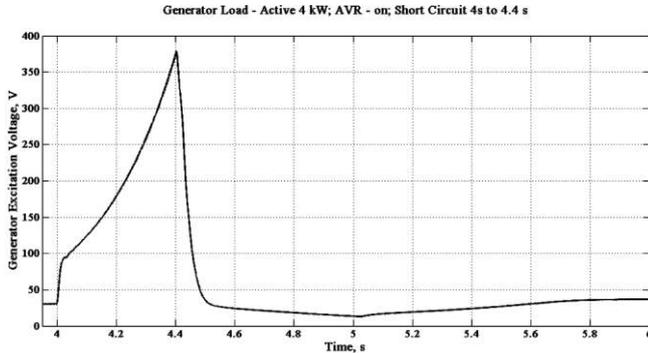


Рис. 7. Напряжение возбуждения синхронного генератора

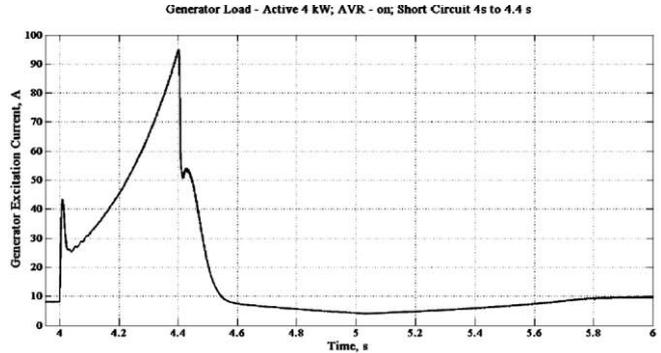


Рис. 8. Ток возбуждения синхронного генератора

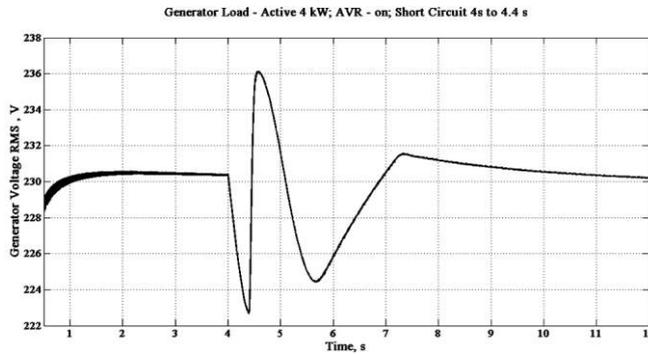


Рис. 9. Действующее значение напряжения синхронного генератора (ГРЦ)

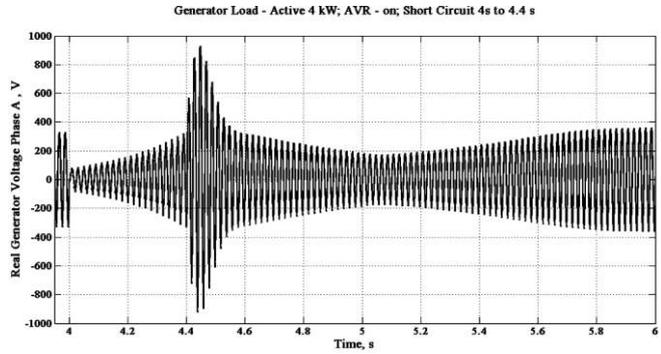


Рис. 10. Фазное значение напряжения синхронного генератора (ГРЦ)

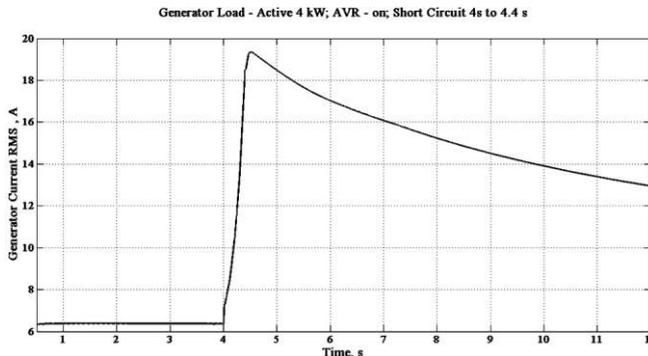


Рис. 11. Действующее значение тока синхронного генератора

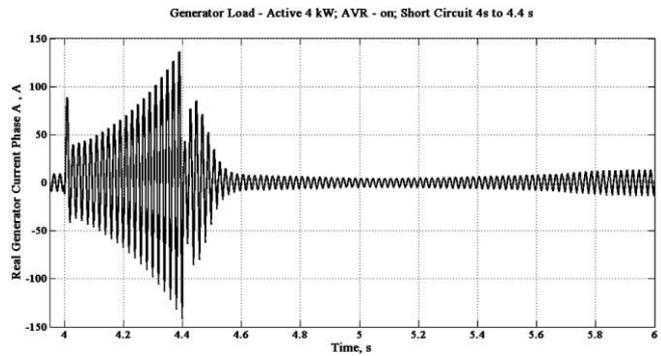


Рис. 12. Фазное значение тока синхронного генератора

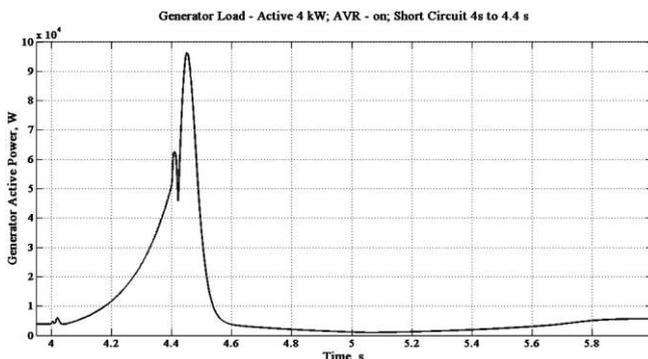


Рис. 13. Активная мощность синхронного генератора

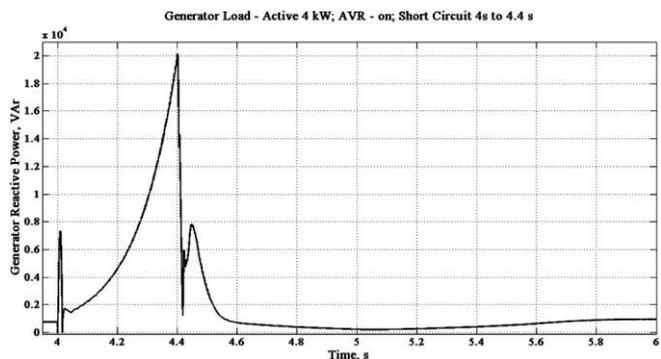


Рис. 14. Реактивная мощность синхронного генератора

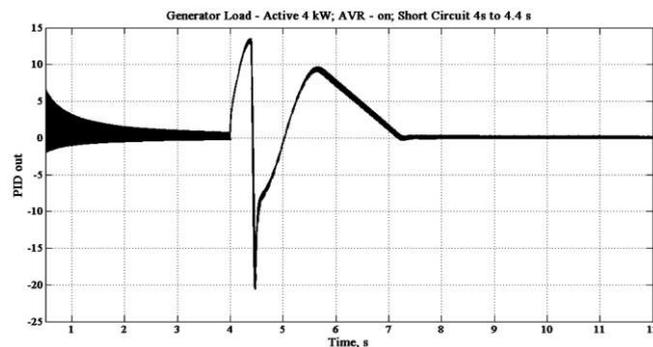


Рис. 15. Выходной сигнал автоматического ПИД-регулятора возбуждения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Специфические особенности судовых электро-энергетических систем требуют более точных моделей их исследований. В статье предложена модель компаундирующего трансформатора, учитывающая процессы в самом трансформаторе. Это улучшает точность исследований, особенно в режимах с большими возмущениями. Предложенная модель исследована в одноузловой ЭЭС при различных возмущениях. Полученные экспериментальные результаты показывают ее адекватность. Эта модель может быть использована при проектировании компаундирующих трансформатор и при настройке автоматических регуляторов возбуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Concordia C. Steady-State Stability of Synchronous Machines as Affected by Voltage-Regulator Characteristics, Transactions on Electrical Engineering, vol.63, no.6, May 1944, pp. 215-220.
2. Веников В.А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. М.-Л.: Энергия, 1964, 380 с.
3. Михневич Г.В. Синтез структуры системы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин. М.: Наука, 1964, 232 с.
4. Кетнер К.К., Козлова И.А., Сендюров В.М. Алгоритмизация расчетов переходных процессов автономных электроэнергетических систем. Рига: Зинатне, 1981, 166 с.

5. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электро-энергетические системы. М.: Транспорт, 1988, 328 с.
6. Джагаров Н.Ф., Корабни електроенергийни системи. Варна: Технически университет, 1997, 428 с.
7. Токарев Л.Н. Судовая электротехника и электромеханика. СПб: Береста, 2006, 324 с.
8. Djagarov N., Lazarov T. Automatic Voltage Regulator for a Ship's Synchronous Generator, Proceedings of Twelfth Int. Conference on Marine Sciences and Technologies, Varna, 25-27 Sep. 2014, pp.132-137.
9. Джагаров Н.Ф. Расчет переходных процессов в электрических системах со сложной структурой сети // Электричество. 1990. №1. С.9-16.
10. Yeager K.E., Willis J.R. Modeling of Emergency Diesel Generators in an 800 Megawatt Nuclear Power Plant, IEEE Transactions on Energy Conversion, no.8, no.3, Sep. 1993.
11. Ewart D.N. Digital Computer Simulation Model of a Steel-Core Transformer, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.PWRD-1, no.3, July 1986, pp.174-182.
12. David J., Gross C.A. Nonlinear Modeling of Transformers, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.24, no.3, May 1988, pp.434-438.
13. Dolinar D., Pihler J., Grcar B. Dynamic Model of a Three-Phase Power Transformer, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.PWRD-8, no.4, Oct. 1993, pp.1811-1819.
14. Narang A., Brierley R.H. Topology Based Magnetic Model for Steady-state and Transient Studies for Three-Phase Core Type Transformers, IEEE Transactions on Power Systems, vol.9, no.3, Aug. 1994, pp.1337-1349.
15. SimPowerSystems, For Use with Simulink, User's Guide Version 3, The MathWorks, Inc. 2003, 620 p.

INFORMATION IN ENGLISH

PROCESSES SIMULATION IN SHIP'S SYNCHRONOUS GENERATOR WITH COMPAUND SYSTEM EXCITATION

Djagarov N.F., Bonev M.B., Grozdev Z.G., Lazarov T.P., Djagarova J.V.

The synchronous generators with compound system excitation are used widely in the ship's electrical power systems. In the paper the compound system excitation model is suggested, which takes into account the compound transformer processes. This allows taking into account all his property, which has great importance to account the transformer forcing features on a transient processes. A transient processes, caused by various disturbances, are investigated by modeling. Received results show the accuracy and usefulness of suggested model.

Keywords: compound system excitation of ship's synchronous generators, automatic voltage regulator, ship's electrical power system models.

REFERENCES

1. Concordia C. Steady-State Stability of Synchronous Machines as Affected by Voltage-Regulator Characteristics,

- Transactions on Electrical Engineering, vol.63, no.6, May 1944, pp. 215-220.
2. Venikov V.A. *Elektromekhanicheskie perekhodnye protsessy v elektricheskikh sistemah* [Electromechanical transients processes in electrical systems]. Moscow- Leningrad, Energy. 1964, 380 p.
3. Mihnevich G.V. *Sintez struktury sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya vozbuzhdeniya sinhronnyh mashin* [The synthesis of the structure of the system of synchronous machines excitation automatic control]. Moscow, Science, 1964, 232 p.
4. Ketner K.K., Kozlova I.A., Sendyurev V.M. *Algoritmi-zatsiya raschetov perekhodnyh protsessov avtonomnyh elektro-energeticheskikh sistem* [Algorithmization of the calculation of transitional autonomous electric power systems]. Riga, Zinatne, 1981, 166 p.
5. Baranov A.P. *Sudovye avtomatizirovannye elektroener-*

geticheskie system [Shipboard automated electric power systems]. Moscow, "Transport", 1988, 328 p.

6. Dzhagarov N.F. Korabni elektroenergiyni sistemi, Varna, Tekhnicheski universitet, 1997, 428 p.

7. Tokarev L.N. *Sudovaya elektrotehnika i elektromekhanika* [Ship's Electrical Engineering and Electromechanics]. Saint Petersburg, Beresta, 2006, 324 p.

8. Djagarov N., Lazarov T. Automatic Voltage Regulator for a Ship's Synchronous Generator, Proceedings of Twelfth Int. Conference on Marine Sciences and Technologies, Varna, 25-27 Sep. 2014, pp.132-137.

9. Dzhagarov N.F. *Raschet perekhodnyh protsessov v elektricheskikh sistemah so slozhnoy strukturoy seti* [Calculation of transient processes in electrical systems with complex network structure]. *Elektrichestvo* [Electricity], 1990, №1, pp. 9-16.

10. Yeager K.E., Willis J.R. Modeling of Emergency Diesel Generators in an 800 Megawatt Nuclear Power Plant, IEEE

Transactions on Energy Conversion, no.8, no.3, Sep. 1993.

11. Ewart D.N. Digital Computer Simulation Model of a Steel-Core Transformer, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.PWRD-1, no.3, July 1986, pp.174-182.

12. David J., Gross C.A. Nonlinear Modeling of Transformers, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.24, no.3, May 1988, pp.434-438.

13. Dolinar D., Pihler J., Gracar B. Dynamic Model of a Three-Phase Power Transformer, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.PWRD-8, no.4, Oct. 1993, pp.1811-1819.

14. Narang A., Brierley R.H. Topology Based Magnetic Model for Steady-state and Transient Studies for Three-Phase Core Type Transformers, IEEE Transactions on Power Systems, vol.9, no.3, Aug. 1994, pp.1337-1349.

15. SimPowerSystems, For Use with Simulink, User's Guide Version 3, The MathWorks, Inc. 2003, 620 p.

УДК 621.311.1:621.3.019.3

Юлдашева А.И., Малафеев А.В.

УЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕЖИМА ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С СОБСТВЕННЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

В статье приведен краткий обзор исследований в области надежности электроэнергетических систем и систем электро-снабжения. Сформулированы основные факторы, которые необходимо учитывать при планировании режимов системы электро-снабжения. Для определения эквивалентных показателей надежности промышленных систем электро-снабжения предложен алгоритм расчета, основанный на сочетании метода последовательного эквивалентирования и метода Ньютона. Приведен пример расчета для узла примыкания системы электро-снабжения крупного промышленного предприятия к региональной энерго-системе. Рассмотрены основные составляющие ущерба потребителей промышленного предприятия.

Ключевые слова: надежность электро-снабжения, показатели надежности, структурная надежность, время восстановления, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы, ущерб от ненадежности.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях рыночной экономики большое значение приобретают финансовые последствия недостаточного надежного электро-снабжения потребителей. Особое внимание должно быть уделено надежности систем электро-снабжения предприятий энерго-емких отраслей промышленности, таких как металлургия. Системы электро-снабжения данных предприятий характеризуются наличием как замкнутых, так и разомкнутых участков на напряжении 110-220 кВ, несколькими собственными электростанциями со схемами выдачи мощности как на генераторном, так и на повышенном напряжении, а также несколькими узлами примыкания к региональной энергосистеме. В связи с этим учет фактора надежности необходим как при проектировании, так и при эксплуатации (в т.ч. при планировании режима) систем электро-снабжения промышленных предприятий.

Таким образом, при планировании режимов систем электро-снабжения крупных промышленных предприятий необходимо учитывать:

- 1) надежность схем питания главных понизительных подстанций и подстанций глубокого ввода, от которых осуществляется электро-снабжение производственных цехов;
- 1) надежность схем выдачи мощности собственных

электростанций предприятия;

3) надежность участков примыкания заводской сети к сетям энергосистемы;

4) наряду с планируемой нормальной или ремонтной схемой сетей 110-220 кВ нужно также учитывать состав работающих агрегатов собственных электростанций, что отражается на эквивалентных показателях надежности их как источников питания;

5) в случае связи системы электро-снабжения непосредственно с системообразующей сетью объединенной энергосистемы необходимо учитывать и ее ремонтные режимы.

Сегодня активно развиваются исследования в области обеспечения надежности. Наибольшее внимание уделяется разработке новых средств повышения надежности. В работе Б.В. Лукина, Р.А. Вайнштейна и Ю.В. Хрущева [1] представлен обзор наиболее существенных разработок ученых Томского политехнического университета в области повышения надежности электро-снабжения, в т.ч. комплекс устройств для защиты от замыканий на землю, измерения расстройки компенсации емкостных токов и автоматической настройки дугогасящих реакторов. Разработки представителей МЭИ, такие как быстродействующее АВР и динамический компенсатор изменений напряжения (ДКИН) заслуживают особого внимания [2, 3]. Повышению надежности способствует применение интел-

лектуальных систем диагностирования оборудования [4, 5]. Широкий спектр статей посвящен вопросам оценки надежности электроснабжения. Оценке структурной надежности электроэнергетических систем посвящена монография [6]. В ней описываются основные методы определения показателей структурной надежности, подробно рассматриваются процедуры вероятностного эквивалентирования процессов отказа системы электроснабжения узлов электропотребления, приводятся математические модели эквивалентирования, характеризующие каждый тип отказов, предложена методика определения показателей структурной надежности систем с отказами типа «КЗ» с помощью метода Ньютона. В [7] изложены основные особенности оценки надежности подстанции и в качестве наиболее удобного предлагается вероятностный метод оценки надежности. В работах [8, 9] рассмотрены подходы к анализу надежности ТЭЦ промышленного предприятия при внедрении частотно-регулируемого электропривода и средств повышения устойчивости. Как один из способов повышения надежности электроснабжения в работе [10] рассмотрено применение дизельных электростанций. Статья [11] посвящена учету метеофакторов при расчетах надежности. В.П. Будовский предлагает методику оценки балансовой надежности электроэнергетической системы с использованием понятия «ожидаемого дефицита» мощности [12]. Наименьшее внимание уделено вопросам развития теории режимной надежности и разработке способов расчета структурной надежности сложных систем электроснабжения.

Как показал анализ возможностей основных отечественных и зарубежных программных продуктов, используемых в электроэнергетике, большая их часть ориентирована на оценку режимной надежности (АНАРЭС, МУСТАНГ, ДАКАР, Eurostag, PowerFactory, NEPLAN, PSS E); возможность расчета структурной надежности в них не предусмотрена.

Таким образом, анализ существующих методов оценки надежности систем электроснабжения и основных программных продуктов, используемых в электроэнергетике, показал, что применение их к таким объектам, как система электроснабжения крупного предприятия или энергосистема любого уровня иерархии, является затруднительным. Это связано с большим количеством элементов в исследуемой схеме и сложностью её структуры. Задача разработки алгоритма оценки структурной надежности является на сегодняшний день весьма актуальной.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ

Для определения показателей надежности предложен подход, основанный на методе последовательного эквивалентирования [13] для расчета режимов систем электроснабжения крупных промышленных предприятий с собственными электростанциями. На основе схемы электроснабжения строится структурная схема, представляющая собой аналог схемы соединения реальных элементов: выключателей, ЛЭП, трансформаторов. Каждый элемент структурной схемы представляется в виде многолучевой звезды, вид которой определяется числом связей элемента.

Алгоритм упрощения основан на последователь-

ном исключении элементов с заменой звезды многоугольником с диагоналями. В основу преобразований, выполняемых в ПК, положена процедура замены n -лучевой звезды n -угольником с диагоналями, что позволяет на каждом шаге эквивалентирования сократить количество элементов на один. Для исключаемого элемента составляется система уравнений (на примере элемента с четырьмя связями), связывающая вероятности безотказной работы лучей звезды p_1, p_2, p_3, p_4 и сторон и диагоналей многоугольника $p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{23}, p_{24}, p_{34}$, следующего вида:

$$\begin{cases} p_1 p_2 - p_{12} - p_{14} p_{24} - p_{13} p_{23} + p_{14} p_{24} p_{12} + p_{13} p_{23} p_{12} = 0; \\ p_2 p_3 - p_{23} - p_{12} p_{13} - p_{24} p_{34} + p_{12} p_{13} p_{23} + p_{24} p_{34} p_{23} = 0; \\ p_3 p_4 - p_{34} - p_{24} p_{23} - p_{13} p_{14} + p_{24} p_{23} p_{34} + p_{13} p_{14} p_{34} = 0; \\ p_1 p_4 - p_{14} - p_{13} p_{34} - p_{12} p_{24} + p_{13} p_{34} p_{14} + p_{12} p_{24} p_{14} = 0; \\ p_1 p_3 - p_{13} - p_{12} p_{23} - p_{14} p_{34} + p_{12} p_{23} p_{13} + p_{14} p_{34} p_{13} = 0; \\ p_2 p_4 - p_{24} - p_{23} p_{34} - p_{12} p_{14} + p_{23} p_{34} p_{24} + p_{12} p_{14} p_{24} = 0. \end{cases}$$

Для решения системы уравнений использован метод Ньютона [14] как наиболее эффективный итерационный численный метод нахождения корней системы нелинейных уравнений. Полученные значения вероятностей безотказной работы эквивалентируются с уже существующими в схеме.

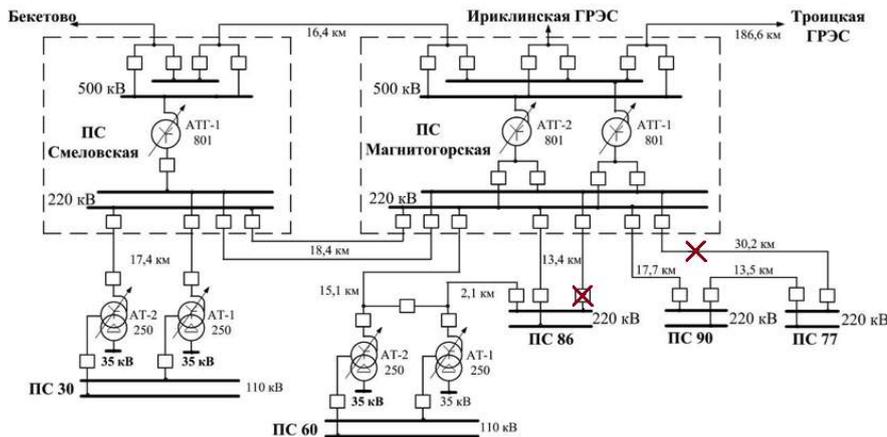
На промежуточных этапах преобразования используются формулы последовательно-параллельного эквивалентирования для вероятности безотказной работы [15]: при последовательном соединении 2-х элементов: $p_{\text{эkv}} = p_1 p_2$; при параллельном соединении 2-х элементов: $p_{\text{эkv}} = p_1 + p_2 - p_1 p_2$.

При оценке надежности электроснабжения учитывается направление потоков мощности и элементы, не участвующие в передаче электроэнергии какому-либо определенному потребителю, исключаются из расчетной схемы. Предложенный алгоритм реализован в рамках ПК «КАТРАН» [16] и позволяет производить расчет эквивалентных показателей надежности системы электроснабжения: вероятности безотказной работы ($p_{\text{эkv}}$), параметра потока отказов ($\omega_{\text{эkv}}$) и времени восстановления ($T_{\text{в,эkv}}$). Более подробно алгоритм расчета описан в [17, 18].

В данной работе предлагается учитывать характеристики надежности собственных источников электроэнергии непосредственным добавлением в расчетную схему системы электроснабжения главной схемы станции с учетом ее оперативного состояния. Учет влияния узлов примыкания возможен при задании их элементами с некоторыми эквивалентными значениями времени восстановления и параметра потока отказов. Эти значения могут быть получены из расчета для основной сети региональной энергосистемы на основе ее оперативной схемы. В первую очередь, необходима информация о состоянии оборудования ближайших системных подстанций и линий электропередачи, непосредственно связанных с ними. При наличии достаточных вычислительных ресурсов возможно включение в расчетную схему системы электроснабжения примыкающих к ней сетей энергосистемы.

В качестве примера рассмотрена система электроснабжения металлургического комбината. Для

ОАО «ММК» связь с энергосистемой осуществляется через подстанции 500/220 кВ МЭС Урала ОАО «ФСК ЕЭС» (ПС Смеловская и ПС Магнитогорская) (см. рисунок). Для прогнозирования надежности необходимо учитывать режимы работы оборудования данных подстанций. Для этого рассчитаны основные эквивалентные показатели нижеприведенной схемы в нормальном режиме и при отказе 1 выключателя (В) и 1 линии электропередачи (ВЛ). На рисунке эти элементы перечеркнуты. Результаты расчета приведены в таблице.



Связь основных подстанций металлургического комбината с энергосистемой

Результаты расчета

Режим работы	$P_{ЭКВ}$	$\omega_{ЭКВ}$, 1/ГОД	$T_{ВЭКВ}$, ГОД
Нормальный	0,9976	0,052	0,046
Отказ: 1ВЛ, 1В	0,9849	0,063	0,054

Таким образом, рассмотренный фрагмент сети обладает высокой степенью надежности, и оценка планируемого нормального или ремонтного режима будет определяться загрузкой оборудования, уровнями напряжения, стоимостью потерь электроэнергии и ущербом от ненадежности.

ОЦЕНКА УЩЕРБА

На современных промышленных предприятиях преобладают электроприемники первой категории по надежности электроснабжения, как следствие, в задачах организации системы управления надежностью электроснабжения категория ущерба занимает важное место. В связи с этим при планировании режима промышленной системы электроснабжения предлагается принимать решение не только на основе оценки эквивалентных показателей надежности, но и с учетом ожидаемого ущерба от ненадежности.

Различают два вида ущерба от перерыва электроснабжения: прямой и косвенный.

В прямой ущерб входят [19]: убытки от расстройств технологического процесса; выход из строя или сокращение срока службы механизмов; убытки от энергетических потерь; ущерб от брака продукции, от увеличения затрат труда, материалов и энергии на единицу продукции, стоимость простоя рабочей силы.

Применительно к заводским потребителям расчет прямого ущерба основан на анализе отказов. Так, ожидаемый среднегодовой ущерб от перерыва электроснабжения Y_{Π} :

$$Y_{\Pi} = Y_0 \cdot T \cdot W_H,$$

где Y_0 – удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителя, определяемый временем перерыва и характером производства, руб./кВт·ч (для предприятий черной металлургии $Y_0=18,3$ руб./кВт·ч [20]); W_H – электроэнергия, недоотпущенная потребителю вследствие нарушения электроснабжения, определяемая по формуле.

$$W_H = W_{\text{потр}} \cdot q_c,$$

где $W_{\text{потр}}$ – годовая потребность потребителя в электроэнергии, кВт·ч; q_c – вероятность отказа системы электроснабжения, 1/год.

При оценке ущерба от перерыва электроснабжения время фактического простоя потребителя T складывается из времени перерыва электроснабжения (времени восстановления $t_{\text{в}}$), времени, необходимым для доведения параметров технологического процесса после восстановления электроснабжения до регламентируемых величин ($t_{\text{тех}}$); времени пуска технологической установки ($t_{\text{пуск}}$), равном времени достижения номинальной производительности после восстановления регламентируемых параметров режима:

$$T = t_{\text{в}} + t_{\text{тех}} + t_{\text{пуск}}.$$

Особенностью крупных промышленных предприятий является наличие собственных электростанций. В связи с этим, к косвенному ущербу предлагается отнести ущерб от недовыработки электроэнергии собственными электростанциями $Y_{СТ}$, обусловленный необходимостью покупать электроэнергию по более высокой цене в случае остановки работы оборудования станции:

$$Y_{СТ} = (C_g - C_p) \cdot \Delta P_{СТ} \cdot T_{СТ},$$

где $(C_g - C_p)$ – разница между стоимостью электроэнергии, вырабатываемой собственными электростанциями C_g и покупной электроэнергией C_p , руб./кВт·ч; $\Delta P_{СТ}$ – снижение выработки станции, кВт, в течение времени T , ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполнения работы произведен расчет эквивалентных показателей надежности фрагмента схемы ОАО «ММК» при различных режимах работы. Таким образом, разработанный алгоритм позволяет проводить сопоставление различных вариантов нормальных и ремонтных эксплуатационных схем на основе показателей надежности при планировании режима или реконструкции сети. Учет направления потоков мощности позволяет просчитывать планируемые эксплуатационные режимы, как с учетом оперативной конфигурации схем, так и с учетом изменения нагрузок. Результаты работы могут быть использованы службами расчета и анализа режимов электрических

сетей и электростанций предприятий. Разработанные алгоритм, модуль в составе ПК «КАТРАН», подход к оценке надежности внедрены в практику эксплуатации на ОАО «ММК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин Б.В., Вайнштейн Р.А., Хрущев Ю.В. Повышение надежности и качества электроснабжения потребителей // Известия Томского политехнического университета. 2003. Т.306. №1.
2. Гамазин С.И. Современные способы повышения надежности электроснабжения потребителей напряжением 10, 6 и 0,4 кВ // Промышленная энергетика. 2008. № 8. С.20-23.
3. Быстродействующее устройство АВР с одноканальным принципом определения нарушения нормального электроснабжения потребителей / В.А. Жуков, В.М. Пупин, С.И. Гамазин, А.И. Куликов, С.А. Цырук // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2011. №9. С.11-18.
4. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, В.Р. Храмшин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1(45). С.129-136.
5. Система диагностического мониторинга технического состояния трансформатора дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.Р. Храмшин, А.А. Сарлыбаев // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2014. №4. С.27-33.
6. Обоскалов В.П. Структурная надежность электроэнергетических систем. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 194 с.
7. Воропай Н.И., Дьяченко А.В. Оценка надёжности подстанций вероятностным методом // Электрические станции. 2011. №1. С.35-41.
8. Анализ надежности оборудования тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты / А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, О.И. Карандаева, Ю.Н. Ротанова, В.В. Ровнейко, Р.Р. Галлямов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2009. №34(167). С.16-22.
9. Способ повышения устойчивости генератора в системе электроснабжения крупного промышленного предприятия / А.А. Мурзиков, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, И.А. Дубина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 3-4. С.121-125.

10. Карякин А.Л., Булыгин Д.А. Выбор параметров электротехнического комплекса дизельной электростанции для систем питания потребителей первой категории особой группы // Современные проблемы науки и образования. 2013. №2. С.228.
11. Абдулвелеев И.Р., Корнилов Г.П., Шеметов А.Н. Автоматизированный расчет надежности воздушных линий электропередачи в критических погодных условиях // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. №7. С.30-38.
12. Будовский В.П. Оценка балансовой надежности электроэнергетических систем методами теории рисков // Электричество. 2011. №1. С. 11-16.
13. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения / В.А. Игуменцев, Б.И. Заславец, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова // Промышленная энергетика. 2008. №6. С.16-22.
14. Замышляев В.Ю., Котов О.М., Обоскалов В.П. Определение показателей структурной надежности систем с отказами типа «КЗ» // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф.: сб. статей. В 2 т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т.1. С.534-539.
15. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. М.: Высш. шк., 1984. 256 с.
16. А.с. 2012612069 РФ. Программа «Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 6.0»/ В.А. Игуменцев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова, Е.А. Панова, А.В. Хламова, В.М. Тарасов, Е.Б. Ягольникова, Н.А. Николаев, В.В. Зиновьев. Оpubл. в бюл. «Программы для ЭВМ, БД, ТИМС», 2012, №2. С. 500-501.
17. Yuldasheva A.I., Malafeev A.V. Reliability Evaluation for Electric Power Supply Management // Proceedings of International Scientific Symposium "Electrical power engineering 2014", Varna, Bulgaria. 2014. С. 10-12.
18. Малафеев А.В., Юлдашева А.И. Учет направления потоков мощности в задаче анализа структурной надежности систем электроснабжения // Изв. вузов. Электромеханика. 2015. № 2. С. 36-40.
19. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушения электроснабжения. М: Изд. дом МЭИ, 2010. 187 с.
20. Мамонтов А.Н. Повышение эффективности электроснабжения непрерывных производств на основе динамической компенсации амплитудных искажений напряжения: автореф. дис... канд. техн. наук. Липецк: Липецкий государственный технический ун-т, 2011. 19 с.

INFORMATION IN ENGLISH

ACCOUNTING THE RELIABILITY INDEX AT PLANNING THE MODE OF INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEM WITH OWN ELECTRIC POWER STATIONS

Yuldasheva A.I., Malafeev A.V.

In this article, the analysis of researches in the area of reliability of electric power systems and power supply systems was reported. The basic factors which must be taken into account in the task of mode planning of power supply system, was presented. The algorithm, based on combination of sequential network reduction and Newton's methods, was proposed for the calculation of equivalent reliability indexes of industrial power supply systems. The example of the calculation for the node connection of the large industrial enterprise power supply system and regional electric power system was reviewed. The main components of consumer's damage of industrial enterprises were considered.

Keywords: power supply reliability, reliability indexes, structural reliability, restoration time, failure rate, probability of no-failure, damage from unreliability.

REFERENCES

1. Lukin B.V., Vainstein R.A., Chrushev Yu.V. *Povyshenie nadezhnosti i kachestva elektroshabzheniya potrebiteley* [Increasing of reliability and quality of consumer's power supply]. *Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2003, vol, 306, no.1.
2. Gamazin S.I. *Sovremennyye sposoby povysheniya nadezhnosti elektroshabzheniya potrebiteley napryazheniem 10, 6 i 0,4 kV* [Modern methods of improving reliability of consumer's power supply of voltage class of 10, 6 and 0.4 kV]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering]. 2008, no.8. pp. 20-23.
3. ukov V.A., Pupin V.M., Gamazin S.I., Kulikov A.I., Tsyruk S.A. *Bystrodeystvuyushchee ustroystvo AVR s odnokanal'nym printsipom opredeleniya narusheniya normal'nogo elektroshabzheniya potrebiteley* [The high-speed device AVR with

the single-channel principle of determination of violation of normal electrical power supply of consumers]. *Elektrooborudovaniye: ekspluatatsiya i remont* [Electric equipment: exploitation and repair]. 2011, no.9, pp.11-18.

4. Lukyanov S.I., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarvarov A.S., Petushkov M.Yu., Khramshin V.R. *Razrabotka i vnedrenie intellektual'nykh sistem diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya elektricheskogo oborudovaniya* [The development and implementation of intelligent systems for electrical equipment technical diagnostics]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no.1(45). pp.129-136.

5. Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Khramshin V.R., Sarlybaev A.A. *Sistema diagnosticheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya transformatora dugovoy staleplavil'noy pechi* [The system diagnostic monitoring of the technical condition of the electric arc furnace transformer]. *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'* [Electro.electrical power generation, electrical engineering]. 2014, no.4. pp.27-33.

6. Oboskalov V.P. *Strukturnaya nadezhnost' elektroenergeticheskikh sistem* [Structural reliability of electric power systems]. Yekaterinburg, UrFU, 2012, 194 p.

7. Voropai N.I., Dyachenko A.V. *Otsenka nadezhnosti podstantsii veroyatnostnym metodom* [An assessment of power station reliability by probabilistic method]. *Elektricheskie stantsii* [Power stations]. 2011, no.1, pp.35-41.

8. Karandaev A.S., Kornilov G.P., Karandaeva O.I., Rotanova Ju.N., Rovneiko V.V., Galljamov R.R. *Analiz nadezhnosti oborudovaniya teplovoiy elektrostantsii pri vnedrenii preobrazovateley chastoty* [The analysis of the thermal power station equipment reliability with the frequency changers implementation]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering]. 2009, no.34(167), pp.16-22.

9. Murzikov A.A., Kornilov G.P., Khramshin T.R., Dubina I.A. *Sposob povysheniya ustoychivosti generatora v sisteme elektrosnabzheniya krupnogo promyshlennogo predpriyatiya* [Way of generator stability increase in electrical supply system of the of large industrial enterprise]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Tula State University. Technical sciences]. 2010, no.3-4, pp.121-125.

10. Karyakin A.L., Bulygin D.A. *Vybor parametrov elektrotekhnicheskogo kompleksa dizel'noy elektrostantsii dlya sistem pitaniya potrebiteley pervoy kategorii osoboy gruppy* [The choice of diesel generator's electrical parameters for first category electrical systems supply of special groups]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2013, no.2, pp.228.

11. Abdulvelev I.R., Kornilov G.P., Shemetov A.N. *Avtomatizirovannyi raschet nadezhnosti vozdukhnykh liniy elektroperedachi v kriticheskikh pogodnykh usloviyakh* [The automated calcu-

lation of the reliability overhead power lines in critical weather conditions]. *Elektrooborudovaniye: ekspluatatsiya i remont* [Electric equipment: exploitation and repair]. 2014, no.7, pp.30-38.

12. Budovskii V.P. *Otsenka balansovoy nadezhnosti elektroenergeticheskikh sistem metodami teorii riskov* [The assessment of the balance reliability of electrical power system using risk theory methods]. *Elektrichestvo* [Electricity], 2011, no.1, pp.11-16.

13. Igumenshev V.A., Zaslavets B.I., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Yu.N. *Modifitsirovannyi metod posledovatel'nogo ekvivalentirovaniya dlya rascheta rezhimov slozhnykh sistem elektrosnabzheniya* [The modified method of consequential reduction for calculating the complex modes of power supply systems]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering], 2008, no.6, pp.16-22.

14. Zamyshlyaev V.Yu., Kotov O.M., Oboskalov V.P. *Opreделение pokazateley strukturnoy nadezhnosti sistem s otkazami tipa «KZ»* [Determination of structural reliability indexes of systems with "SC" type refusals]. *Elektroenergetika glazami molodezhi: Nauch. tr. III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Power engineering from the point of view of youth: proceedings of international scientific technical conference], Yekaterinburg, UrFU, 2012, T.1, pp.534-539.

15. Kitushin V.G. *Nadezhnost' energeticheskikh sistem* [The reliability of power systems], Moscow, Vysshaya Shkola, 1984, 256 p.

16. Igumenshev V.A., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Yu.N., Panova E.A., Khlamova A.V., Tarasov V.M., Yagolnikova E.B., Nikolaev N.A., Zinoviev V.V. Patent 2012612069 Russian Federation. «Kompleks avtomatizirovannogo rezhimnogo analiza KATRAN 6.0» [Software "The complex of automated modal analysis KATRAN 6.0"]. Published in 2012, no.2, pp. 500-501.

17. Yuldasheva A.I., Malafeev A.V. Reliability Evaluation for Electric Power Supply Management, Proceedings of International Scientific Symposium "Electrical power engineering 2014", Varna, Bulgaria, 2014, pp.10-12.

18. Malafeev A.V., Yuldasheva A.I. *Uchet napravleniya potokov moshchnosti v zadache analiza strukturnoy nadezhnosti sistem elektrosnabzheniya* [Accounting for power flow direction in the task of analysis of structural reliability of power supply systems], *Izv. vuzov. Elektromekhanika* [Proceedings of the higher educational institutions. Electromechanics], 2015, no.2, pp.36-40.

19. Nepomnyashchii V. A. Ekonomicheskie poteri ot narusheniya elektrosnabzheniya [Economic loss from power failure] // Moscow: MPEI, 2010. – 187 p.

20. Mamontov A.N. *Povyshenie effektivnosti elektrosnabzheniya nepreryvnykh proizvodstv na osnove dinamicheskoy kompensatsii amplitudnykh iskazheniy napryazheniya* [Improving of the efficiency of power supply of interruptive production based on continuous dynamic compensation voltage amplitude distortion: PhD thesis], *Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet* [Lipetsk State Technical University], 2011, 19 p.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ FACTS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РОССИИ

В статье проанализированы основные проблемы энергосистемы России, отраженные в Стратегии развития энергетики РФ. Также рассмотрены поставленные задачи до 2030 года и освещены приоритетные направления научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Электроэнергетика». Для решения задачи повышения эффективности линий электропередачи рассмотрены различные варианты решения с применением ряда инструментов технологии гибких линий электропередачи на переменном токе FACTS. Проанализированы основные устройства FACTS, используемые в электрических сетях высокого напряжения: устройство продольной компенсации, усовершенствованные статические компенсаторы на базе управления источников направления типа СТАТКОМ, а также традиционные статические тиристорные компенсаторы.

Ключевые слова: проблемы электроэнергетики России, FACTS, устройства продольной компенсации, СТАТКОМ, статический тиристорный компенсатор.

ВВЕДЕНИЕ

Одними из главных стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики России до 2030 года являются: 1) энергетическая безопасность; 2) энергетическая эффективность экономики; 3) бюджетная эффективность энергетики; 4) экологическая безопасность энергетики.

Энергетическая безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности страны.

К числу основных проблем в сфере электроэнергетики в технологической части относятся: 1) дефицит генерирующих и сетевых мощностей в ряде регионов страны; 2) отсутствие электрической связи Сибирь - Урал - Центр с пропускной способностью, позволяющей эффективно использовать сибирские гидро- и топливные ресурсы, реализовать эффекты широтной протяженности Единой энергетической системы России и другие системные эффекты; 3) низкая энергетическая и экономическая эффективность отрасли (низкий коэффициент полезного действия большинства тепловых электростанций, высокие потери в электрических сетях, неоптимальная загрузка генерирующих мощностей в Единой энергетической системе России, в том числе наличие «запертых» мощностей).

Стратегией определены ряд ключевых задач, решение которых позволит достичь стратегических целей развития электроэнергетики России. Приведем некоторые из них: 1) сбалансированное развитие генерирующих и сетевых мощностей, обеспечивающих необходимый уровень надежности снабжения электроэнергией как страны в целом, так и отдельных ее регионов; 2) дальнейшее развитие Единой энергетической системы России, в том числе за счет присоединения и объединения изолированных энергосистем; 3) расширенное строительство и модернизация основных производственных фондов в электроэнергетике (электростанции, электрические сети) для обеспечения потребностей экономики и общества в электроэнергии; 4) обеспечение живучести, режимной надежности, безопасности и управляемости электроэнергетических систем, а также необходимого качества электроэнергии; 5) развитие малой энергетики в зоне децентрализованного энергоснабжения за счет повышения эффективности использования местных энергоресурсов, развития электросетевого хозяйства, сокращения объемов по-

требления завозимых светлых нефтепродуктов.

Основой для развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и проведения государственной энергетической политики является создание устойчивой национальной инновационной системы. Инновационная составляющая обеспечит ТЭК высокоэффективными технологиями и оборудованием отечественного производства, научно-техническими и инновационными решениями для поддержания и укрепления энергетической безопасности страны. Именно инновационная направленность развития топливно-энергетического комплекса создаст необходимые условия для прогрессирования процесса реализации новых научно-технических, технологических и организационно-экономических решений в рамках общегосударственного регулирования.

Из ряда приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Электроэнергетика» могут быть выделены следующие: 1) создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети – Smart Grids); 2) создание электрического транзита ультравысокого напряжения постоянного и переменного тока Сибирь - Урал - Европейская часть России; 3) уменьшение затрат на сооружение линий электропередачи на основе организационно-технических мероприятий; 4) внедрение технических решений с целью уменьшения потерь в сетях электроснабжения; 5) широкое развитие распределенной генерации; 6) развитие силовой электроники и устройств на их основе, прежде всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибкие системы передачи переменного тока – FACTS) [1,10,11].

Также необходимо отметить, что в свете недавних событий в мире, введенных ограничений для потребителей из России на рынки технологий и высокотехнологичных продуктов, стало актуально развитие отечественных технологий и производств во всех сферах. При выборе инструментов для реализации энергетической стратегии России и поставленных им задач необходимо учесть и фактор доступности тех или иных технологий и технических решений на отечественном рынке. Таким образом, Стратегия развития энергетики России определяет основные проблемы в сфере энер-

гетики, ключевые задачи топливно-энергетического комплекса и приоритетные направления развития отрасли в целом.

Рассматривая существующие проблемы и поставленные задачи в части электроэнергетики, необходимо учесть тот факт, что есть множество составляющих элементов сети электроснабжения, использующихся малоэффективно. Это и трансформаторы на подстанциях, и линии электропередачи. Повышая эффективность эксплуатации незагруженных трансформаторов и линий электропередачи можно оптимизировать инвестиционную нагрузку проектов в сторону уменьшения, инициированных для решения поставленных задач. Наиболее результативным на данном этапе развития может стать рассмотрение именно линий электропередачи на предмет повышения эффективности эксплуатации [12-14].

Для решения задачи повышения эффективности линии электропередачи можно рассмотреть различные варианты исполнения с применением ряда инструментов. Наиболее прогрессирующим по данному направлению является развитие силовой электроники и устройств на их основе. Разработка и внедрение устройств гибких систем передачи переменного тока – FACTS занимает лидирующие позиции по данному направлению.

Рассмотрим ряд устройств на базе технологии FACTS: 1) устройство продольной компенсации (УПК); 2) совершенствование статических компенсаторов на базе управления источников направления типа СТАТКОМ; 3) традиционные статические тиристорные компенсаторы (СТК).

УСТРОЙСТВО ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Устройства продольной компенсации являются традиционным техническим средством, применяемым для повышения пропускной способности, обеспечения эффективной загрузки и работы в целом линий. Данный вид компенсаторов широко применяется в электроэнергетике, в особенности в удаленных районах, где генерация удалена от потребителей, например в скандинавских странах, Канаде и США. В России устройства УПК наиболее оптимальны для применения на территориях МЭС Сибири, где есть крупные центры генерации, как ГЭС, а основные потребители удалены на значительные расстояния.

Устройства УПК предназначены для решения следующих задач: 1) повышение пропускной способности линий электропередачи; 2) улучшение уровня напряжения системы; 3) снижение потерь в электропередаче за счет оптимизации распределения активной мощности между параллельными линиями.

Продольная компенсация является наиболее экономичным способом увеличения пропускной способности внутрисистемных и межсистемных связей. При использовании УПК снимается проблема увеличения технических параметров линий электропередачи и межсистемных «сечений». Стоимость УПК составляет примерно 10% от стоимости новой линии электропередачи, имеющей эквивалентную пропускную способность. Таким образом, срок окупаемости УПК составляет всего несколько лет.

Особое значение приобретает использование

управляемых УПК (УУПК), в которых часть конденсаторной батареи шунтируется тиристорным регулятором, позволяющим плавно изменять ее эквивалентную емкость в зависимости от режима работы линии. При этом появляется возможность не только гибкого изменения сопротивления линии, но и демпфирования переходных процессов в энергосистемах, в том числе подавление субсинхронного резонанса, возникающего при взаимодействии электрических колебаний в сети с механическими колебаниями вращающихся частей турбогенераторов электрических станций.

Последней модификацией устройства УПК является компенсатор с тиристорным управлением TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) (рис. 1). Такое устройство позволяет плавно регулировать реактивное сопротивление ЛЭП в достаточно широких пределах. Основными преимуществами компенсатора TCSC являются: 1) непрерывное поддержание запланированной величины компенсации; 2) плавное управление потоками мощности в сети; 3) демпфирование колебаний с частотой 0,5-2 Гц.

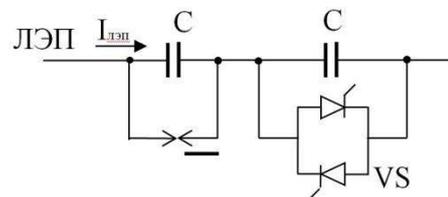


Рис. 1. Схема УПК с тиристорным управлением

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ КОМПЕНСАТОР ТИПА СТАТКОМ

Новые открытия в сфере полупроводниковой технологии позволили в начале 1990-х годов подготовить производство запираемых тиристоров GTO (Gate Turn-off Thyristor), IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor), GCT (Gate Commutated Thyristor), а также мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) с быстродействующими диодами. Эти полупроводниковые устройства легли в основу разработки компенсаторов типа СТАТКОМ, где используются управляемые преобразователи напряжения. Принцип работы компенсатора СТАТКОМ основан на формировании желаемых мгновенных значений напряжений и токов, потребляемых на входе устройства, за счет применения векторного управления и широтно-импульсной модуляции. В компенсаторах СТАТКОМ для линий электропередачи используется трехуровневая схема преобразователя напряжения. Три уровня напряжения (ноль, половина и полное) позволяют задать двухступенчатую основу синусоиды, что снижает мощность фильтрокомпенсирующих цепей. СТАТКОМ обладает высоким быстродействием, скорость перехода от максимальной выдачи реактивной мощности при ее управлении к максимальному потреблению составляет всего полпериода основной частоты.

На рис. 2 приведена двухуровневая схема СТАТКОМа, базирующаяся на применении шестифазной мостовой схемы Ларионова с широтно-импульсным управлением.

Статический компенсатор реактивной мощности

позволяет поддерживать требуемый уровень и качество напряжения, повысить пропускную способность линий электропередачи [2].

Известны и другие схемы выполнения СТАТКО-Ма. В частности, фирма Альстом использует многоуровневую схему, в которой при использовании однократных за период промышленной частоты импульсов удается сформировать ступенчатую э.д.с., достаточно близкую по форме к синусоиде. Этот принцип позволяет обойтись без использования фильтров, применить сравнительно дешевые вентили ГТО, добиться невыходящих потерь (0,8%).

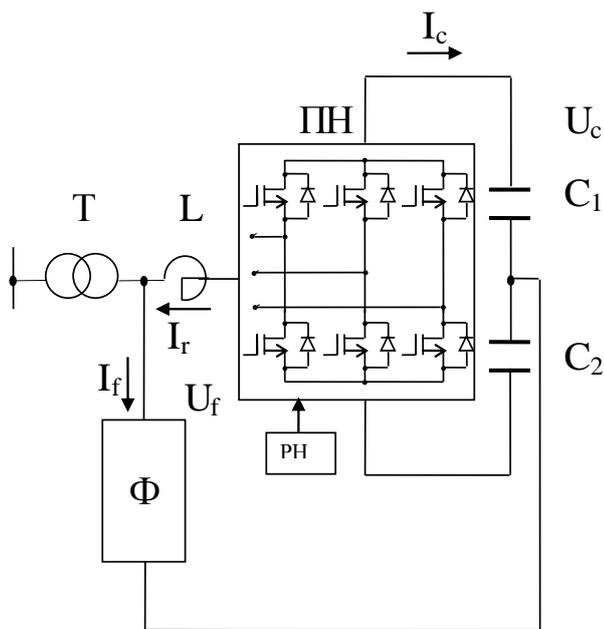


Рис. 2. Двухуровневая схема СТАТКОМа с ШИМ-управлением

В первом отечественном СТАТКОМ, созданном ОАО «НТЦ электроэнергетики» совместно с ООО «НПЦ Энерком-Сервис», применена система управления, релейной защиты и автоматики собственной разработки. Отличием отечественного СТАТКОМ от зарубежных аналогов является то, что в нем использованы только транзисторные вентили. Такой подход создает возможность более гибкого управления и дополнительного снижения потерь.

На базе этой технологии ООО «НПЦ Энерком-Сервис» в настоящее время разрабатывает оборудование вставки постоянного тока мощностью 200 МВт для создания несинхронной связи энергосистем Сибири и Востока, в настоящее время работающих раздельно [7, 15-17].

СТАТИЧЕСКИ ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР

Статический тиристорный компенсатор (СТК) разрабатывается в двух основных модификациях: 1) для промышленных установок типа дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и мощных электроприводов прокатных станов; 2) для высоковольтных линий электропередачи. Также есть специальное исполнение СТК для применения на тяговых подстанциях электрифицированных железных дорог.

Статические тиристорные компенсаторы применяются для решения задач того же направления, что и

управляемые реакторы, но основаны на иной элементной базе. Данные устройства более универсальны, т.к. помимо регулирования индуктивной мощности могут обеспечивать и регулирование реактивной мощности. Эффективность применения СТК, для линий электропередачи, определяется реализацией ими следующих функций: 1) повышение статической и динамической устойчивости передачи; 2) снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе; 3) стабилизация напряжения; 4) ограничение внутренних перенапряжений; 5) увеличение передаточной способности электропередачи из-за улучшения устойчивости при большой передаваемой мощности; 6) фильтрация токов высших гармоник [8, 18].

Основная схемная конфигурация СТК включает в себя набор фильтров высших гармоник – фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ), постоянно подключенных к сети или коммутируемых выключателями, и включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами реакторов, образующих тиристорно-реакторную группу (ТРГ) (рис. 3) [3].

Система управления и защиты СТК обеспечивает быструю компенсацию реактивной мощности нагрузки и поддержание регулируемого параметра в соответствии с заданной уставкой; выполняет защиту оборудования СТК; контроль и сигнализацию отказов. Также система управления может быть модифицирована под конкретные требования проекта. Минимальное время реакции системы регулирования СТК на изменение регулируемого параметра составляет 10 мс для нагрузок типа ДСП и 25-100 мс для общепромышленных нагрузок и сетевых подстанций.

При использовании СТК на линиях электропередачи высокого напряжения его эффективность тем больше, чем выше точка его подключения [5]. Оборудование СТК обычно выполняется на класс напряжения от 10 до 35 кВ и подключается либо через специальный понижающий трансформатор к шинам подстанции, либо к третичной обмотке подстанционного автотрансформатора [5,9].

Наибольший эффект имеет место при подключении СТК непосредственно к линии электропередачи или шинам высокого напряжения подстанции. При этом компенсатор может реализовывать ряд системных функций, связанных с режимами работы линии электропередачи [10, 11].

Тиристорно-реакторная группа является основным элементом СТК, регулирующим потребление реактивного тока компенсирующими реакторами и, соответственно, потребление реактивной мощности СТК. ТРГ состоит из тиристорных модулей, каждый из которых является независимым электрическим и конструктивным узлом. Широкий диапазон применяемых тиристоров позволяет оптимизировать конструкцию вентили для каждого конкретного применения.

Система управления и защиты СТК имеет повышенную помехозащищенность, так как обмен информацией, прием и выдача сигналов осуществляется по волоконно-оптическим световодам.

В системе управления реализованы: 1) контур регулирования по реактивному току/мощности нагрузки; 2) контур регулирования по реактивному току/мощности питающей линии; 3) контур поддержания

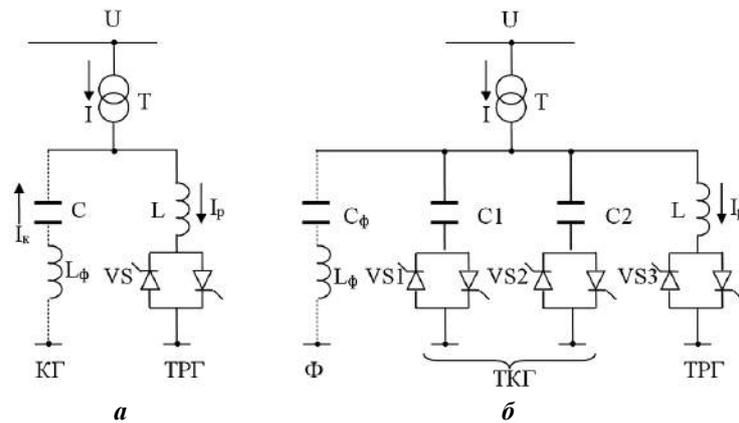


Рис. 3. Типовая схема СТК (ТРГ + ФКЦ) для линий электропередачи:
а – с базовой емкостью C; б – с дополнительными тиристорно-коммутируемыми конденсаторами

напряжения на шинах подстанции с возможностью задания требуемой величины статизма регулировочной характеристики.

Также в систему управления интегрирован интерфейс SCADA, позволяющий визуализировать процессы, происходящие на объекте, и облегчить дистанционное управление и просмотр текущих параметров СТК.

Статический тиристорный компенсатор мощностью 160 МВАр находится в постоянной эксплуатации на ПС 500 кВ «Заря» МЭС Сибири. С 1989 года ТРГ мощностью 160 МВАр на напряжение 33 кВ с системой водяного охлаждения эксплуатируется на Волжском трубном заводе в составе СТК, поставленного по заказу фирмы «Italimpianti». С 1991 г. ТРГ мощностью 109 МВАр на напряжение 33 кВ с системой водяного охлаждения эксплуатируется на Белорусском металлургическом заводе в составе СТК, поставленного по заказу фирмы «Voest Alpine» (Австрия). В 1999 г. были смонтированы и введены в эксплуатацию два СТК 10 кВ 7,5 МВАр для прокатного стана Молдавского металлургического завода. Специально для этого объекта были разработаны тиристорные вентили с воздушным охлаждением и новый шкаф управления, включающий в себя как систему автоматического управления СТК, так и световую систему управления и контроля тиристоров. В 2000 г. на ММЗ была произведена замена старой системы управления СТК на дублированный комплект принципиально новой системы управления, информация о которой приведена выше. С 2006 г. были введены в промышленную эксплуатацию 17 СТК общей мощностью 920 МВАр. В настоящее время идет монтаж оборудования 3 СТК мощностью 430 МВАр [6, 19-20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Загруженность линий электропередач на магистральных участках в среднем по России составляет 40-50% от номинальной пропускной способности. Пропускная способность в основном ограничивается устойчивостью передачи. Данный факт дает обоснованность применения различных устройств и методов укрепления устойчивости и повышения эффективности использования линий электропередач. Наиболее оптимальным на данное время является использование силовой электроники и устройств на их основе, прежде

всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибких систем передачи переменного тока – FACTS) и применение устройств на их основе (УПК, СТАТ-КОМ, СТК). Применение подобных устройств в России распространено не очень широко. В основных случаях для энергосистемы проекты по внедрению стартовали в начале уже XXI века, тогда как в мире устройства на основе силовой электроники применяются достаточно широко.

2. Применение устройств на базе технологии FACTS станет основой для создания сетей нового поколения – интеллектуальных сетей. Основой для построения технически и экономически эффективных транзитов мощности между крупными энергорайонами Сибири, Урала и Европейской части России, высвобождению «запертых» мощностей. Позволит более эффективно использовать линии электропередач, что в свою очередь на порядок облегчит инвестиционную нагрузку на проекты по увеличению присоединенной мощности к электросетям общего пользования; уменьшая транзит реактивной мощности по линиям, снизит потери в сетях электроснабжения. Также, повышая динамическую устойчивость энергосистемы в целом, создаст платформу для развития распределенной генерации как на основе традиционных генерирующих станций, так и на базе альтернативной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. Hingorani N.G., Gyugi L. Understanding FACTS. Concept and technology of Flexible AC Transmission Systems. IEEE Press book. 2000.
3. Mathur R.M. Static compensators for reactive power control: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Кочкин В.И. Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. М.: НИЦ ЭНАС, 2002. 247 с.
5. Николаев А.А., Тухватуллин М.М. Повышение эффективности ЛЭП на примере производственного отделения ООО «БашРЭС» Сибайских электрических сетей за счет применения статических тиристорных компенсаторов // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды III международной конференции: сборник статей. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т.1. 732 с.
6. Николаев А.А., Тухватуллин М.М. Исследование

динамических и статических режимов работы СТК для линий электропередач на математической модели // Сборник статей девятнадцатой ежегодной международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Москва: МЭИ, 2013. Т.1. 185 с.

7. Официальный сайт ОАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. Москва. Режим доступа: <http://fsk-ees.ru>, свободный. Загл. с экрана.

8. Использование статического тиристорного компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи для обеспечения устойчивости электроэнергетической системы и повышения надежности внутризаводского электроснабжения / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, В.С. Ивекеев, И.А. Ложкин, В.Е. Котышев, М.М. Тухватуллин // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2014. №1. С.59-69.

9. Корнилов Г.П. Применение регулируемых компенсирующих устройств для повышения эффективности ЛЭП на примере Сибайских РЭС ООО «БашРЭС» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.2. №70. С. 112-114.

10. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002. 248 с.: ил.

11. Корнилов Г.П., Федоров А.А., Клецкий Н.И. Выбор источников реактивной мощности на основе технико-экономических расчетов // *Промышленная энергетика*. 1979. №10. С.20-22.

12. Компенсирующие устройства в системах промышленного электроснабжения / Г.П. Корнилов, А. С. Карандаев, А.А. Николаев и др. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 235 с.

13. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, Л.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. М.: «Энергия», 1975. 136 с.: ил.

14. Федоров А.А., Корнилов Г.П. О применении компенсирующих устройств в системах электроснабжения с мощными нелинейными нагрузками // *Электричество*. 1980. №7. 64 с.

15. Корнилов Г.П. Разработка и исследование компенсирующих устройств для систем электроснабжения с вентильными преобразователями: дис. ... канд.техн.наук : 05.09.03 / Корнилов Геннадий Петрович. М., 1978. 235 с.

16. Особенности компенсации реактивной мощности на крупном металлургическом предприятии / А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, П.А. Пушкарев // *Промышленная энергетика*. 2010. № 12. С. 43-49.

17. Корнилов Г.П. Средства и перспективы управления реактивной мощностью крупного металлургического предприятия / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А.Ю., Коваленко, Е.А. Кузнецов // *Электротехника*. 2008. №15(148). С. 32-38.

18. Математическая модель статического компенсатора реактивной мощности / Т.Р. Храмшин, Г.П. Корнилов. А.А. Мурзинов, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин // *Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014*. Новосибирск, 2014. С. 418-425.

19. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 1999–01–01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 35 с.

20. Разработка фильтрокомпенсирующего устройства дуговой сталеплавильной печи / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, А.С. Зайцев, С.В. Скакун, Ф.Ф. Урманова // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. 2015. №5/6. С. 58-63/54-61.

INFORMATION IN ENGLISH

ANALYSIS OF THE MODERN FACTS DEVICES, USED FOR INCREASING THE FUNCTIONING EFFICIENCY OF RUSSIAN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Tukhvatullin M.M., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A., Urmanova F.F.

The article analyzes the main problems of the Russian Power System, reflected in the Russian Federation Energy Development Strategy. The tasks until 2030 year were reviewed and the priority areas of scientific progress in the electrical power and energy area were considered. The different ways of solution using a series of instruments of the flexible power lines technologies on the FACTS AC current were reviewed for solving the task of increasing the efficiency of the power lines. The main devices FACTS, which are using in a high voltage electrical power lines: a series compensator, an improved static condenser based on the control of the referral sources STATCOM type, and also a traditional static thyristor compensators, were analyzed.

Keywords: Russian electrical power and energy problems, FACTS, series compensators, STATCOM, static thyristor compensator.

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030* [Russia's Energy Strategy until 2030], *Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715-r* [№1715 from 13 November 2009].
2. Hingorani N.G., Gyugi L. *Understanding FACTS. Concept and technology of Flexible AC Transmission Systems*. IEEE Press book. 2000.
3. Mathur R.M. *Static compensators for reactive power control. Per. s angl. M.: Energoatomizdat* [Translate from English. Moscow: Energoatomizdat]. 1987, 160 p.

4. Kochkin V.I., Nechaev O.P. *Primenenie staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah energosistem i predpriyatii* [Application of static VAR compensator in electric networks of power and enterprises], Moscow: NC ENAS, 2002? 247 p.
5. Nikolaev A.A., Tukhvatullin M.M., *Povyshenie effektivnosti LEP na primere proizvodstvennogo otdeleniya ООО «BashRES» Sibayskikh elektricheskikh setey za schet primeneniya staticheskikh tiristornykh kompensatorov* [Improving the effectivity of the power lines on the example of the production department of "BashRES" Sibai electrical networks using the static thyristor compensators], *Elektroenergetika glazami molodezhi: nauchnye trudy III mezhdunarodnoy konferentsii: sbornik statey* [Electric and power industry in the eyes of youth: research works III International Conference], Yekaterinburg: UrFU, 2012, 732 p.
6. Nikolaev A.A., Tukhvatullin M.M. *Issledovanie dinami-cheskikh i staticheskikh rezhimov raboty STK dlya liniy elektroperedach na matematicheskoy modeli* [Research of dynamic and static STC modes for power lines using a mathematical model], *Sbornik statey devyatnadsatoy ezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskaya konferentsii «Radioelektronika, elektrotehnika i energetika»* [A collection of articles nineteenth annual international scientific conference " Radio electronics, electrical engineering and energy"], Moscow: MPEI, 2013, 183 p.
7. *OJSC «FNC UES»* [Mode of access] www.fsk-ees.ru. – Moscow. Header from the screen.
8. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Ivekeev V.S., Lozhkin

I.A., Kotyishev V.E., Tuhvatullin M.M. *Ispol'zovanie staticheskogo tiristornogo kompensatora sverh-moshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi dlya obespecheniya ustoychivosti elektroenergeticheskoy sistemy i povysheniya nadezhnosti vnutrizavodskogo elektrosnabzheniya* [Using of the static var compensator of the ultra-high power electric arc furnace for supporting of electrical power system's stability and increasing reliability of factory power supply], *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2014, no.1, pp.59-69.

9. Kornilov G.P. *Primenenie reguliruemyyh kompensiruyushchih ustroystv dlya povy-sheniya effektivnosti LEP na primere Sibayskih RES OOO «BashRES»* [Employment of controllable reactive power compensators for increasing the efficiency of power lines on the example of LLC "BashRES" Sibai], *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Actual problems of modern science, technology and education], Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, 2012, vol.20, no.70, pp.112-114.

10. Kochkin V.I., O.P.Nechaev. *Primenenie staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah energosistem i predpriyatii* [Application of static var compensator in electric networks of power systems and enterprises], Moscow, SC ENAS, 2002, 248p., I.

11. Kornilov G.P., A.A. Fedorov, N.I. *Kletsky Vychor istochnikov reaktivnoy moshchnosti na osnove tekhniko-ekonomicheskikh raschetov* [The choice of reactive power sources on the basis of technical and economic calculations], *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 1979, no.10, pp.20-22.

12. Kornilov G.P., A.S. Karandaev, A.A. Nikolaev *Kompensiruyushchie ustroystva v sistemah promyshlennogo elektrosnabzheniya* [Reactive power compensators in industrial power supply systems], Magnitogorsk, Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 235 p.

13. Venikov V.A., Zhukov L.A., Kartashev I.I. *Staticheskie istochniki reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah* [Static reactive power sources in electrical networks], Moscow, Energy, 1975, 136 p.: I.

14. Fedorov A.A., Kornilov G.P. *O primenenii kompensiruyushchih ustroystv v sistemah elektro-snabzheniya s moshchnymi nelineynymi nagruzkami* [About application of compensation devices in power systems with powerful non-linear loads], *Electricity*, 1980, no.7, 64 p.

15. Kornilov G.P. *Razrabotka i issledovanie kompensiruyushchih ustroystv dlya si-stem elektrosnabzheniya s ventil'nyimi preobrazovatelyami* [Development and research of reactive power compensators for power supply systems with the valve inverters], Dissertation ... PhD(Eng.), 05.09.03, Moscow, 1978, 235 p.

16. Karandaev A.S., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Pushkarev P.A. *Osobennosti kompensatsii reaktivnoy moshchnosti na krupnom metallurgicheskome predpriyatii* [Features of reactive power compensation in the largest metallurgical enterprise], *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 2010, no.12, pp. 43-49.

17. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Kovalenko A.J., Kuznetsov E.A. *Sredstva i perspektivy upravleniya reaktivnoy moshchnost'yu krupnogo metallurgicheskogo predpriyatiya* [Means and reactive power management perspective a large metallurgical enterprises]. *Elektrotehnika* [Electric equipment], 2008, no.15(148), pp. 32-38.

18. Hramshin T.R., Kornilov G.P., Murzikov A.A., Karandaev A.S., Hramshin V.R., *Matematicheskaya model' staticheskogo kompensatora reaktivnoy moshchnosti* [Mathematical model of static var compensator. Aktual'nye problemy elektron-nogo priborostroeniya APEP-2014, Actual problems of electronic instrument APEP 2014, Novosibirsk, 2014, pp. 418-425.

19. GOST 13109-97, *Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektro-snabzheniya obshchego naznacheniya* [Quality standards for electric power supply systems of the general purpose], 1999-01-01, Moscow, [Standards Publishing House], 1998, p. 35.

20. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Zaitsev A.S., Skakun S.V., Urmanova F.F. *Razrabotka fil'trokompensiruyushchego ustroystva dugovoy staleplavil'noy pechi* [Development of filter compensating device in electric arc steel-making furnace]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont* [Electric equipment: exploitation and repair], 2015, №5/6, pp. 58-63/54-61.

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 автоматики 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.

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 621.3

Панов А.Н., Мудрый А.П., Коробейников С.М., Цуприк Л.С., Гузей К.Е., Сапунов А.В.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ «B&R»

В статье рассмотрена реализация автоматизированной системы сбора, передачи, хранения, обработки и мониторинга технологических параметров компрессорной станции №6 ОАО «Магнитогорский Металлургический комбинат».

Ключевые слова: автоматизация, предприятие, система, контроллеры, оборудование, мониторинг, параметры.

ВВЕДЕНИЕ

Задача формирования единого информационного пространства для оперативной и обоснованной оценки текущей ситуации на современном производстве является крайне актуальной. Решение этой задачи на предприятиях полного цикла производства позволяет снизить риск возникновения информационных и организационных барьеров между управленческими и технологическими уровнями, уменьшить время на принятие оптимальных управленческих решений.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Создание единого информационного пространства невозможно без организации надежной системы сбора и обработки первичной информации и ее передачи на вышестоящие уровни управления и принятия решений. Однако надежность, долговечность и масштабируемость таких систем напрямую зависит от возможностей, заложенных на аппаратном уровне.

На сегодняшний день существует большое количество производителей контроллерного оборудования, которые предлагают надежные и проверенные решения для автоматизации в различных областях промышленности.

Компания ЗАО «КонсОМ СКС», являясь одним из ведущих системных интеграторов УрФО и обладая богатым опытом разработки и внедрения собственных решений по интеграции оборудования различных производителей, спроектировала и внедрила автоматизированную систему диспетчерского контроля технологических параметров и производственных показателей компрессорной станции №6 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Система представляет собой программно-технический комплекс, обеспечивающий интеграцию технологических параметров и производственных показателей с контроллера B&R и P3иA Seram на сервер с целью их последующей обработки (индикации отклонений контролируемых величин от допустимого диапазона значений), архивации и хранения (для ведения трендов); интеграцию оперативных и архивных данных технологических параметров и производственных показателей на АРМ (Автоматизированное Рабочее Место); отображение оперативной и архивной информации на АРМ; сигнализацию превышения допустимых значений параметров; выявление и регистрация событий и аварий в системе.

Для реализации системы сбора и передачи технологических параметров компрессорной станции в условиях кислородного цеха ОАО «ММК» специалиста-

ми инжиниринговой компании ЗАО «КонсОМ СКС» был выбран контроллер серии X20 производства компании «B&R» (Австрия) на базе младшей модели CPU X20CP1583, а также модули ввода/вывода X20DI4371 (4 канала дискретного ввода) и X20AI8321 (8 каналов аналогового ввода), представленные на рис. 1.



Рис. 1. Контроллер «B&R» с модулями

Контроллеры серии X20 выгодно отличаются от аналогов не только возможностью замены прикладного ПО проекта «на лету», как через привычное сетевое соединение Ethernet, так и с помощью стандартного USB флэш-накопителя, но и наличием встроенного OPC-сервера, что упрощает запуск проектов, их отладку и интеграцию системы с ПО верхнего уровня (нет необходимости в приобретении и развертывании OPC-сервера). Кроме того, модульная конструкция контроллера обеспечивает возможность расширения системы в соответствии с потребностями в дополнительных сигналах ввода-вывода, а за счёт поддержки модулями режима «горячей замены» минимизируется время восстановления работоспособности оборудования.

Также контроллер «X20CP1583» программируется с помощью специализированного программного обеспечения «B&R Automation Studio». «B&R Automation Studio» – это интегрированная среда программирования, содержащая инструменты для разработки всех фаз проекта. Контроллер, сервопривод, связь и визуализация – все это можно разработать и отладить в единой среде, что уменьшает время интеграции компонентов системы и эксплуатационные расходы.

Объект автоматизации - компрессор К-250, используемый на станции, предназначен для сжатия и перемещения атмосферного воздуха. В состав входит блок-компрессор. Блок объединяет основные функциональные части агрегата – компрессор, электродвигатель и воздухоохладитель, соединенные между собой патрубками. Система смазки агрегатов собрана в отдельном блоке, размещенном рядом с блоком компрессора на одном высотном уровне. Приводом компрессора служит электродвигатель переменного тока. Основные технические данные компрессора К-250, используемого на станции, представлены в табл. 1.

Основные технические показатели компрессора К-250

Наименование показателя	Значение
Производительность, м ³ /мин	255
Рабочий диапазон производительности с учетом регулирования	150 - 225
Начальное абсолютное давление, кгс/см	1,0
Конечное абсолютное давление, кгс/ см	9,0
Потребляемая мощность в рабочем диапазоне, кВт	1000 - 1445
Начальная температура, °С	20
Конечная температура, °С	40
Частота вращения ротора, об/мин	10935
Тип электродвигателя	СТД – 1600
Количество оборотов эл. двиг., об/мин	3000
Напряжение, кВ	6,0/10,0
Мощность эл.двиг., кВт	1600
Габаритные размеры агрегата включая двигатель, 1x bхh, m	8,2 x 6,3 x 4,3
Масса агрегата без двигателя, кг	15,5
Диаметр проходного сечения нагнетательного трубопровода, мм	200

Система мониторинга реализована инженерами ЗАО «КонсОМ СКС» с помощью 10 мнемосхем – одной общей, на которой отображаются технологические показатели всей компрессорной станции, и 9 мнемосхем состояния каждого из компрессоров. На общей мнемосхеме изображены все компрессоры, отражено цветом их состояние (работа/останов), а также давление, температура и расход воздуха по направлению к основным пользователям: сталеплавильный цех и листопрокатный цех №5 (рис. 2). На остальных мнемосхемах схематично изображены компрессоры и их основные показатели: температуры подшипниковых узлов, токи фаз, давление и температура в системе охлаждения и смазки, температура и давления воздуха до сжатия и после (рис. 3).

Все сигналы для мониторинга одного компрессора представлены в табл. 2

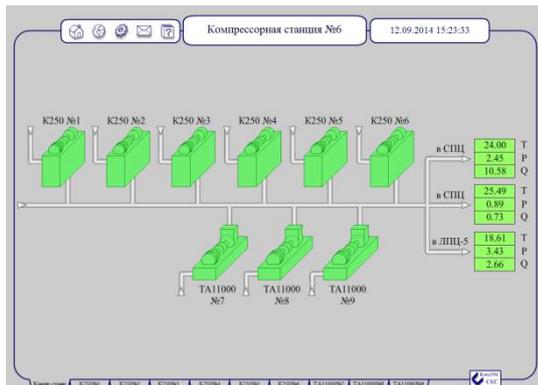


Рис. 2. Общая мнемосхема состояния всех компрессоров

Для сбора и отображения всех параметров компрессорной станции на программном уровне используется специализированный программный комплекс (СПК) «Парадигма» собственной разработки ЗАО «КонсОМ СКС». Можно выделить некоторые особенности данного СПК, которые выгодно отличают его от основных конкурентов:

1. Универсальность, подходит для любых задач по интеграции и хранению данных;
2. может использоваться для сбора, хранения, обработки, отображения и передачи данных;
3. легко масштабируется;
4. удаленный доступ через web-интерфейс;
5. применение Flash-технологии для визуализации;
6. отсутствие ограничений по количеству одновременно работающих пользователей;
7. ролевой принцип, позволяющий установить права доступа;
8. простой и удобный интерфейс.

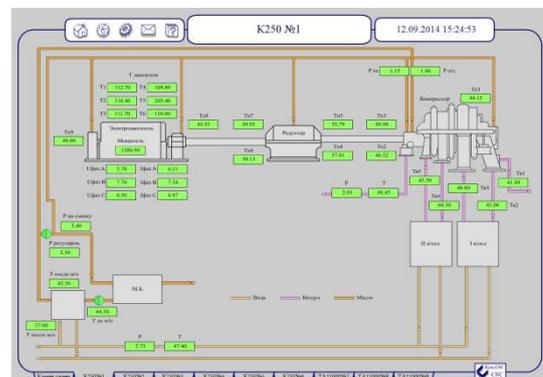


Рис. 3. Мнемосхема состояния компрессора К-250

Структурная схема информационных потоков в системе мониторинга представлена на рис. 4.

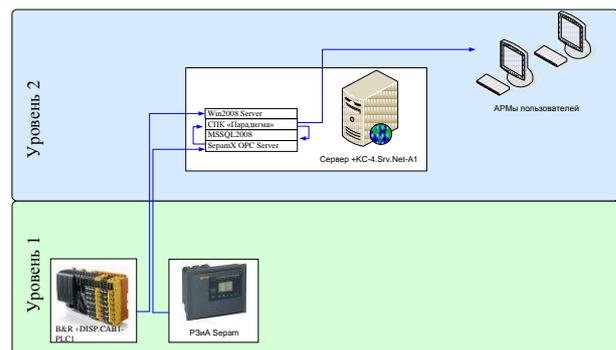


Рис. 4. Схема информационных потоков

Пример интегрируемых технологических параметров

Путь	Параметр	Дополнение	Тип	Ед. изм
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Воздухоагнетатель 1	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Воздухоагнетатель 2	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Воздухоагнетатель 3	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Воздухоагнетатель 4	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Воздухоагнетатель 5	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Температура	Домаслоклада	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Температура	Послемаслоклада 1	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Температура	Послемаслоклада 2	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура		F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	1	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	2	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	3	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	4	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	5	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Двигатель	Температура	6	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Температура	Послекомпрессора	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Давление	Послекомпрессора	F_FLOAT	МПа
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Компрессор	Давление		F_FLOAT	МПа
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Давление	Регулирование	F_FLOAT	МПа
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Давление	Смазка	F_FLOAT	МПа
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Маслоклад	Давление	ОУП	F_FLOAT	МПа
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	1	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	2	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	3	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	4	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	5	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	6	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	7	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	8	F_FLOAT	°С
ММК.КЦ.Компрессорная станция 6.К250.1.Подшипник	Температура	9	F_FLOAT	°С

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Система мониторинга компрессорной станции №6 на базе контроллерного оборудования В&R и специализированного программного комплекса «Парадигма» реализована и внедрена в эксплуатацию в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Были достигнуты следующие цели: уменьшилось время реакции на аварийные события, организована возможность доступа к системе удаленно в любое время, сформировано общее хранилище данных для последующей обработки и использования в сторонних системах при необходимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соснин О.М. Основы автоматизации технологиче-

ских процессов и производств. М.: Академия, 2007. 240 с.

2. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации. М.: Академия, 2007. 386 с.

3. BR-automation.com: Официальный сайт компании Bernecker & Rainer Industrie-Elektronik. Режим доступа: <http://www.br-automation.com/ru/perfection-in-automation/>, свободный.

4. Uralenergomash.ru: Официальный сайт компании «УралЭнергоМаш». Режим доступа <http://www.uralenergomash.ru/kompk250.php>, свободный.

5. Волщук Ю.Н., Доронин В.Ю., Макашов П.Л. Построение системы диспетчеризации и контроля технологических процессов как элемента управления промышленным предприятием. Режим доступа: <http://www.konsom.ru/wp-content/uploads/2012/09/11.pdf> свободный.

INFORMATION IN ENGLISH

AUTOMATED MONITORING SYSTEM OF COMPRESSOR STATION TECHNOLOGICAL PARAMETERS VIA B&R CONTROLLER EQUIPMENT

Panov A.N., Mudryi A.P., Korobeinikov S.M., Tsuprik L.S., Guzei K.E., Sapunov A.V.

The article describes an automated system implementation for the data acquisition, transmission, storage, processing and monitoring of technological parameters of the compressor station No. 6 of OJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works.

Keywords: automation, company, system, controllers, equipment, monitoring, options.

REFERENCES

1. Sosnin O.M. *Osnovy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv* [Basics of automation of technological processes and productions], Academy, 2007, 240 p.

2. Shandra B.V. *Tekhnicheskie sredstva avtomatizatsii* [Automation technical equipment], The Academy, 2007, 386 p.

3. BR-automation.com: *Ofitsial'nyy sayt kompanii Bernecker & Rainer Industrie-Elektronik* [Official site of Bernecker & Rainer Industrie-Elektronik], URL: <http://www.br-automation.com/ru/perfection-in-automation/>.

4. Uralenergomash.ru: *Ofitsial'nyy sayt kompanii «UralEnergomash»* [Official site "UralEnergomash."], URL: <http://www.uralenergomash.ru/kompk250.php>.

5. Volschukov Y.N., Doronin V.Y., Makashov P.L. *Postroenie sistemy dispetcherizatsii i kontrolya tekhnologicheskikh protsessov kak elementa upravleniya promyshlennym predpriyatiem* [Construction of the system dispatching and technological processes control as an element of management of industrial enterprise], URL: <http://www.konsom.ru/wp-content/uploads/2012/09/11.pdf>.

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378

Белусова И.Д.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ДЛЯ СФЕРЫ ИТ

В статье представлен анализ концептуального соответствия образовательных стандартов третьего поколения и профессиональных стандартов, а также особенности разработки образовательных программ на основе данных стандартов. Рассмотрен компетентностный подход в качестве инструмента согласования требований профессионального стандарта и результатов обучения.

Ключевые слова: образовательные стандарты, профессиональные стандарты, прикладная информатика, компетентностный подход, информационные системы, информационные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в российской системе образования осуществляется переход на двухуровневую (бакалавр, магистр) систему получения высшего образования. Эти уровни подразумевают отдельные государственные образовательные стандарты и самостоятельную итоговую аттестацию.

На сегодняшний момент выпускники вузов могут иметь квалификацию бакалавра, дипломированного специалиста или магистра по соответствующим направлениям подготовки (специальностям), причем соответствующие образовательные программы могут быть реализованы как непрерывно, так и ступенями [1, 19].

Отличительными признаками Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) являются:

1. Ярко выраженный компетентностный характер. При этом под компетенцией понимается динамичная совокупность знаний, умений, навыков, способностей, ценностей, необходимая для эффективной профессиональной и социальной деятельности и развития личности выпускников, которую они обязаны освоить и продемонстрировать после завершения части или всей образовательной программы.
2. Общность фундаментальной части образовательных программ бакалавра, специалиста и магистра.
3. Обоснование требований к результатам освоения образовательных программ (результатов образования) в виде компетенций, подразделяемых на общие (универсальные) и профессиональные (предметно-специализированные).
4. Отсутствие компонентной структуры (деления дисциплин на федеральные, национально-региональные, вузовские) с одновременным расширением академических свобод высших учебных заведений в части разработки основных образовательных программ;
5. Установление новой формы исчисления трудоемкости учебных занятий в виде зачетных единиц вместо часовых эквивалентов (1 зачетная единица = 36 уч. часов).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОГРАММ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Новые ФГОС, для различных направлений подго-

товки, позволяют более детально представить составляющие компетентности выпускника вуза. Данный документ содержит следующие характеристики и требования: область применения данного ФГОС; характеристику направления подготовки; характеристику профессиональной деятельности; требования к результатам освоения основных образовательных программ; требования к структуре ООП; требования к условиям реализации ООП; требования к оценке качества освоения ООП.

В ФГОС-3 ВПО компетенции подразделяются на группы: общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные, соответствующие виду профессиональной деятельности. Общекультурные компетенции являются переносимыми и менее жестко привязанными к объекту и предмету труда. Профессиональные компетенции отражают профессиональную квалификацию и различаются для разных дисциплин (направлений, специальностей подготовки) [6-8, 18].

Компетентностная модель обучения, реализуемая в рамках ФГОС ВПО, организует образовательный процесс, нацеленный на формирование заданного перечня компетенций выпускника, которые должны учитывать требования, выдвигаемые со стороны работодателей и которые постоянно изменяются в условиях рыночной экономики.

Приоритетным направлением в сфере образования обозначено приведение содержания и структуры профессиональной подготовки кадров в соответствие с современными потребностями рынка труда и повышение доступности качественных образовательных услуг [19].

Развитию эффективного и гибкого рынка квалифицированного труда будут способствовать актуализация квалификационных требований к работникам с учетом современных требований, предъявляемых рынком труда, в том числе путем разработки 800 профессиональных стандартов по основным профессиям; создание базового методического центра профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации рабочих кадров и др.

Координацию разработки профессиональных стандартов в России осуществляет Минтруд России. Проекты профессиональных стандартов разрабатываются объединениями работодателей, работодателями, профессиональными сообществами, саморегулируемыми организациями и иными некоммерческими орга-

низациями с участием образовательных организаций профессионального образования и других заинтересованных организаций.

Проект Федерального государственного образовательного стандарта 3-го поколения по направлению «Прикладная информатика» разрабатывался параллельно с профессиональным стандартом специалиста по информационным системам. Экспертизу ФГОСа осуществляли специалисты предприятий и организаций, работающие в сфере информационных технологий. Большую помощь в разработке проекта ФГОС 3-го поколения по направлению «Прикладная информатика» оказали ведущие специалисты компании «ИС», которые помогли сформулировать основные профессиональные компетенции и требования к образовательным программам.

Поскольку компании отрасли информационных технологий (ИТ) сталкиваются с дефицитом кадров, заинтересованы в высоком уровне подготовки специалистов в данной области, они должны быть системными участниками процесса разработки образовательных программ. По данным некоммерческого партнерства «Руссофт», в 2012 году менее 10% российских компаний оценили работу системы образования хорошо, остальные или не удовлетворены ее работой, или имеют к ней серьезные замечания. Более половины принятых на работу выпускников российских образовательных организаций высшего образования приходится доучивать на рабочем месте для того, чтобы выработать у них необходимые для профессии навыки. Большинство крупных компаний отрасли информационных технологий проводит обучение специалистов своими силами, инвестируя средства, в том числе, в базовую практическую подготовку персонала.

Очевидно, выигрышными в данной ситуации становятся направления подготовки, ориентированные на сферу информационных технологий. В частности, их стремительное развитие в направлении совершенствования процессов разработки, внедрения и сопровождения автоматизированных систем все больше определяет функционирование любого предприятия в целом и повышает значимость формирования требуемых компетенций выпускника по образовательной программе 230700.62(65) «Прикладная информатика» как ИТ-специалиста в области информационных систем. Указанная профессия входит в перечень девяти самых востребованных в области ИТ, по которым разработаны профессиональные стандарты.

Важно то, что акцент в деятельности такого рода специалистов делается на информации (а не на системах информационных технологий), которые рассматриваются в качестве инструментов, позволяющих производить, обрабатывать, распространять необходимую информацию, а также на бизнес-процессах, реализуемых на предприятии с использованием ИТ. Такие специалисты должны быть компетентны в интеграции ИТ-решений с бизнес-процессами для достижения стратегических целей предприятия (корпоративных целей). По существу специалисты в области информационных систем являются связующим звеном между техническими специалистами и управленцами. Полный перечень видов трудовой деятельности, определяемый профессиональным стандартом для специалиста по

информационным системам, должен периодически обновляться и служить ориентиром для разработки университетами различного рода практико-ориентированных занятий, включая лабораторные, проектные и курсовые работы, учебные и производственные практики и т. п. [3, 9, 10, 16].

Кроме того, актуальной в этом направлении является проблема коммуникативной и межличностной «неграмотности» студентов и состоявшихся бакалавров и магистров, недостаточная подготовка их в вопросах взаимодействия, налаживания контакта, бесконфликтного общения, «считывания» необходимой для исследования предметной области информации с экспертов и пр. Полагаем решение данной проблемы будет способствовать появлению новой тенденции в ИТ-образовании – повышению роли коммуникативных компетенций в становлении и развитии профессионалов ИТ-индустрии [4, 5, 11, 12]. При этом формирование той или иной компетенции, согласно ФГОС ВПО третьего поколения, происходит в целом ряде дисциплин, в рамках каждой приобретая специфическую окраску. В частности, профессия «специалист по информационным системам» предполагает высокую универсальность практического специалиста, который должен понимать экономику и организацию бизнес-процессов, уметь проектировать программировать и обеспечивать эксплуатацию готовых систем автоматизации на конкретных предприятиях, и поэтому является одной из наиболее востребованных профессий на отечественном рынке труда [2, 13, 14].

В этом плане направление подготовки кадров высшей квалификации «Прикладная информатика» обеспечивает формирование таких ключевых компетенций специалиста по информационным системам, как:

- проведение системного анализа прикладной области, формулирование требований к автоматизации и информатизации решения прикладных задач и их реализации с помощью специфических для этой области информационно-коммуникационных технологий;
- управление информационными ресурсами и знаниями для информатизации предприятий и организаций;
- проектная, организационно-управленческая, производственно-технологическая и аналитическая работа на различных стадиях жизненного цикла создания и эксплуатации информационной системы;
- реализация перечисленных видов деятельности как в организациях, разрабатывающих информационно-коммуникационные технологии, так и в организациях, их внедряющих и эксплуатирующих [18].

Выпускник высшего учебного заведения по направлению «Прикладная информатика» способен решать широкий круг задач создания, внедрения, сопровождения и эксплуатации информационных систем в различных прикладных областях, реализуя связующие и интегрирующие функции во взаимодействии заказчиков автоматизации обработки информации и инженерного персонала, решающего технические задачи. При этом бакалавры прикладной информатики в большей степени ориентированы на проектно-технологическую работу, а магистры – на организационно-управленческую, аналитическую и исследовательскую деятельность [15, 17]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, повышение ориентации образования на практические нужды отрасли ИТ – одна из важнейших задач учебных заведений в настоящее время. Перспективным направлением является взаимодействие ведущих образовательных организаций высшего образования и компаний, работающих в области информационных технологий, как по вопросам кадровой политики, так и в части научной деятельности.

Профессиональные стандарты направлены на решение одной из центральных задач в области проектирования компетентностно-ориентированных вузовских основных образовательных программ – обеспечение системного согласования требований к результатам ее освоения и содержания образования, обеспечивающего достижение этих требований.

Определение результатов обучения через компетенции позволяет разработать более точную и диагностически выверенную систему измерителей уровня профессиональной компетентности будущего специалиста на всех этапах его подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. European framework for ICT Professionals in all industry sectors. Режим доступа: <http://www.ecompetences.eu/>.
2. Баженов Р.И. О методике преподавания дисциплины «Управление проектами информационных систем» // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 3 (35). С. 55. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/03/32980>.
3. 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.
4. Белоусова И.Д. Введение информационных технологий в процесс обучения студентов вуза: монография. Магнитогорск, 2009, 141 с.
5. Белоусова И.Д. Информационный менеджмент как концепция управления // Сборник научных трудов Sworld. 2010. Т. 9. № 4. С. 5-6.
6. Белоусова И.Д., Брылева А.С. Модель методики преподавания курса «Информационные системы и технологии» бакалаврам прикладной информатики // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т.27. №4. С.74-77.
7. Белоусова И.Д. Проектирование электронного учебно-методического комплекса с использованием компетентностного подхода // Новые информационные технологии в образовании: материалы междунар. науч.-практ. конф., Рос-

сийский государственный профессионально-педагогический университет. Екатеринбург, 2013. С.338-340.

8. Белоусова И.Д. Профессиональные стандарты в сфере обучения ИТ-специалистов // Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 марта 2015 г. Тамбов, 2015. С.20-21.

9. 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.

10. Курзаева Л.В., Савва Л.И. Организационно-педагогические условия развития конкурентоспособности будущих ИТ-специалистов // Сибирский педагогический журнал. Новосибирск, 2008. №7. С.53-63

11. Мовчан И.Н. Инновационные подходы в преподавании информатики в вузе // Современные научные исследования и инновации. 2014. №5-2(37). С.45.

12. Мовчан И.Н. К вопросу об использовании технологий дистанционного обучения в вузе // Современные научные исследования и инновации. 2014. №9-2(41). С.29-33.

13. Мовчан И.Н. Некоторые аспекты информационной подготовки студентов вуза // Сборник научных трудов Sworld. 2008. Т.18. № 1. С.34-36.

14. Мовчан И.Н. Особенности формирования единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения // Новые информационные технологии в образовании: материалы VII международной научно-практической конференции / Российский государственный профессионально-педагогический университет. Екатеринбург, 2014. С.347-350.

15. Никитин В.В. Информационно-методическое обеспечение формирования перечня направлений и специальностей в области информационно-коммуникационных технологий. М., 2006. 272 с.

16. Профессиональный стандарт «Специалист по информационным системам». Режим доступа: <http://profstandart.rosmintrud.ru/web/ps887727>.

17. Тельнов Ю.Ф. Разработка Федерального государственного образовательного стандарта 3-го поколения по направлению «Прикладная информатика» на основе профессионального стандарта «Специалист по информационным системам».

18. ФГОС ВПО по направлению подготовки 230700 «Прикладная информатика» от 22.12.2009 г. Режим доступа: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm783-1.pdf.

19. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации», 2012. Режим доступа: <http://fgosvpo.ru/uploadfiles/npo/20130105131426.pdf/>.

INFORMATION IN ENGLISH

THE IMPLEMENTATION OF COMPETENCE-BASED APPROACH IN THE PROCESS OF PROFESSIONAL AND EDUCATIONAL STANDARDS DEVELOPMENT FOR THE IT SECTOR

Belousova I.D.

The article presents an analysis of the conceptual matching between the educational standards of the third generation and professional standards, and especially the features of development the educational programs based on these standards. Competence approach as a tool for coordination of the requirements of the professional standard and education results.

Keywords: educational standards, professional standards, applied computer science, competence approach, information systems, information technology.

REFERENCES

1. European framework for ICT Professionals in all industry sectors. URL: <http://www.ecompetences.eu/>.
2. Bazhenov R.I. *O metodike prepodavaniya distsipliny «Upravlenie proektami informatsionnyh sistem»* [About the method of teaching the discipline "Project Management in Information Systems"], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovations], 2014, no.3(35). pp.55. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/03/32980>.
3. Belousova I.D. *Bazovyyiy instrumentariy razrabotki osnovnyih obrazovatelnyih programm v paradigme kompetentnosti*

nogo podhoda (na primere informatsionnykh sistem) [Basic development tool for developing basic educational programs in the paradigm of competence-based approach (for example, Information Systems)], *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education], 2013, no.10. pp.12-15.

4. Belousova I.D. *Vvedenie informatsionnykh tekhnologiy v protsess obucheniya studentov vuza* [The introduction of information technologies into the learning process of students of higher educational institution], Magnitogorsk, 2009, 141 p.

5. Belousova I.D. *Informatsionnyy menedzhment kak kontseptsiya upravleniya* [Information management as the concept of management], *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Collection of scientific works Sworld], T.9, 2010, no.4, pp. 5-6.

6. Belousova I.D., Brileva A.S. *Model metodiki prepodavaniya kursa «Informatsionnyye sistemy i tekhologii» bakalavram prikladnoy informatiki* [Model of methods of teaching the course "Information Systems and Technologies" to the bachelors of Applied Computer Science], *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Journal of scientific papers Sworld], 2013, T.27, no.4, pp. 74-77.

7. Belousova I.D. *Proektirovaniye elektronnoy uchebno-metodicheskogo kompleksa s ispolzovaniem kompetentnostnogo podhoda* [Design of electronic educational complex with the competence based approach], *Novye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [New Information Technologies in Education: Proceedings of the international scientific and practical conference], Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, 2013, pp. 338-340.

8. Belousova I.D. *Professionalnyye standarty v sfere obucheniya IT-spetsialistov* [Professional standards in the field of IT professionals training], *Sovremennoye obshchestvo, obrazovanie i nauka: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern society, education and science: a collection of scientific articles using the materials of the International scientific and practical conference], 2015, Mr. Tambov, 2015, pp. 20-21.

9. Kurzaeva L.V., Ovchinnikov I.G., Belousova I.D. *K voprosu o formirovaniy trebovaniy k rezultatam obucheniya IT-spetsialistov v sisteme nepreryivnogo professionalnogo obrazovaniya* [To the question of formation the requirements for the educational results of IT specialists in the system of continuing professional education], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no.4, pp.174.

10. Kurzaeva L.V., Savva L.I. *Organizatsionno-pedagogicheskie usloviya razvitiya konkurentosposobnosti buduschih IT-spetsialistov* [Organizational and pedagogical conditions of competency developmen of the future IT professionals], *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal* [Siberian Pedagogical Journal], Novosibirsk, 2008, no.7, pp. 53-63.

11. Movchan I.N. *Innovatsionnyye podhody v prepodavanii informatiki v vuze* [Innovative approaches in the teaching of computer science at the university], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovation], 2014, no.5-2(37), pp.45.

12. Movchan I.N. *K voprosu ob ispolzovanii tekhnologiy distantsionnogo obucheniya v vuze* [To a question about using a distance learning technologies at the university], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovation], 2014, no.9-2(41), pp. 29-33.

13. Movchan I.N. *Nekotoryye aspekty informatsionnoy podgotovki studentov vuza* [Several aspects of informational preparation of the students of the university], *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2008, T.18, no.1, pp. 34-36.

14. Movchan I.N. *Osobennosti formirovaniya edinoy informatsionno-obrazovatelnoy sredy obrazovatelnoy uchrezhdeniya* [Features of formation of a single information-educational environment of educational institution], *Novye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New Information Technologies in Education Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference], Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, 2014, pp.347-350.

15. Nikitin V.V. *Informatsionno-metodicheskoe obespechenie formirovaniya perechnya napravleniy i spetsialnostey v oblasti informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy* [Information and methodical support of the formation of the list of areas and specialties in the field of information and communication technology], Moscow, 2006, 272 p.

16. *Professionalnyy standart «Spetsialist po informatsionnyim sistemam»* [Professional standards "specialist of information systems"], URL: <http://profstandart.rosmintrud.ru/web/ps887727>.

17. Telnov Y.F. *Razrabotka Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatelnoogo standarta 3-go pokoleniya po napravleniyu «Prikladnaya informatika» na osnove professionalnogo standarta «Spetsialist po informatsionnyim sistemam»* [Development of the Federal State Educational Standard of the 3rd generation of "Applied Informatics" on the basis of professional standards "specialist of information systems"].

18. *FGOS VPO po napravleniyu podgotovki 230700 «Prikladnaya informatika»* [FSEF HPE in the direction 230700 "Applied Informatics"] of 22.12.2009, URL: http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm783-1.pdf.

19. *Federalnyy zakon «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [The Federal Law "About Education in the Russian Federation"], 2012, URL: <http://fgosvpo.ru/uploadfiles/npo/20130105131426.pdf/>.

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

В статье рассмотрены особенности формирования единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения, описана универсальная модель информационно-образовательной среды образовательного учреждения. Одной из приоритетных задач модернизации российского образования является информатизация образования, главное условие которой – создание единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения. Качественно организованная информационно-образовательная среда образовательного учреждения позволяет создать условия для повышения качества образования, обеспечить эффективное использование образовательных интернет-ресурсов, организовать оперативное информационно-коммуникативное взаимодействие всех участников образовательного процесса.

Ключевые слова: информационно-образовательная среда, информационные технологии, новые образовательные технологии, компетенции, ИКТ-компетентность.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значение информационно-образовательной среды образовательного учреждения на образовательный процесс и его результаты значительно возросло. Это явилось следствием как внешних социально-экономических, так и внутренних условий сферы образования. Основной целью информационно-образовательной среды образовательного учреждения является обеспечение соответствия системы образования новому информационному обществу.

Повсеместное внедрение информационных процессов во все сферы жизнедеятельности требует разработки новой модели современной системы образования, на основе использования новых информационных технологий. Современное состояние образования в купе с тенденциями развития общества требуют новых подходов к развитию образовательной среды. Одной из приоритетных задач модернизации российского образования является информатизация образования, главное условие которой – создание единой информационно-образовательной среды.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Информатизация образования открывает новые возможности и перспективы развития для всей системы образования в целом. Использование информационных и коммуникационных технологий в системе образования изменяет дидактические средства, методы и формы обучения, влияет на педагогические технологии, тем самым преобразуя традиционную образовательную среду в качественно новую – информационно-образовательную среду. Вопросы внедрения информационных технологий в образовательный процесс рассмотрены в работах А.М. Агдавлетовой [2], Р.И. Баженова [1], И.Д. Белоусовой [3-5, 7], И.Ю. Ефимовой [8], И.Н. Мовчан [10, 11, 13, 14], Г.Н. Чусавитиной [18, 19].

Под информационно-образовательной средой (ИОС) мы понимаем совокупность условий, реализуемых на базе информационных и коммуникационных технологий, направленных на осуществление образовательной деятельности, способствующей формированию профессионально значимых и социально важных качеств личности в условиях информатизации общества. Проблемам формирования единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения посвящены работы И.Д. Белоусовой [6], Ю.Г. Коротенкова [9], И.Н. Мовчан [12], Е.Н. Остроумовой [16].

К особенностям, характеризующим информационно-образовательную среду, относятся:

- интеграция информационных и коммуникационных технологий;
- развитие новых технологий обработки информации;
- использование в образовательном процессе сетевых ресурсов;
- использование современных средств, методов и форм обучения [12].

Организация педагогической деятельности в условиях информационно-образовательной среды предполагает соответствующие изменения и во взаимодействии между субъектами образовательного процесса: обучающимися, педагогами, администрацией образовательного учреждения, родителями. Изменяются цели, методы, средства, связанные с распространением новых способов работы с информацией, современными средствами коммуникации, совершенствуются традиционные дидактические средства и появляются новые, в частности цифровые, образовательные ресурсы [9].

Информационно-образовательная среда образовательного учреждения должна включать в себя весь комплекс информационных образовательных ресурсов: цифровые образовательные ресурсы, компьютеры и иное оборудование, коммуникационные каналы связи, систему современных педагогических технологий, обеспечивающих обучение в современной информационно-образовательной среде [15].

Современная информационно-образовательная среда образовательного учреждения обеспечивает:

- информационно-методическую поддержку образовательного процесса;
- планирование образовательного процесса и его ресурсного обеспечения;
- мониторинг хода и результатов образовательного процесса;
- современные процедуры создания, поиска, сбора, анализа, обработки, хранения и представления информации;
- дистанционное взаимодействие всех участников образовательного процесса.

Особые требования к информационно-образовательной среде образовательных учреждений предъявляются при реализации образовательных программ с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, при этом должны быть созданы условия для функционирования электронной информационно-образовательной среды,

включающей в себя электронные информационные ресурсы, электронные образовательные ресурсы, совокупность информационных технологий, телекоммуникационных технологий, соответствующих технологических средств и обеспечивающей освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме независимо от места нахождения обучающихся [17].

Появление в образовательном учреждении информационно-образовательной среды предъявляет качественно новые требования к информационной компетентности преподавателей. Эффективное использование ИОС предполагает повышение информационной культуры и ИКТ компетентности всех сотрудников образовательного учреждения в решении профессиональных задач с применением ИКТ. Главная задача любого педагога образовательного учреждения – освоить ИОС как пространство, в котором осуществляется его профессиональная педагогическая деятельность, вписать в ИОС свою собственную педагогическую деятельность, применяя ее компоненты и вступая в информационно-профессиональное взаимодействие со всеми участниками образовательного процесса. В связи с этим подготовка преподавателей, способных самостоятельно ставить и решать профессиональные задачи, готовых адаптироваться к условиям быстро меняющегося информационного общества, является актуальным вопросом современного этапа модернизации российского педагогического образования.

Уровень информационной подготовки современного специалиста становится все более важным фактором, который определяет его успехи в области своей профессиональной деятельности. Именно поэтому система образования и повышения квалификации должна уделять информационной подготовке специалистов первостепенное значение. В современных условиях эта подготовка уже не может ограничиваться только компьютерной грамотностью, т.е. простейшими знаниями об устройстве ПК и элементарными навыками в использовании персональной вычислительной техники, теперь необходима качественно иная информационная подготовка.

ИОС образовательного учреждения должна перевести на новый технологический уровень все информационные процессы, проходящие в образовательном учреждении, для чего необходима полная интеграция ИКТ в педагогическую деятельность образовательного учреждения в целом. Качественная организация ИОС, ее ресурсно-технологической базы и грамотное их использование в учебном процессе позволяет:

- создать условия для развития личности и повышения качества образования за счет развития ее учебной мотивации, образовательной и предметной компетентности в процессе взаимодействия с компонентами ИОС;
- обеспечить эффективное использование ресурсов Интернет образовательного применения;
- организовать оперативное информационно-коммуникативное взаимодействие всех участников образовательного процесса;
- на новом уровне осуществить дифференциацию обучения;
- повысить мотивацию обучения;
- обучать современным способам самостоятельного получения знаний.

Это, безусловно, создает условия для достижения нового качества образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под информационно-образовательной средой образовательного учреждения мы понимаем совокупность всех условий, реализуемых на базе информационных и коммуникационных технологий, которые направлены на осуществление образовательной деятельности, способствующей формированию профессионально значимых и социально важных качеств личности в условиях информатизации общества.

Главной задачей всех участников образовательного процесса является освоение информационно-образовательной среды своего образовательного учреждения как пространства, в котором осуществляется его профессиональная педагогическая деятельность. Преподаватели должны вписать в информационно-образовательную среду образовательного учреждения свою собственную педагогическую деятельность, применяя, по мере необходимости, ее компоненты и вступая в информационно-профессиональное взаимодействие с коллегами, обучающимися, администрацией и родителями. Именно поэтому уровень информационной подготовки всех участников образовательного процесса становится все более важным фактором, определяющим его успехи в области профессиональной деятельности.

При этом информационно-образовательная среда образовательного учреждения легко впишется в информационные среды более высокого уровня, единую информационно-образовательную среду региона и страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bazhenov R.I., Luchaninov D.V. Use of blended learning elements for formation of a humanitarian student's creative initiative at learning modern information technologies // *Life Science Journal*. 2014. Т.11. №11s. С.371-374.
2. Агдвалетова А.М. О методике преподавания дисциплины «Информационные системы и технологии» // *Гуманитарные научные исследования*. 2015. №3(43). С.67-69.
3. Белоусова И.Д. Анализ принципов внедрения информационных технологий в процесс обучения студентов вуза // *Сборник научных трудов Sworld*. 2007. Т.7. №1. С.30-34.
4. Белоусова И.Д. Введение информационных технологий в процесс обучения студентов вуза: монография. Магнитогорск, 2009. 141 с.
5. Белоусова И.Д. Диагностика внедрения информационных технологий в процесс обучения студентов вуза // *Сборник научных трудов Sworld*. 2008. Т.18. №1. С.25-28.
6. Белоусова И.Д. Особенности информационно-технологического обеспечения вуза // *Новые информационные технологии в образовании: материалы VII международной научно-практической конференции / Российский государственный профессионально-педагогический университет*. Екатеринбург, 2014. С.299-302.
7. Белоусова И.Д. Дидактические условия внедрения информационных технологий в процесс обучения студентов вуза : дис. ... канд. пед. наук / Белоусова Ирина Дмитриевна; Магнитогорский ГУ. Магнитогорск, 2006. 186 с.
8. Ефимова И.Ю. Использование информационных технологий для осуществления межпредметных связей // *Сборник научных трудов Sworld*. 2013. Т.27. №4. С.53-56.
9. Коротенков Ю.Г. Информационная образовательная среда основной школы. М.: Академия АйТи, 2011. 152 с.

10. Мовчан И.Н. Некоторые аспекты информационной подготовки студентов вуза // Сборник научных трудов Sworld. 2008. Т.18. №1. С.34-36.

11. Мовчан И.Н. Некоторые аспекты использования современных технологий дистанционного обучения в вузе // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т.27. №4. С.77-80.

12. Мовчан И.Н. Особенности формирования единой информационно-образовательной среды образовательного учреждения // Новые информационные технологии в образовании: материалы VII международной научно-практической конференции. Российский государственный профессионально-педагогический университет. Екатеринбург. 2014. С.347-350.

13. Мовчан И.Н. Педагогический контроль информационной деятельности студента вуза // Сборник научных трудов Sworld. 2009. Т.18. №4. С.30-32.

14. Мовчан И.Н. Структура и содержание информационной деятельности студентов вуза // Информатика и образование, 2009, №6. С. 112-114.

15. Мовчан И.Н. Цифровые образовательные ресурсы:

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

16. Остроумова Е.Н. Информационно-образовательная среда вуза как фактор профессионально-личностного саморазвития будущего специалиста // Фундаментальные исследования. 2011. №4. С.37-40.

17. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации», 2012. Режим доступа: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/npo/20130105131426.pdf>.

18. 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.

19. Чусавитина Г.Н. Организационно-педагогические условия эффективного формирования конкурентноспособности будущих ИТ-специалистов в процессе обучения в вузе / Г.Н. Чусавитина // Новые информационные технологии в образовании. Материалы Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2012. С.521-524.

INFORMATION IN ENGLISH

INFORMATIONAL AND EDUCATION ENVIRONMENT OF EDUCATIONAL INSTITUTION

Movchan I.N.

The features of formation of a single information-educational environment of educational institution and of the universal model of informational and educational environment of educational institution were described in the article. One of the priority tasks of Russian education modernization is the computerization of education, and the main condition is the creation of a single informational and educational environment of educational institution. Qualitatively organized informational and educational environment of educational institution allows creating the conditions for improving the quality of education, ensuring the effective using of educational Internet resources and organizing operational information and communicative interaction of all participants in the educational process.

Keywords: informational and educational environment, information technology, new educational technologies, competencies, ICT competencies.

REFERENCES

1. Bazhenov R.I., Luchaninov D.V. Use of blended learning elements for formation of a humanitarian student's creative initiative at learning modern information technologies, *Life Science Journal*, 2014, T.11, no.11s, pp.371-374.

2. Agdavletova A.M. *O metodike prepodavaniya discipliny "Informacionnye sistemy i-tehnologii"* [About the method of teaching the discipline "Information systems and technology"], *Gumanitarnye nauchnye issledovaniya* [Humanitarian scientific research], 2015, no.3(43), pp.67-69.

3. Belousova I.D. *Analiz principov vnedreniya informacionnykh tekhnologiy v process obucheniya studentov vuza* [Analysis of the principles of information technologies in the educational process of students of the universities], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2007, T.7, no.1, pp.30-34.

4. Belousova I.D. *Vvedenie informacionnykh tekhnologiy v process obucheniya studentov vuza* [The introduction of information technologies into the learning process of students of high school: monograph], Magnitogorsk, 2009, 141 p.

5. Belousova I.D. *Diagnostika vnedreniya informacionnykh tekhnologiy v protsess obucheniya studentov vuza* [Diagnosis of information technologies in the learning process of students of the universities], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2008, T.18, no.1, pp.25-28.

6. Belousova I.D. *Osobennosti informatsionno-tehnologicheskogo obespecheniya vuza* [Features of information technologies support at the university], *Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New Information Technologies in Education Materials VII international scientific and practical conference], The State has the Russian-venous Professional Pedagogical University. Yekaterinburg, 2014, pp.299-302.

7. Belousova I.D. *Didakticheskie usloviya vnedreniya informatsionnykh tekhnologiy v protsess obucheniya studentov vuza* [Didactic conditions of introduction of information technologies in the learning process of students of the universities], Dis. Ph.D. in ped. Science, Magnitogorsk State University, Magnitogorsk, 2006, 186 p.

8. Efimova I.Y., Veremeyenko O.O. *Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologiy dlya osuschestvleniya mezhpredmetnykh svyazey* [Using of information technologies for the implementation of inter-subject relations], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2013, T.27. no.4, pp.53-56.

9. Korotenko Y.G. *Informatsionnaya obrazovatel'naya sreda osnovnoy shkoly* [Information educational environment of primary school], Moscow, IT Academy, 2011, 152 p.

10. Movchan I.N. *Nekotorye aspekty informatsionnoy podgotovki studentov vuza* [Several aspects of information preparation of students of the universities], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2008, T.18, no.1, pp.34-36.

11. Movchan I.N. *Nekotorye aspekty ispolzovaniya sovremennykh tekhnologiy distantsionnogo obucheniya v vuze* [Several aspects of the using of modern technologies of distance education at the university], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2013, T.27, no.4, pp.77-80.

12. Movchan I.N. *Osobennosti formirovaniya edinoj informatsionno-obrazovatel'noy sredy obrazovatel'nogo uchrezhdeniya* [Features of formation of a single information-educational environment of educational institution], *Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New Information Technologies in Education Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference], Russian State Vocational Pedagogical University. Ekaterinburg, 2014, pp.347-350.

13. Movchan I.N. *Pedagogicheskiy kontrol informatsionnoy deyatelnosti studenta vuza* [Pedagogical control of information

activities of the students], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2009, T.18, no.4, pp.30-32.

14. Movchan I.N. *Struktura i sodержanie informatsionnoy deyatel'nosti studentov vuza* [Structure and content of the information activities of students at the university], *Informatika i obrazovanie* [Informatics and education], 2009, no.6, pp.112-114.

15. Movchan I.N. *Tsifrovyye obrazovatel'nyye resursyi: sovremennyye vozmozhnosti i tendentsii razvitiya* [Digital Educational Resources: modern features and trends of development], *Sbornik nauchnyh trudov Sworld* [Journal of scientific works Sworld], 2010, T.26, no.4, pp.36-38.

16. Ostroumova E.N. *Informatsionno-obrazovatel'naya sreda vuza kak faktor professional'no-lichnostnogo samorazvitiya buduschego spetsialista* [Educational environment of the universities as the factor of professional and personal self-development of the expert in future], *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2011, no.4, pp.37-40.

17. *Federal'nyy zakon «Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [The Federal Law "About Education in the Russian Federation"], 2012, URL: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/npo>

/20130105131426.pdf.

18. Chusavitina G.N. *Razvitie kompetentsiy nauchno-pedagogicheskikh kadrov po obespecheniyu informatsionnoy bezopasnosti v IKT-nasyishemoy srede* [The development of competencies of the teaching staff on information security in ICT-rich environment], *Spros i predlozhenie na rynke truda i rynke obrazovatel'nyh uslug v re-gionah Rossii* [In the Journal: Supply and demand in the labor market and educational market in D-regions of Russia], 2011, pp.338-345.

19. Chusavitina G.N. *Organizatsionno-pedagogicheskie usloviya effektivnogo formirovaniya konkurentnosposobnosti buduschih IT-spetsialistov v protsesse obucheniya v vuze* [Organizational and pedagogical conditions of effective formation of the future competences of IT professionals in the learning process at the university], *Novyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii* [New Information Technologies in Education Proceedings of the International scientific and practical conference], Yekaterinburg, 2012, pp.521-524.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Байков Дмитрий Владимирович – аспирант, кафедра электроники и нанoeлектроники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия. E-mail: bdv2304@mail.ru.

Белоусова Ирина Дмитриевна – канд.пед.наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: bid711@mail.ru.

Бонев Милен Бонев – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой Электротехника, Высшее военно-морское училище им. Н.Й. Вапцарова, г. Варна, Болгария.

Гроздев Живко Генчев – канд. техн. наук, доцент, Высшее военно-морское училище им. Н.Й. Вапцарова, г. Варна, Болгария.

Гузей Ксения Евгеньевна – ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия.

Денисевич Александр Сергеевич – студент, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: denisevich993@mail.ru.

Джагаров Николай Филев – д-р техн. наук, профессор, Высшее военно-морское училище им. Н.Й. Вапцарова, г. Варна, Болгария.

Джагарова Юлия Викторовна – аспирант, Технический университет, Варна, Болгария.

Ивекеев Владимир Сергеевич – аспирант, кафедра АЭПиМ, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: vivekeev@yandex.ru.

Коробейников Станислав Михайлович – ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия.

Лазаров Тодор Петров – ассистент, Высшее военно-морское училище им. Н.Й. Вапцарова, г. Варна, Болгария.

Ложкин Игорь Александрович – аспирант, кафедра АЭПиМ, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: igor-yoha@yandex.ru.

Малафеев Алексей Вячеславович – канд. техн. наук, доцент, кафедра электроснабжения промышленных предприятий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

Мещеряков Виктор Николаевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода, Липецкий Государственный Технический Университет, г. Липецк, Россия.

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, Россия.

Николаев Александр Аркадьевич – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. АЭПиМ, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: alexniko@inbox.ru.

Панов Александр Николаевич – канд. техн. наук, ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: panov.a@konsom.ru.

Сапунов Алексей Владимирович – Б+Р Промышленная автоматизация, г. Екатеринбург, Россия.

Толчеев Василий Михайлович – магистрант, кафедра электропривода, Липецкий Государственный Технический Университет, г. Липецк, Россия. E-mail: INTIS-savior@Yandex.ru.

Тулупов Платон Гарриевич – студент, кафедра автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: tulupov.pg@mail.ru.

Тухватуллин Мурадым Мавлетдинович – главный специалист энерго-механического отдела АО «ВПО «Точмаш» Государственная корпорация Росатом. E-mail: muradum777@yandex.ru.

Урманова Фаина Фаннуровна – магистрант, кафедра АЭПиМ, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: faina_urmanova@mail.ru.

Цуприк Любовь Сергеевна – ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия.

Юлдашева Алина Илдаровна – магистрант, институт энергетики и автоматизированных систем, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: alinayuldasheva1@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Baikov Dmitry Vladimirovich - Postgraduate Student, Electronics and Nanoelectronics Department, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia.

E-mail: bdv2304@mail.ru.

Belousova Irina Dmitrievna – Ph.D. in Pedagogic sciences, Associate Professor, Applied Informatics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: bid711@mail.ru.

Bonev Milen Bonev – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, head of the Electrical Engineering Department, Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria.

Denisevich Alexander Sergeevich – Master Degree Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: denisevich993@mail.ru.

Djagarov Nikolay Filev – D.Sc.(Eng.), Professor, Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria.

Djagarova Julia Viktorovna – postgraduate student, Technical University of Varna, Bulgaria.

Grozdev Zhivko Genchev – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria.

Guzei Kseniya Evgenievna – CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia.

Ivekeev Vladimir Sergeevich – Postgraduate Student, Automated Electric Drive and Mechatronics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vivekeev@yandex.ru.

Korobeinikov Stanislav Mikhailovich – CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia.

Lazarov Todor Petrov – Assistant, Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria.

Lozhkin Igor Aleksandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: igor-yoha@yandex.ru.

Malafeev Aleksey Vyacheslavovich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Mesheryakov Viktor Nikolaevich – D.Sc.(Eng.), Profes-

or, Head of the «Electric Drive» Department, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.

Movchan Irina Nikolaevna – Ph.D. in Pedagogic sciences, Associate Professor, Business Informatics and Information Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Nikolaev Alexander Arkadyevich – Ph.D.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department “Automatic Electric Drive and Mechatronics”, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

E-mail: alexniko@inbox.ru.

Panov Alexander Nikolaevich – Ph.D.(Eng.), CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia.

E-mail: panov.a@konsom.ru.

Sapunov Aleksey Vladimirovich – B&R Industrial Automation, Yekaterinburg, Russia.

Tolcheev Vasily Mikhailovich – Master’s Degree Student, «Electric Drive» Department, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.

E-mail: IHTIS-savior@Yandex.ru.

Tsuprik Lubov Sergeevna – CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia.

Tulupov Platon Garrievich – student, Automated Electrical Drive and Mechatronics department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tulupov.pg@mail.ru.

Tukhvatullin Muradum Mavletdinovich – Chief Specialist of the Mechanical and Energy Infrastructure Department of the «VPO «Tochmash», Rosatom State Atomic Energy Corporation. E-mail: muradum777@yandex.ru.

Urmanova Faina Fannurovna – Master Degree Student, Automated Electric Drive and Mechatronics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: faina_urmanova@mail.ru.

Yuldasheva Alina Ildarovna – Master Degree Student, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: alinayuldasheva1@gmail.com.