

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРАВИТЕЛЬСТВО ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АДМИНИСТРАЦИЯ г. ОРЛА
ПАДЕРБОРНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (г. Падерборн)
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.
И.С. ТУРГЕНЕВА»
ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. ПОЛЗУНОВА» (г. Барнаул)
ГУ «ОРЛОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»
АО «ОРЕЛОБЛЭНЕРГО»
ЗАО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» (г. Орёл)
ФИЛИАЛ ОАО «МРСК ЦЕНТРА» – «ОРЕЛЭНЕРГО»
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**Материалы XV международной
научно-практической интернет-конференции
15 марта – 30 июня 2017 г., г. Орёл**

**Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2017**

УДК 620.92 (063)
ББК 31.15Я 431
Э65

Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2017 г., г. Орёл, ОГУ имени И.С. Тургенева) / под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – 276 с.

ISBN 978-5-9929-0499-4

В сборник материалов XV международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век» включены труды ученых и специалистов России, стран ближнего и дальнего зарубежья в авторской редакции с аннотациями на русском и иностранном языках. Материалы, представленные участниками, с учётом выбранного ими научного направления были размещены в следующих секциях на сайте ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru/science/confs/2017/ee/publ>) с 15 марта по 30 июня 2017 года:

1. Проблемы энергоресурсосбережения и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и городских территорий.
2. Энергоэффективность систем электроснабжения и направления их развития.
3. Энергосберегающие электротехнологические процессы и установки.
4. Энергосберегающие машиностроительные технологии и оборудование.
5. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
6. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
7. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
8. Интеллектуальные технологии и автоматизированные системы управления в задачах повышения энергоэффективности.

Материалы конференции адресованы учёным и специалистам, работающим в области энерго- и ресурсосбережения, а так же могут быть полезны студентам и соискателям ученых степеней.

Материалы конференции подготовлены ГУ «Орловский региональный центр Энергосбережения» и кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

УДК 620.92 (063)
ББК 31.15Я 431
Э65

ISBN 978-5-9929-0499-4

© ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017
© ГУ «ОрёлРЦЭ», 2017
© Коллектив авторов, 2017

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Пилипенко Ольга Васильевна – председатель оргкомитета, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
2. Вакулко Анатолий Георгиевич – академик РИА, лауреат Государственной премии РФ, вице-президент Федеральной палаты энергоэффективности и энергобезопасности.
3. Голенков Вячеслав Александрович – д.т.н., профессор, лауреат Государственных премий РФ, руководитель научной школы ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», директор ГУ «Орловский региональный центр энергосбережения».
4. Зенютч Евгений Аркадьевич – к.т.н., доцент, лауреат Премии Правительства РФ, директор НИИ энергоэффективных технологий ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».
5. Качанов Александр Николаевич - зам. председателя организационного комитета, д.т.н., профессор, академик АЭН РФ, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
6. Кувалдин Александр Борисович – заслуженный деятель науки РФ, академик АЭН РФ, д.т.н., профессор каф. «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
7. Николайский Олег Константинович – заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор, зав. каф. «Электрификация производства и быта» ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. Ползунова И.И.», г. Барнаул.
8. Радченко Сергей Юрьевич – д.т.н., профессор, и.о. проректора по научной работе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
9. Рыжкова Елена Николаевна – д.т.н., профессор каф. «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
10. Серебрянников Сергей Владимирович – д.т.н., профессор, академик АЭН РФ, главный ученый секретарь АЭН РФ, зав. каф. «Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
11. Тимохин Вячеслав Александрович – главный инженер АО «Орелоблэнерго», доктор электротехники, заслуженный энергетик РФ.
12. Шумарин Валерий Федорович – доктор электротехники, исп. директор Орловского регионального отделения АЭН РФ.
13. Карнаухова Любовь Николаевна – технический секретарь оргкомитета, учебный мастер каф. ЭиЭ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

1. Филатов Сергей Николаевич, заместитель Председателя Правительства Орловской области по развитию инвестиционной деятельности - руководитель Департамента экономического развития и инвестиционной деятельности Орловской области – председатель.
2. Демидович Виктор Болеславович, д.т.н., профессор кафедры электротехнологической и преобразовательной техники ФГБОУ ВО «ЛЭТИ им. В.И. Ульянова», академик-секретарь научно-отраслевого отделения № 6 АЭН РФ.
3. Зиновьев Евгений Валерьевич, генеральный директор АО «Орелоблэнерго».
4. Иньков Юрий Моисеевич – почетный работник науки и техники РФ, заслуженный изобретатель РФ, академик АЭН РФ, д.т.н., профессор кафедры «Электрическая тяга» МИИЖТ, г. Москва.
5. Клименко Сергей Анатольевич - д.т.н., профессор, зам директора по научной работе Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля Национальной академии наук Украины.
6. Любимов Виктор Васильевич – заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор, член-корр. РАЕН, зав. кафедрой «Физико-химические процессы и технологии», директор НОЦ «Нанотехнологии» ТулГТУ.
7. Степанов Юрий Сергеевич – зам. председателя программного комитета, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор, лауреат премий Президента и Правительства РФ, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
8. Хейфиц Михаил Львович - д.т.н., профессор, заместитель академика – секретаря Отделения физико-технических наук Национальной академии наук Белоруссии.
9. Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., президент Energy Saving International AS
10. Jiří Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universitat Plzeň, Elek-trotechnische Fakultät
11. Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
12. Andrzej Buchacz (Польша), Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
13. Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
14. Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
15. Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektrotermische Energiewandlung.
16. Коренков Дмитрий Андреевич - технический секретарь программного комитета, аспирант каф. ЭиЭ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».

ORGANIZING COMMITTEE

1. Pilipenko Olga Vasilievna - Chairman of the Organizing Committee, Doctor of Engineering Sciences, Professor, rector of the FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"
2. Vakulko Anatoly Georgievich - Academician of the RAE, State Prize Laureate, Vice-president of the Federal Chamber for Energy Efficiency and Energy Security
3. Golenkov Vyacheslav Alexandrovich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, State Prize Laureate in science and engineering of RF, Head of the Research School at the FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev", Director of SI "Orel Regional Energy Saving Center"
4. Zenyutich Yevgeny Arkadievich - Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, State Prize Laureate, Director of the Research Institute for Energy Efficiency Technologies, FGBOU WO "Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Aleksejev"
5. Kachanov Alexander Nikolayevich - Vice-Chairman of the Organizing Committee, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, Head of the Department of Energy Equipment and Energy Saving, FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"
6. Kuvaldin Alexander Borisovich - Honored Master of Sciences of Russia, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, National Research University "MEI" (Moscow Power Institute)
7. Nikolski Oleg Konstantinovich - Honored Master of Sciences of Russia, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Factory and Household Electrification, FGBOU WO "Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov"
8. Radchenko Sergey Yurjevich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, acting pro-rector for research, FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"
9. Ryzhkova Elena Nikolajevna - Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Energy supply of Industrial Enterprises, National Research University "MEI" (Moscow Power Institute)
10. Serebryannikov Sergei Vladimirovich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Academy of Electrical Engineering Sciences of Russia, academic Secretary of the Academy of Electrical Engineering Sciences of Russia, Head of the Department of Physics and Technology of elektrotechnical materials and components, National Research University "MEI" (Moscow Power Institute)
11. Timokhin Vyacheslav Alexandrovich - Chief Engineer of joint-stock company «Oreoblenergo», Honored Power Engineer
12. Shumarin Valeriy Fedorovich - DSc, Executive Director of Orel Regional Department of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF
13. Karnauhova Lyubov Nikolaevna - Technical Secretary of the Organizing Committee, Leading Engineer of the Department for Energy Equipment and Energy Saving, FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"

PROGRAM COMMITTEE

1. Filatov Sergey Nikolaevich - Chairman of the Program Committee, Vice-Chairman of Orel Government, Head of Department of Economic Development and Investment Activity in Orel Region
2. Demidovich Victor Boleslavovich - Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Electrotechnology and Converting Equipment, FGBOU WO "LETI n.a. V.I. Uljanov", Secretary of the Scientific Branch Department Nr.6 of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF
3. Zinovjev Yevgeniy Valerievich - General Manager of the joint-stock company "Oreoblenergo"
4. Inkov Yury Moiseevich - Honored Master of Sciences of Russia, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Member of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, Chief Scientific Secretary of the AEES RF
5. Klimenko Sergey Anatolievich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Institute for Superhard Materials n.a. V.N. Bakul, National Academy of Sciences, Ukraine
6. Ljubimov Victor Vasilievich - Honored Master of Sciences of Russia, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAS, Head of the Department of Physicochemical processes and technologies, Director of the Research Education Center "Nanotechnologies", FGBOU WO "Tula State Technical University"
7. Stepanov Yury Sergeyevich - Deputy-Chairman of the Program Committee, Honored Master of Sciences of Russia, Ph.D., Professor, State Prize Laureate, Doctor of Engineering Sciences FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"
8. Kheyphits Mikhail Lvovich - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Secretary of the Scientific Branch Department for Physic technical Sciences, National Academy of Sciences, Belorussia
9. Dahlsveen Trond (Norway) - M.Sc. President of Energy Saving International AS
10. Jiri Kozeny (Czech Republic) - Ph.D., Prof, Westboemische University Plzen, Faculty of Electrical Engineering
11. Li Qingling (China) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
12. Andrzej Buchacz (Poland), Doc. Sc., Eng. Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
13. Pahl Manfred H. (Germany) - Prof, Dr., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process
14. Sawicki Antoni (Poland) - Prof., Dr., Politechnika Czestochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
15. Schulze Dietmar (Germany) - Prof, Ph.D., habil., Technische Universitaet Ilmenau, Fachgebiet Elektrowaerme
16. Korenkov Dmitri Andreevich - Technical Secretary of the Program Committee, the graduate student of the Department for Energy Equipment and Energy Saving, FGBOU WO "Orel State University n.a. I.S.Turgenjev"

ORGANISATIONSAUSSCHUß

1. Pilipenko Olga Wasiljewna - Vorsitzende des Organisationsausschußes, Dr.-Ing., Prof., Rektor der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“
2. Wakulko Anatolij Georgiewitsch – Akademiemitglied der RAE, Staatspreisträger der RF, Vizepräsident der Förderkammer für Energieeffektivität und Energiesicherung
3. Golenkow Wjatscheslaw Alexandrowitsch - Dr.-Ing., Prof., Staatspreisträger der RF, Leiter der Wissenschaftsschule an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens I.S.Turgenjew“, Direktor der staatlichen Institution (SI) „Orjoler Energieaufbewahrungszentrum“
4. Zenjutitsch Ewgenij Arkadjewitsch - Kandidat der technischen Wissenschaften, Dozent, Preisträger der Regierung RF, Direktor des Forschungsinstitutes für energiesparende Technologien der FGBOU WO „Nishnij Nowgorod Staatliche Technische Universität namens R.E. Aleksejew“
5. Katschanow Alexander Nikolajewitsch – stellvertretender Vorsitzende des Organisationsausschußes, Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der AEW RF, Leiter des Lehrstuhls für die Elektroausrüstung und Energieaufbewahrung an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens I.S. Turgenjew“
6. Kuwaldin Alexander Borisowitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Akademiemitglied der AEW RF, Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls „AETUS“ an der FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
7. Nikolskij Oleg Konstantinowitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Dr.-Ing., Prof., Leiter des Lehrstuhls für die Betrieb- und Haushaltelektrifizierung an der FGBOU WO „Altai Staatliche Technische Universität namens I.I. Polzunow“ (Barnaul)
8. Radtschenko Sergej Jurijewitsch - Dr.-Ing., Prof., amtierender Prorektor für wissenschaftliche Arbeit an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens I.S. Turgenjew“
9. Ryshkowa Elena Nikolajewna - Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls für Stromversorgung der Industriebetriebe der FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
10. Serebrjannikow Sergej Wladimirowitsch - Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der AEW RF, akademischer Hauptsekretär der AEW RF, Leiter des Lehrstuhls für Physik und Technology der elektrotechnische Werkstoffe und Bauteilen der FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
11. Timochin Wjatscheslaw Alexandrowitsch – Chefingenieur der OAG „Orjoloblenergo“, Dr.-Ing., verdienter Energetiker der RF
12. Schumarin Walerij Fjodorowitsch – Dr.-Ing., Exekutivedirektor der Orjoler Regionalabteilung der AEW RF
13. Karnaukhova Ljubov Nikolajewna - technische Sekretärin des Organisationsausschußes, Ingenieurin des Lehrstuhls für die Elektroausrüstung und Energieaufbewahrung an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens I.S.Turgenjew“

PROGRAMMAUSSCHUß

1. Filatow Sergej Nikolajewitsch - Vorsitzende des Programmausschußes, Stellvertreter des Regierungsvorsitzendes des Orjoler Gebiets, Leiter des Departements für ökonomische Entwicklung und Investitionstätigkeit des Orjoler Gebiets.
2. Demidowitsch Wiktor Boleslawowitsch - Dr.-Ing., Prof. am Lehrstuhl für Elektrotechnologien und Umwandlungstechnik an der Sankt-Petersburger staatlichen elektrotechnischen Universität (LETI), Akademiemitglied und Sekretär der wissenschaftlichen Abteilung Nr. 6 der AEW RF
3. Sinowjew Ewgenij Walerjewitsch – Generaldirektor der AG „Orjoloblenergo“
4. Inkow Jurij Moisejewitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der AEW RF, der wissenschaftliche Sekretär der AEW RF
5. Klimenko Sergej Anatoljewitsch - Dr.-Ing., Prof., stellvertretender Direktor für wissenschaftliche Arbeit am Institut für überharte Stoffe der Nationalwissenschaftsakademie der Ukraine
6. Ljubimow Wiktor Wasiljewitsch - verdienter Gelehrte der Wissenschaft der RF, Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der RATW, Leiter des Lehrstuhls für Physikalisch-chemische Prozesse und Technologien, Direktor des Wissenschafts- und Ausbildungszentrums für Nanotechnologien an der Tulaer Staatlichen Technischen Universität
7. Stepanow Jurij Sergejewitsch – stellvertretender Vorsitzende des Programmausschußes, verdienter Gelehrte der Wissenschaft der RF, Dr.-Ing., Prof., President- und Regierungspreisträger der RF, FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens I.S. Turgenjew“
8. Hejphitz Michail Lwowitsch - Dr.-Ing., Prof., stellvertretender Akademiemitglied und Sekretär der Abteilung für physikalisch-technische Wissenschaften der Nationalwissenschaftsakademie Weißrußlands
9. Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., President Energy Saving International AS
10. Jiři Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universität Plzeň, Elek-trotechnische Fakultät
11. Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
12. Andrzej Buchacz (Польша), Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
13. Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
14. Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
15. Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektrotermische Energiewandlung.
16. Korenkow Dmitrij Andrejewitsch - technischer Sekretär des Programmausschußes, Aspirant des Lehrstuhls für die Elektroausrüstung und Energieaufbewahrung an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“

НАУЧНЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

1. Проблемы энергоресурсосбережения и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и городских территорий.
2. Энергоэффективность систем электроснабжения и направления их развития.
3. Энергосберегающие электротехнологические процессы и установки.
4. Энергосберегающие машиностроительные технологии и оборудование.
5. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
6. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
7. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
8. Интеллектуальные технологии и автоматизированные системы управления в задачах повышения энергоэффективности.

SCIENTIFIC AND ENGINEERING DIRECTIONS

The following workshops will be organized within the Conference:

1. Problems in energy- and resource saving and safety operation of house buildings, constructions and city area
1. Energy effectiveness of power supply systems and their development lines
2. Energy saving electro-technological processes and equipment
3. Energy saving machine building technologies and equipment
4. Energy- and resource saving in agricultural complex
5. Energy and resource saving control in industry
6. Nanosystems, nanomaterials and nanotechnologies
7. Intellectual technologies and automated control systems as effective energy and resource saving facilities.

INGENIEUR-UND WISSENSCHAFTLICHE RICHTUNGEN

1. Probleme der Energie- und Ressourcenaufbewahrung und der sicheren Nutzung der Bauten und der Stadtzone.
2. Energoeffektivität der Stromversorgungssysteme und Richtungen ihrer Entwicklung
3. Energieaufbewahrende elektrotechnologische Prozesse und Anlagen.
4. Energieaufbewahrende Maschinenbautechnologien und Ausrüstung
5. Energie- und Ressourcenaufbewahrung in der Landwirtschaft
6. Energie- und Ressourcenaufbewahrungsteuerung in den Industrieunternehmen
7. Nanosysteme, Nanostoffe und Nanotechnologien.
8. Intellektuelle Technologien und die automatisierten Steuersysteme in den Aufgaben der Energiewirksamkeitserhöhung.

СЕКЦИЯ 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Руководитель:

Турков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ГСиХ, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл

УДК: 620.9

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Горлов А.Н., Филатов Е.А., Бирюлин В.И.
Россия, г. Курск, Юго-Западный государственный университет

Данная статья посвящена вопросу использования нечеткой логики при выборе мероприятия по нормализации электромагнитной обстановки (ЭМО) на объектах электроэнергетики.

Ключевые слова: нечеткая логика, оптимальное решение, электромагнитная обстановка

При сооружении нового объекта электроэнергетики зачастую требуется выбор оптимального решения из достаточно большого количества возможных вариантов. Задача осуществления такого выбора осложняется большим объемом используемой информации, значительными трудозатратами по определению технических и экономических показателей вариантов, также часть исходных данных может при этом иметь нечеткий или неопределенный характер[1].

Такая проблема может быть решена следующим путем. Для первоначального объема вариантов производится предварительная оценка эффективности каждого из рассматриваемых мероприятий. Чтобы ускорить этот процесс, определение показателей эффективности, различных по своему назначению в том или ином случае, следует производить на основе экспертных оценок. Далее на основании предварительных значений критериев эффективности производится отбор наиболее значимых мероприятий для дальнейшего рассмотрения. Для выбранных мероприятий осуществляется более точный расчет показателей каждого из них и затем рассчитывается значение эффективности для окончательного принятия решения[2].

Такой подход позволяет существенно сократить затраты времени, так как производится предварительный отбор из всего имеющегося объема вариантов. Но при таком способе возникают следующие затруднения. Экспертные оценки позволяют быстро получить значения характеристик вариантов, которые с одной стороны носят качественный характер (например, «высокая стоимость», «средняя стоимость» и т.д.), а с другой стороны могут иметь сильный разброс из-за внесения элемента субъективности. Также следует учесть, что часть информации носит неопределенный характер[3].

Для решения данной проблемы может быть привлечен математический аппарат нечеткой логики, который является мощным инструментом для обработки качественной и неопределенной информации.

Рассмотрим его применение для предварительного выбора мероприятий по нормализации электромагнитной обстановки (ЭМО) на объектах электроэнергетики[4].

Каждое рассматриваемое мероприятие будем характеризовать следующими экспертными оценками: стоимость, степень нормализации ЭМО, эксплуатационные свойства, опыт применения данных мероприятий на других объектах. При необходимости этот перечень может быть легко расширен [5].

Обработка информации на базе нечеткой логики осуществляется по следующим этапам:

- фазификация входных переменных.
- активизация заключений правил нечеткой логики.
- аккумуляция заключений для каждой лингвистической переменной.
- дефазификация выходных переменных.

Для применения предложенного метода предварительной оценки вариантов можно составить следующую модель данного процесса, состоящую из следующих шагов:

- получение экспертных оценок;
- контроль полученных значений для повышения достоверности информации лицом или группой лиц, принимающих решение, для исключения ненадежных оценок;
- получение величины эффективности мероприятия;
- производство отбора мероприятий для дальнейшего рассмотрения.

Таким образом, предлагаемый метод обеспечивает существенное сокращение времени для подготовки выбора из имеющегося объема вариантов за счет использования качественной входной информации, обрабатываемой на базе математического аппарата нечеткой логики.

Список литературы

1. Бирюлин, В.И. Разработка математической модели определения напряженности электрического поля промышленной частоты с учетом погодных условий [Текст] / В. И. Бирюлин, А.Н. Горлов, О.М. Ларин и др. // Естественные и технические науки. – 2010. – № 1. – С. 324-326.
2. Горлов, А.Н. Перспективы экономии электроэнергии в осветительных системах [Текст] / А.Н. Горлов, О.М. Ларин, В.Н. Бирюлин и др. // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2010. – № 3. – С. 11-13.
3. Ларин, О.М. Организация выбора мероприятий по улучшению электромагнитной обстановки [Текст] / О.М. Ларин, В. И. Бирюлин, А.Н. Горлов и др. // Естественные и технические науки. – 2009. – № 3. – С. 297-298.
4. Хорошилов, Н.В. Выбор текущих приоритетных мероприятий по улучшению электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики [Текст] / Н.В. Хорошилов, А.Н. Горлов, О.М. Ларин и др. // Наука. – Красноярск, 2012. – № 1. – С. 158-166.

Горлов Алексей Николаевич, канд.техн.наук, доцент, и.о. зав. кафедрой ЭС, Юго-Западный государственный университет.

Бирюлин Владимир Иванович, канд.техн.наук, доцент, Юго-Западный государственный университет.

Филатов Евгений Алексеевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет;
e-mail: don_filius@mail.ru, тел.:89513188892.

ALGORITHMIZATION OF PROCESSES OF STATE MANAGEMENT OF THE ENERGY SUPPLYING ORGANIZATION

Gorlov A.N., Filatov E.A., Biryulin V.I.
Russia, Kursk, southwest state University

Abstract. This article is devoted to a using of indistinct logic question at an action choice for normalization of electromagnetic conditions (EMC) on electric power industry objects.

Keywords: indistinct logic, optimum decision, electromagnetic conditions.

Bibliography

1. Biryulin, V. I. Development of mathematical models determining the strength of the electric field of industrial frequency, subject to weather conditions [Text] / V. I. Biryulin, A. N. Gorlov, A. M. Larin et al. // Natural and technical Sciences. – 2010. – No. 1. – S. 324-326.

2. Gorlov, A. N. Prospects of energy saving lighting systems [Text] / A. N. Gorlov, A. M. Larin, V. N. Biryulin et al. // Energy security and energy efficiency. – 2010. – No. 3. – Pp. 11-13.
3. Larin, O. M. Organization of activities to improve the electromagnetic environment [Text] / O. M. Larin, V. I. Biryulin, A. N. Gorlov et al. // Natural and technical Sciences. – 2009. – No. 3. – S. 297-298.
4. Khoroshilov, N. In. Select the current priority of measures for improvement of electromagnetic environment at electric power facilities [Text] / N. In. Khoroshilov, A. N. Gorlov, A. M. Larin et al. // Science. – Krasnoyarsk, 2012. – No. 1. – S. 158-166.

Gorlov Aleksey Nikolaevich, Cand.tech.Sciences, associate Professor, acting head of Department. the Department of EHS, southwestern state University;
Biryulin Vladimir Ivanovich, Cand.tech.Sciences, associate Professor, southwest state University;
Filatov Evgeniy Alekseevich, postgraduate student, southwest state University;
 e-mail:don_filius@mail.ru,89513188892.

УДК 681.335 (07)

ГРАДУИРОВКА СТАНДАРТОВ

Голощапов А.А., Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проанализирована градуировка стандартных решений для организации информационной технологии калибровки как целенаправленной последовательности статистического анализа стандартов с фиксированной градуировочной характеристикой к аналитическому контролю инноваций.

Ключевые слова: стандартные решения и инновации, операторы счисления, логические функции, итерационный анализ, градуировка, структура градуировочной характеристики, оценка метрологической эффективности

Градуировка стандартных решений систематизирует точечную характеристику статистического анализа ненормированного множества переменных измерения $X = \{x_i\}_{i=0}^{n-1}$ и контроля $Y = \{y_j\}_{j=0}^{n-1}$ в исследуемый образ фантома (миража, сказки, абракадабры) для аппроксимации градуировочной характеристики с рациональной структурой полинома счисления (структурная оптимизация) и коэффициентами $A = \{a_i\}_{i=0}^{n-1}$ (параметрическая оптимизация), отражающими с регламентируемой дисперсией $\sigma(X, Y)$ неизвестный, но реально существующий информационный процесс $F_{0i}(x_{0i}, y_{0j})$ (преобразования или управления, измерения или передачи, и т.д.). Структурная оптимизация [1 – 3] градуировочной характеристики (ГХ) реализует методы перебора известных структур счисления или исчисления (стандартных условных эквивалентов $F_{yi}(x_i, y_j, a_i)$ для отождествления с образом $F_i(x_i, y_j)$ фантома с заданной дисперсией $\sigma(x_i, y_j)$.

Субъективность выбора структуры градуировочной характеристики ограничена практикой субъекта и итерационным анализом множества условных эквивалентов математического счисления и исчисления. Операторы исчисления развиваются последовательно от простого к сложному: от алгебры логики, арифметики и алгебры через тригонометрию, интегро-дифференциальный анализ к математике образов. Операторы логики (И, ИЛИ, НЕ) служат основой операторов арифметики (сложения и вычитания, умножения и деления), которые составляют операторы алгебры (возведение в степень и извлечение корня, логарифмирование и экспоненцирование). Операторы алгебры инициируют тригонометрию синусов и косинусов, тангенсов и котангенсов, из которых формируют дифференцирование и интегрирование, векторный анализ и синтез образов высшей математики.

С другой стороны, операторы исчисления – результаты счисления кодов и чисел науки, схем и мнем техники. Например, числа представляют [1, с. 18 – 38] в непозиционном (римские и славянские цифры, алфавиты) и позиционном (арабские цифры и степенные полиномы) кодах, а последние организуют из сочетания сумм и произведений в нормальных формах дизъюнкции (НДФ) и конъюнкции (НКФ), в базисах ИЛИ-НЕ из сумм инверсий и И-НЕ из произведений отрицаний. В комбинаторных схемах и мнечах техники незаменимы базисы И-НЕ и ИЛИ-НЕ, а в матричной архитектуре микропроцессорной техники целесообразны НКФ и НДФ.

Регламентируют метрологическую эффективность действительных, нормированных и условных измерений средние геометрические и арифметические меры оценки, которые являются частными результатами трансформации НКФ и НДФ, а также метрологическими стандартами из-за технологичности счисления (простота анализа, синтеза и оценки) и эргономичности нормировки (комфорт, гармония и баланс).

Следовательно, структура ГХ объективно определяется множеством иерархических уровней операторов счисления и исчисления нетождественных между собой из-за различия алгоритмов анализа и синтеза, а число операторов оценивают субъективно по минимуму координат (степени полинома, условных мер) с максимальной точностью тождественности субъективных эквивалентов неопределенному образу среднестатистического фантома исследуемого процесса преобразования.

Градуировочная характеристика систематизирует множество случайных координат измерения x_i и контроля y_j образа фантома $F_i(x_i, y_j)$, как правило, в НДФ коде степенного полинома:

$$y_j = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x_j^i \quad (1)$$

Размерность системы уравнений (1) обусловлена $i \times j$ –тым числом измерений ($i, j = 0, n - 1$). Структуру полинома выбирают последовательным перебором линейной ($i = 1$) и параболической ($i = 2$), кубической ($i = 3$) и степенной ($i = j$) зависимостей тождественности с образом фантома $F_i(x_i, y_j)$, за приемлемую структуру принимают степенной полином $F_{yi}(x_i, y_j, a_i)$ с минимальной дисперсией аппроксимации точечной функции исследуемого процесса.

Анализ НДФ (1) показывает, что с увеличением i – тых измерений и j –го контроля расширяется $i \times j$ –тая система уравнений и $i \times j$ –тая размерность матрицы, соответственно растет и ранг степени. Решение безразмерного уравнения (1) трудоемко и нетехнологично, поэтому точное решение заменяют приближенными выражениями с априори регламентированной дисперсией, например методы Гаусса и Чебышева, Ньютона и Лагранжа. Платой за приближенное решение служит оценка по ГОСТ точности измерений постфактум – после проведения эксперимента из-за отсутствия адаптируемых к диапазону параметров калибровочных характеристик, множества случайных ненормированных переменных измерения и контроля, формирующих жесткую градуировочную характеристику с множеством коэффициентов, неадекватных физике натурального эксперимента.

Структурная оптимизация подменяется итерационным анализом последовательного перебора безразмерного множества параметрических оптимизаций степенных полиномов, не отражающих физику явления, а формирующих градуировочную характеристику среднестатистического фантома со стандартной комбинаторной структурой узкоспециализированного тестера. Замена степенного полинома счисления операторами исчисления (арифметики или алгебры, математического анализа или математики образов) не позволяет повысить метрологическую эффективность градуировки из-за не тождественности математических моделей различного ранга, не адекватных физике процесса, незнания закономерностей аналитического контроля по известным образцам нормированных мер границ адаптивного диапазона.

Следовательно, структурная аппроксимация точечной характеристики подменяется итерационным анализом последовательного перебора полиномов счисления с поиском приемлемой структуры градуировочной характеристики узкоспециализированного тестера из-за не тождественности математических операторов счисления и исчисления, неадекватных физике натурального эксперимента за счет незнания закономерностей аналитического контроля, что регламентирует среднестатистический образ эфемерного фантома, отражающего псевдоновацию.

Оценить метрологическую эффективность градуировки в процессе проектирования теоретически невозможно из-за неопределенности множества ненормированных измерений и коэффициентов градуировочной характеристики среднестатистического образа из нетождественных полиномов счисления и исчисления, не адекватных физике и мер отсчета натурального эксперимента. Стандартные эквиваленты (измерения и меры, ненормированные коэффициенты и градуировочные характеристики) лишь условно тождественны границам диапазона и мерам отсчета, нормируемым параметрам и действительным значениям информационных процессов.

Показатель оценки K эффективности, как правило, формируют из суммы произведений приведенных погрешностей ε_i на весовые коэффициенты M_i

$$K = \sum_{i=1}^n M_i \varepsilon_i, \quad (2)$$

т.е. в виде кода НДФ [1, с. 7 – 38], как наиболее технологичного и эргономичного. Приведенную погрешность i -го дифференциального показателя x_i в диапазоне от максимальной x_{imax} до минимальной x_{imin} границ находят как отношение отклонения $x_i - x_{imin}$ к условному нормированному значению [2, с. 45 – 50], например, диапазону $x_{imax} - x_{imin}$:

$$\varepsilon_i = \frac{x_i - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}}. \quad (2a)$$

Условной нормой погрешности ε_i (3a) могут быть выбраны амплитудный X_m и максимальный x_{imax} , удельный χ_i и действительный X_o показатель, который по ГОСТ оценивают по стандартным мерам [3, с. 160 – 169] среднего арифметического или геометрического, гармонического или квадратического. Из-за отсутствия действительного X_o значения и мер его оценки, приведенную погрешность (2a) в интегральном показателе (2) нормируют также на субъективный весовой коэффициент M_i . Единственной нормой целого показателя (2) служит единичное значение суммы квалиметрических коэффициентов M_i :

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = 1. \quad (2б)$$

Следовательно, по ГОСТ оценки эффективности на дифференциальном и интегральном уровне локальных и обобщенных показателей метрологической эффективности условны и необъективны из-за субъективного выбора по стандартам приведенных норм действительного X_o значения и среднестатистических мер их отклонения от действительной нормы, квалиметрических весовых коэффициентов M_i и приведенных погрешностей ε_i , интегральных критериев показателя оценки K и весовых коэффициентов M_i в виде кода НДФ.

По стандартам оценку эффективности организуют постфактум, после проведения измерений по фиксированной градуировочной характеристике узкоспециализированного тестера с жесткой комбинаторной структурой. За эквивалент исследуемой градуировочной характеристики принимают поверочную характеристику образцового или эталонного средства измерения, электрического сигнала или материала с нормируемыми составом и свойствами границ диапазона. Оценка метрологических

характеристик: нелинейности и достоверности, дрейфа и воспроизводимости, диапазона и погрешности, - необъективны и условны из-за условных информативных параметров измерения и действительных значений контроля, статистических градуировочных и метрологических характеристик, субъективных мер и критериев оценки.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных средств [Текст] / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2013.-148 с.
2. Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы [Текст] / Н.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-Заде. – М.: Высш. шк., 1989. – 456 с.
3. Чичев, С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий [Текст] / С.И. Чичев, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.: Спектр, 2014. – 228 с.

Голощапов Андрей Александрович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: gaa@mail.nnn.tstu.ru.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru.

GRADUATION OF STANDARDS

Goloshchapov A.A., Glinkin E.I.

Russia, Tambov, Tambov State Technical University

Grading of standard solutions for organization of calibration information technology as a purposeful sequence of statistical analysis of standards with fixed scheduling characteristics to analytical control of innovations is analyzed.

Keywords: standard solutions and innovations, number operators, logical functions, iterative analysis, calibration, structure of the calibration characteristic, estimation of metrological efficiency

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Circuitry of microprocessor means [Text] / E.I. Glinkin., M.E. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2013. –148 p.
2. Farzane, N.G. Technological measurements and devices [Text] / NG. Farzane, L.V. Ilyasov, A.Yu. Azim-Zadeh – M.: Higher Education. Sc., 1989. – 456 p.
3. Chichov, S.I. Methodology for designing a digital substation in the format of new technologies [Text] / S.I. Chichev, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin – M.: Spectrum, 2014. – 228 p.

Goloshchapov Andrey Aleksandrovich, Tambov state technical university, Tambov, Russian Federation, graduate student of Biomedical equipment department, e-mail: gaa@mail.nnn.tstu.ru.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЕВ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Мезенцева А.В., Данилин А.В.

Россия, г. Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева

Проведен анализ производства электромонтажных работ, показаны факторы, влияющие на результат оптимального выполнения электромонтажных работ, рассмотрена возможность достижения

необходимого уровня функционирования монтируемых энергосистем с учетом показателей технологичности, надежности и безопасности.

Ключевые слова: электромонтажные работы, энергообъект, производство электромонтажных работ, критерии технологичности, надежность, безопасность электромонтажных работ.

При проведении электромонтажных работ (ЭМР) энергообъекта возникает необходимость принятия оптимального решения. Выбор наилучшего варианта, способного дать максимально эффективный результат, осуществляется на основе различных критериев качества производства электромонтажных работ: технологичности, надежности и безопасности монтируемого электрооборудования и технико-экономического расчетов. Решение вопросов, направленных на повышение качества электромонтажных работ основано на комплексном анализе системы ЭМР.

Проектирование оптимального процесса производства ЭМР начинается с проведения исследования и определения состава работ. Состав работ включает в себя предмонтажную подготовку и производство работ на монтажной площадке [1,2]. На стадии технологической подготовки электромонтажных работ обеспечивается пассивная настройка монтажных объектов. Непосредственно сам процесс производства работ осуществляется в две стадии: монтаж металлоконструкций под электрооборудование и монтаж электрооборудования с применением различных методов. Нахождение вариантов рациональной взаимосвязи этапов и методов производства электромонтажных работ связано также с планированием и взаимной увязкой работ во времени при условии непрерывности их выполнения, особенно при производстве работ в действующих электроустановках [3].

В целом, при проведении электромонтажа любой сложности, должна существовать обратная связь производства ЭМР (рис. 1), влияние выходных параметров выполненных работ на возможную их реализацию и учитываться факторы, влияющие на результат оптимального выполнения электромонтажных работ, что достигается в процессе контроля и наладки выполненных работ.



Рисунок 1 – Производство электромонтажных работ

Разрабатываемый вариант производства электромонтажа, помимо достижения необходимого уровня функционирования монтируемой системы, необходимо сопоставлять с оптимальными условиями с учетом показателей (критериев) качества монтажа: технологичность, надежность и безопасность осуществления работ и пр., при которых обеспечивается наилучшее проведение ЭМР при существующих возможностях их реализации: материальных и технических ресурсов. При сравнении вариантов и окончательном выборе необходимо учитывать возможность дальнейшего развития ЭМР с точки зрения технического прогресса и с учетом ряда дополнительных факторов: ремонтпригодность, взаимозаменяемость и др. Варианты, которые подлежат сравнению, должны соответствовать различным требованиям, в т.ч.: обеспечение производственного эффекта и качества электромонтажных работ; единство методов проведения ЭМР, техническая сопоставимость в показателях по степени технологичности и надежности и обеспечение безопасности проведения монтажа. Для сравнения полученных результатов в качестве исходной базы принимается типовое из имеющегося опыта производства ЭМР.

Технологичность ЭМР можно оценить различными показателями [4]. Базовые показатели определяются по данным количества монтажных соединений и заготовок,

операций контроля и наладки, типовых используемых электротехнических устройств, а также общей длиной и количеством всех проложенных кабелей в монтажной зоне.

Технологичность конструкции на примере распределительного устройства (РУ) главного распределительного щита системы электроснабжения (СЭС) типового предприятия определяется с помощью комплексного показателя для вновь монтируемого устройства и для смонтированного устройства-аналога, которые вычисляются по формуле [5]:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}, \quad (1)$$

где $K_1 \dots K_n$ – показатели, номенклатура которых зависит от типа блока (электронный, соединительный, коммутационный, распределительный, электромеханический); $\varphi_1 \dots \varphi_n$ – коэффициенты значимости каждого базового показателя. Для РУ в качестве базовых показателей можно принять (табл. 1):

Таблица 1 – Состав показателей технологичности

№ п/п	Показатели K_i	Значения φ_i
1	коэффициент автоматизации и механизации монтажных соединений K_{AM}	1,00
2	коэффициент механизации подготовки монтажных заготовок $K_{МП}$	0,75
3	коэффициент контроля и настройки смонтированных элементов $K_{КН}$	1,00
4	коэффициент применения типовых монтажных элементов $K_{ТМ}$	0,31
5	коэффициент прогрессивности способов монтажа $K_{ПМ}$	0,11
6	коэффициент сложности монтажа $K_{СМ}$	0,70

Нормативный комплексный показатель определяется по формуле:

$$K_H = \prod_{i=1}^n K_i = K_{ИА} \cdot K_{СЛ} \cdot K_{ТУ} \cdot K_{ОП} \cdot K_{ОТ} \cdot K_{ТП}. \quad (2)$$

где K_i – коэффициенты, учитывающие:

$K_{ИА}$ – показатель смонтированного устройства-аналога;

$K_{СЛ}$ – сложность разрабатываемого процесса монтажа по сравнению с существующим;

$K_{ТУ}$ – изменение технического уровня основного производства ЭМР по сравнению с проектируемым производством ЭМР;

$K_{ОП}$ и $K_{ОТ}$ – изменение уровня организации производства и труда ЭМР по сравнению с типовым производством.

$K_{П}$ – коэффициент, учитывающий изменение методов и способов производства ЭМР.

Таким образом, K_H определяет базовый показатель технологичности ЭМР, а K – достигнутый на стадии производства ЭМР. Коэффициенты, составляющие нормативный показатель, определяются на основе статистических данных и для рассматриваемых монтируемых систем имеют значения приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Нормативы комплексных показателей технологичности приборов

Монтируемые системы	Разработанное ЭМР	Типовое ЭМР
Электромеханические и электротехнические	0,30 - 0,50	0,45-0,60

Уровень технологичности ЭМР считается приемлемым, если $K/K_H > 1$.

В процессе проектирования ЭМР распределительного устройства на разрабатываемый блок следует определить и привести основные показатели: норматив

технологичности, нормативный комплексный показатель, комплексный показатель технологичности и показатель аналога, установить состав базовых показателей и произвести расчет входящих в состав нормативных и комплексных показателей.

При производстве электромонтажных работ вместе с технологичностью необходимо также учитывать надежность и, соответственно, безопасность их проведения. Надежность и безопасность СЭС достигается за счет двух основных факторов: профессиональный монтаж высококвалифицированным специалистом электромонтажной организации и за счет использования надежных аппаратов защиты. Анализ всех производственных причин, вызывающих отказы, позволяет определить надежность производства ЭМР следующим образом [6]:

$$P_{\text{пр}}(t) = P_{\text{м}}(t) \cdot P_{\text{т}}(t) \cdot P_{\text{к}}(t), \quad (3)$$

где $P_{\text{м}}(t)$ – надежность исходных элементов и материалов; $P_{\text{т}}(t)$ – надежность технологического процесса производства ЭМР; $P_{\text{к}}(t)$ – надежность операционного и окончательного контроля и наладки. Оценку надежности каждого отдельного производят по формуле:

$$P(t) = \frac{N - n}{N}, \quad (4)$$

где N – число смонтированных элементов в начале эксплуатации; n – число смонтированных элементов, вышедших из строя за период t из-за отказов.

В связи с выпуском электропромышленностью новых усовершенствованных серий электротехнического оборудования и материалов, обладающих повышенной надежностью, разработкой и внедрением электромонтажными организациями новых прогрессивных технологических процессов, новых монтажных механизмов и приспособлений, а также значительным развитием производственной базы монтажных организации за последнее время в технологии электромонтажных работ происходят большие изменения. Задачи обеспечения высокопроизводительной, надёжной и безопасной работы систем электроснабжения при их эксплуатации требуют комплексного, системного подхода к решению вопросов выбора, размещения и взаимодействия оборудования еще на стадии проектирования, организации и проведения электромонтажа, наладки и дальнейшего технического обслуживания и ремонта. Для решения этих вопросов имеется определенная нормативная документация, содержащая взаимосвязанные правила, нормы и положения производства ЭМР.

В связи с тем, что электромонтажные работы являются источником повышенной опасности, то обеспечение электробезопасности с учетом рассмотренных критериев качества производства ЭМР достигается в целом за счет эффективной организации системы ЭМР при наличии квалифицированного электротехнического персонала и исправного состояния средств электрической защиты, что сводит к минимуму возможность получения электротравм и повышает безопасность работ при сохранении основных показателей их выполнения.

Список литературы

1. Нестеренко В.М., Мысьянов А.М. Технология электромонтажных работ [Текст] / В.М. Нестеренко, А.М. Мысьянов – М.: Академия, 2004. – 589 с.
2. Гуменюк, В.М. Технология электромонтажного производства [Текст] / В.М. Гуменюк – Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2012. – 220 с.
3. Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения [Текст] / В.Н. Костин – СПб: СЗТУ, 2004. – 184 с.
4. Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования [Текст] / Н.А. Акимова – М.: Академия, 2008. – 304 с.

5. Соболев С.Ф. Технология электромонтажа [Текст] / С.Ф. Соболев – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 88 с.

6. Основы теории надежности электрических систем [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.studmed.ru/docs/document2663/cc1> (дата обращения: 18.04.17)

Мезенцева Антонина Викторовна, канд.техн.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева в г. Орел.

Данилин Антон Викторович, магистр 1-го курса кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева в г. Орел.

ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF ELECTRICAL WORK BASED ON THE CRITERIA OF TECHNOLOGICAL RELIABILITY AND SAFETY

Mezentseva A.V., Danilin A.V.

Russia, Orel, Orel State University of. I.S. Turgenev

The analysis of the production of electrical work, shows the factors influencing the result, optimum performance of electrical work, the possibility of achieving the necessary level of functioning of the mounted power systems with consideration of manufacturability, reliability, and security.

Key words: electrical work, facility, plumbing contractors, criteria of manufacturability, reliability, safety of electrical work.

Bibliography

1. Nesterenko V.M., Mys'yanov A.M. *Tekhnologiya elektromontazhnykh rabot* [Technology of electrical work], Moskva: Akademiya, 2004, 589 p.

2. Gumenyuk, V.M. *Tekhnologiya elektromontazhnogo proizvodstva* [Technology electrical production], Vladivostok: Dal'nevost. federal. un-t, 2012, 220 p.

3. Kostin V.N. *Montazh i ekspluatatsiya oborudovaniya sistem elektrosnabzheniyai* [Installation and operation of equipment of power supply systems], Sankt-Peterburg: SZTU, 2004, 184 p.

4. Akimova N.A. *Montazh, tekhnicheskaya ekspluatatsiya i remont elektricheskogo i elektromekhanicheskogo oborudovaniya* [Installation, maintenance and repair of electric and Electromechanical equipment], Moskva: Akademiya, 2008, 304 p.

5. Sobolev S.F. *Tekhnologiya elektromontazha* [Technology wiring], Sankt-Peterburg: ITMO, 2008, – 88 p.

6. Available at: <http://www.studmed.ru/docs/document2663/cc1> (April 18, 2017)

Mezentseva Antonina Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Electrical Equipment and Energy Saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

Danilin Anton Viktorovich, Master of 1 course of the department "Electrical equipment and energy saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

УДК 338.23

УГРОЗЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ФАКТОРЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Коростелкина И.А., Дедкова Е.Г.

Россия, г. Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева

В современных экономических условиях развития государства все большее значение и актуальность приобретают вопросы энергетической безопасности, что обуславливается, с одной стороны, снижением запасов природных ресурсов (газ, нефть и другие энергоносители), а с другой, - постоянным увеличением их потребления в связи с масштабностью мировой экономики, усложнением научно-технического прогресса, расширением инновационной активности промышленных предприятий, повышением их

конкурентоспособности, повышением качества и уровня жизни. В статье проводится анализ значимости и долгосрочности энергетических интересов, исследование угроз национальной энергетической безопасности и факторов ее обеспечения.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, угрозы, риски, обеспечение, промышленность

Энергетическая безопасность определяется в современной литературе как независимость, состояние защищенности государства, общества и граждан от угрозы дефицита энергии и топливно-энергетических ресурсов. С нашей позиции энергетическую безопасность целесообразно рассматривать с позиции системного подхода и определять ее, с одной стороны, как подсистему национальной безопасности государства, а, с другой, - как самостоятельную систему отношений в области энергопотребления и энергосбережения, формирующуюся посредством элементов, видов и составляющих более низкого уровня, которые раскрывают свойства каждого вида энергии (энергоносителя).

Энергетическая безопасность представляет собой такое положение государства, при котором либо отсутствуют реальные и потенциальные риски и угрозы энергетическим интересам экономических субъектов, либо обеспечивается надежная защита этих интересов с целью устранения или минимизации негативных последствий. Энергетическая безопасность поддерживает топливно-энергетический баланс страны, рациональное потребление имеющихся энергоресурсов, обеспечивая условия эффективного развития энергетической отрасли.

Энергетическая безопасность государства, как и любая другая безопасность, базируется на энергетических интересах, угрозах и защите. Суть и значение энергетических интересов сводится к рациональному использованию ресурсов, видов энергии, к производству, сохранению и накоплению энергетического потенциала, в том числе и за счет альтернативных источников получения энергии.

Угрозы энергетической безопасности классифицируются на реальные и потенциальные, а также внешние и внутренние. Внутренние угрозы энергетической безопасности могут исходить от отдельных субъектов хозяйствования, деятельность которых либо снижает, либо исключает рациональное энергопользование, тормозит поступательное развитие энергетики, промышленности и народного хозяйства в целом. Внешними угрозами является мировая практика использования энергоресурсов в качестве инструмента политического давления государств на конкретную страну.

Энергетическая защита представляет собой комплекс мероприятий по обеспечению энергетической безопасности страны, направленных на идентификацию, оценку и своевременное устранение реальных и потенциальных угроз [1].

Условно энергетические угрозы можно разделить на группы: социально-политические, экономические, природные, техногенные и управленческо-правовые (угрозы, связанные с несовершенством управления) [2]. Энергетические угрозы по временному фактору классифицируются на долговременные и кратковременные, при этом и те, и другие могут в целом нарушать стабильность функционирования энергетического комплекса, ограничивать энергообеспечение и приводить к другим негативным последствиям для энергетического комплекса в целом, национальной экономики и общества.

Характеристика экономических и управленческо-правовых угроз в сфере энергетики представлена в таблице 1.

Факторы, обеспечивающие энергетическую безопасность, классифицируются на внешние и внутренние.

К внешним факторам относятся общеэкономические, природно-климатические, отраслевые, инфляционные, политические. Данную группу формируют, в частности, темп инфляции, конъюнктура рынка, изменение процентных ставок, валютные риски, политическая стабильность и др.

Таблица 1 – Характеристика экономических и управленческо-правовых угроз в сфере энергетики¹

Критерий	Экономические угрозы	Управленческо-правовые угрозы
Понятие	угрозы макроэкономического характера и экономические диспропорции, дестабилизирующие функционирование энергетического комплекса, обусловленные производственно-экономическими особенностями энергетического обеспечения государства, региона, общества, экономического субъекта	Угрозы энергетической безопасности, связанные с несовершенством управления энергетических компаний
Виды	низкий уровень инвестирования; нестабильность финансового обеспечения экономической деятельности энергетического комплекса; неэффективное использование ресурсного потенциала; ценообразование на энергоресурсы; монополизм топливно-энергетической отрасли	несовершенство в построении организационной структуры управления; низкий уровень управления; отсутствие соответствующей квалификации; финансовое мошенничество
Индикаторы угроз	объем задолженности, уровень инвестиционной активности, коэффициенты ликвидности, платежеспособности и рентабельности, сальдированный финансовый результат, уровень цен на энергоносители, удельный вес убыточных организаций, объем внутреннего экспорта поставок энергии, доля собственных источников в энергетическом балансе региона или территории	уровень компетентности управленческого аппарата, оценка управленческих решений и ошибки в их принятии, квалификация управленческого персонала, уровень правового регламентирования, слабый уровень образования, низкая эффективность энергетической сберегающей политики
Последствия	рост кредиторской задолженности за энергоресурсы, технические ограничения, отсутствие баланса между потреблением и производством ресурсов, дефицит производственных мощностей, износ оборудования предприятий	перерасход ресурсного потенциала, перерасход бюджетных ресурсов, нерациональное использование техники и оборудования, криминализация энергетического бизнеса, монополизация энергетического рынка, слабое управление, отсутствие системы внутреннего контроля и контроллинга

Внутренние факторы обеспечения энергетической безопасности можно разделить на производственные (уровень производственных мощностей и потерь, наличие производственных площадок, высококвалифицированных кадров и др.), технологические (надежность, инновационная активность, внедрение современных технологий, поддержка научных исследований и др.), коммерческие (уровень конкуренции, сбыта, платежеспособность потребителей и др.), финансово-инвестиционные (кредитоспособность энергопредприятия, уровень его инвестиционных возможностей, финансовая устойчивость, оборачиваемость запасов и др.).

Главными факторами обеспечения энергетической безопасности для экономических субъектов, работающих в современных рыночных условиях, и снижения угроз экономического и управленческо-правового характера могут быть признаны: постоянный спрос на энергоресурсы; повышение планируемой прибыли; низкий уровень затрат на создание энергопредприятий; минимизация риска сокращения или неполучения прибыли; высокий уровень обеспечения внутреннего контроля над энергобизнесом и повышенной степенью ликвидности всех активов, повышение ликвидности и финансовой устойчивости энергетического сектора, повышение инвестиционной активности,

¹ составлено по данным [3]

эффективности уровня управления, создание более рациональной рыночной среды, расширение мониторинга энергобезопасности, а также активное воспроизводства основных фондов предприятий энергетической отрасли.

Список литературы

1. Бринчук М.М. Экологическая безопасность и экологическое право [Текст] / М.М. Бринчук // Экологическое право. - 2014. - №4.
2. Быкова Е.В. Формирование системы индикаторов для исследования энергетической безопасности Республики Молдова [Текст] / Е.В. Быкова // Материалы научно-практической конференции «Энергосистема: управление, качество, безопасность». - Екатеринбург, 2013. - С. 195-198.
3. Кондраков О.В. Мониторинг как элемент обеспечения энергетической безопасности региона [Текст] / О.В. Кондраков // Социально-экономические явления и процессы. - 2012. - № 3.

Коростелкина Ирина Алексеевна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40; cakyra_04@mail.ru; 8 (4862) 41-98-60.

Дедкова Елена Геннадьевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40; sirena-85@mail.ru; 8 (4862) 41-98-60.

THREATS TO ENERGY SECURITY AND FACTORS OF ITS SECURITY

Korostelkina I.A., Dedkova E.G.

Russia, Orel, Orel state University after I.S. Turgenev

In modern economic conditions the development of the state increasing importance and relevance of energy security which is due, on the one hand, the decline in natural resources (gas, oil and other energy sources), on the other hand, a constant increase in their consumption in connection with the scale of the world economy, the increasing complexity of scientific and technical progress, the expansion of innovation activity of industrial enterprises, increase their competitiveness, improve the quality and standard of living. The article analyzes the significance and long-term energy interests, the study of the threats to national energy security and factors of its software.

Key words: energy security, threat, risk, security, industry

Bibliography

1. Brinchuk M.M. Environmental security and environmental law [Tekst] / M.M. Brinchuk // Environmental law. - 2014. - №4.
2. Bykova E.V. Formation of system of indicators for research of energy security of Republic Moldova [Tekst] / E.V. Bykova // Materials of scientific-practical conference «Power system: management, quality, safety». - Yekaterinburg, 2013. - P. 195-198.
3. Kondrakov O.V. Monitoring as an element of energy security of the region [Tekst] / O.V. Kondrakov // Socio-economic phenomena and processes. - 2012. - No. 3.

Korostelkina Irina Alekseevna, Doctor of Economics, Professor, Professor of Accounting and Audit Department, Orel state University after I.S. Turgenev, cakyra_04@mail.ru, 8 (4862) 41-98-60.

Dedkova Elena Gennadievna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Accounting and Audit Department, Orel state University after I.S. Turgenev, sirena-85@mail.ru, 8 (4862) 41-98-60.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Никольский О.К., Качесова Л.Ю., Юрченков А.С., Юрченкова И.В.

*Россия, г. Барнаул, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова*

Предложено программное обеспечение для расчета интегрального риска конкретной техногенной опасности электроустановки. Программное обеспечение реализует операции пропозициональной темпоральной логики: «иногда в прошлом» и «всегда в прошлом», которые используются для описания темпоральных зависимостей между рискообразующими факторами и техногенным риском. Интегральный риск вычисляется с использованием алгоритма нечёткого вывода Мамдани.

Ключевые слова: электроустановка, техногенный риск, темпоральная логика, нечеткий вывод.

В сфере электробезопасности существуют три разновидности факторов риска, связанных с эксплуатацией электроустановок, внешней средой и человеком. Каждый вид риска ведет к негативным последствиям, как для здоровья человека, так и наносит ущерб предприятию. Следовательно, необходим метод оценки возможных рисков [1].

В предлагаемой методике моделирования и оценки рисков электроустановок используются темпоральные зависимости, которые прослеживаются между рискообразующими факторами каждого класса опасности и риском. Для описания темпоральных зависимостей используются темпоральные высказывания, которые формируются применением к рискообразующему фактору одной из унарных темпоральных операций прошлого времени пропозициональной темпоральной логики (PTL): «иногда в прошлом», «всегда в прошлом» [2].

Рискообразующие факторы и риск описываются в виде лингвистических переменных. Для определения истинности темпоральных высказываний используется аппарат нечетких мер. Поскольку темпоральные операторы прошлого времени предполагают учет предыстории, то для каждой лингвистической переменной необходимо задать терм-множество для нескольких предшествующих моментов времени. При вычислении меры истинности утверждения, к которому применен темпоральный оператор, учитываются значения мер его истинности на заданных в прошлом моментах времени. Результирующее значение нечеткой меры истинности для темпоральной операции «всегда в прошлом» вычисляется с использованием композиции значений мер истинности для отдельных моментов времени. Результирующее значение нечеткой меры истинности для темпоральной операции «иногда в прошлом» вычисляется следующим образом: из всей совокупности нечетких мер истинности каждого момента времени в прошлом выбирается максимальное значение меры истинности [3].

Для расчета интегрального риска конкретной техногенной опасности с использованием операций прошлого времени пропозициональной темпоральной логики: «иногда в прошлом», «всегда в прошлом» и алгоритма нечёткого вывода Мамдани было создано программное обеспечение на языке C# в среде разработки Visual Studio.

Первым этапом работы программы является задание лингвистических переменных рискообразующих факторов и техногенного риска (рисунок 1).

Вторым этапом является задание терм-множеств для каждой лингвистической переменной (рисунок 2).

На третьем этапе работы программы задаются правила нечеткого вывода для вычисления интегрального риска конкретной техногенной опасности. Данный этап представлен на рисунке 3 (задаются правила для техногенной опасности Электротравма).

На четвертом этапе производятся основные стадии вычисления интегрального риска по алгоритму нечеткого вывода Мамдани.

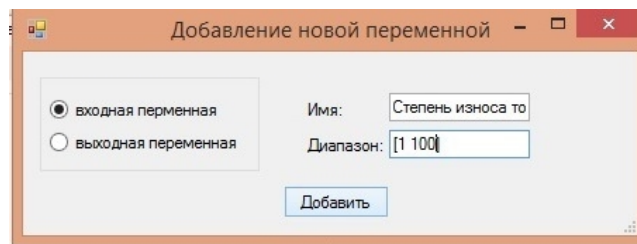


Рисунок 1 – Создание лингвистической переменной

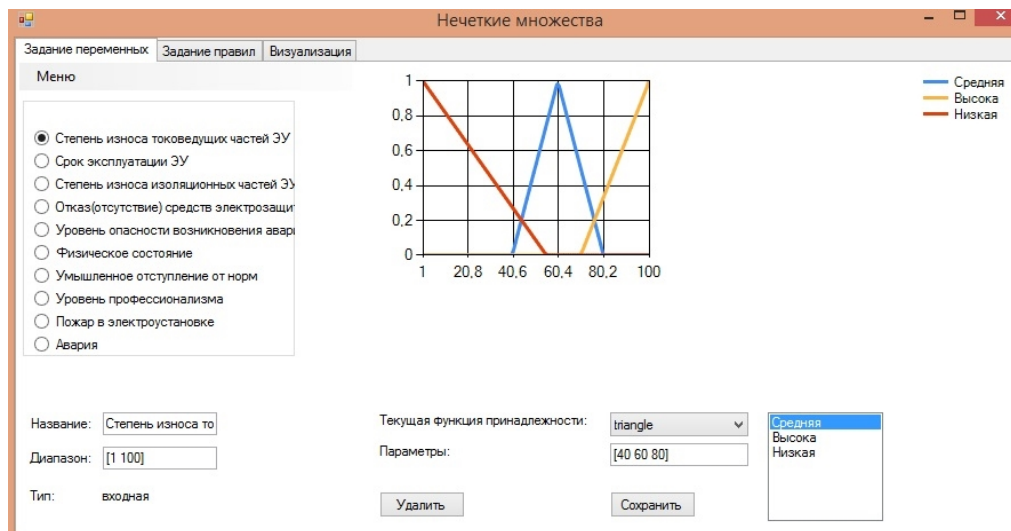


Рисунок 2 – Задание терм - множеств

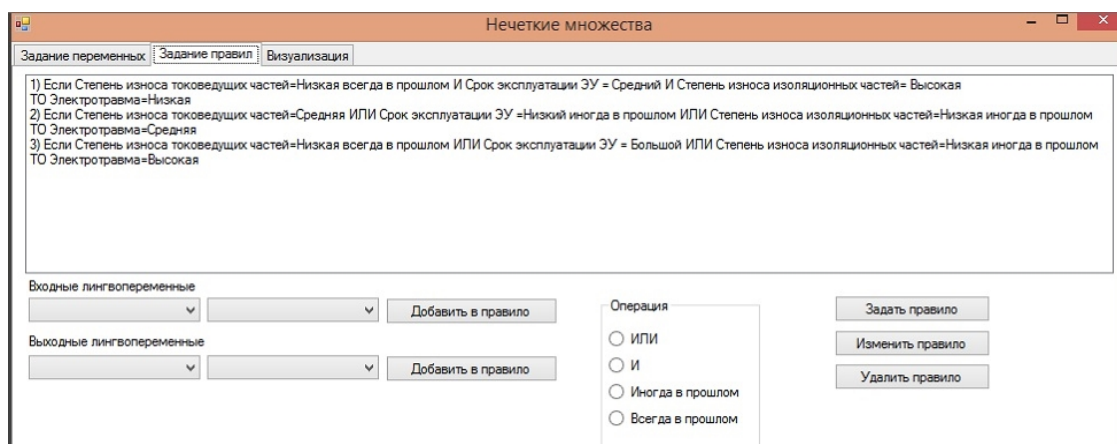


Рисунок 3 – Задание правил нечеткого вывода

Первая стадия – это стадия агрегирования всех значений входных лингвистических переменных с учетом логических операций и темпоральных операций между ними.

Вторая стадия – это стадия активизации выходных переменных на основе данных, полученных после стадии агрегирования.

Третья стадия – стадия аккумуляции правил по каждой выходной лингвистической переменной (на рисунке 4 аккумуляция по выходной переменной выделена оранжевым цветом).

Четвертая стадия – вычисление интегрального риска путем дефаззификации итоговых (проаккумулялированных) значений для каждой выходной лингвистической переменной.

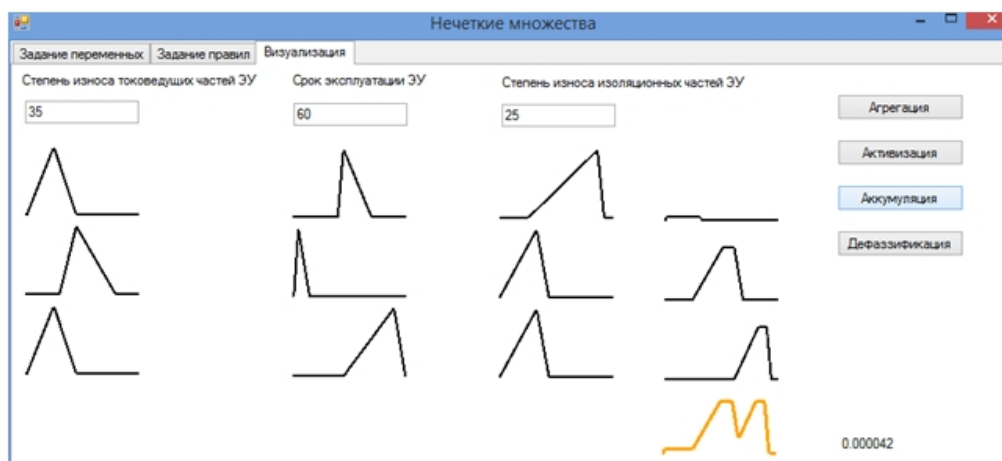


Рисунок 4 – Стадия вычисление интегрального риска

Так как мы используем алгоритм Мамдани, то вычисление интегрального риска происходит по формуле:

$$y = \frac{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} x * \mu(x) dx}{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} \mu(x) dx},$$

где x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной и принимающая значения от $x = \text{Min}$ до $x = \text{Max}$; Min и Max – левая и правая точки интервала носителя нечёткого множества; $\mu(x)$ – функция принадлежности нечёткого множества, полученная после аккумуляции. Определённый интеграл находился по методу прямоугольников.

Как видно из рисунка 4 итоговое значение интегрального риска для выходной лингвистической переменной «Электротравма» равно 0.000042. Это значит что при заданном значении рискообразующих факторов риск Электротравмы является допустимым.

Результаты исследований показали, что предлагаемая методика моделирования и оценки рисков электроустановок с использованием темпоральных зависимостей между рискообразующими факторами и риском дает более адекватную оценку техногенной опасности производственного объекта, по сравнению с методиками оценки рисков электроустановок без этого компонента.

Список литературы

1. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками. [Текст] / О. К. Никольский // Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.
2. Качесова Л. Ю. О возможности использования темпоральной логики в интеллектуальной системе поддержки принятия решений по управлению техногенными рисками опасности электроустановок [Текст] / Л. Ю. Качесова, А. Н. Тушев // Ползуновский альманах. - 2016. - №2. – С. 151-153.
3. Никольский О.К. Применение аппарата темпоральной логики для управления техногенными рисками в человеко-машинных системах [Текст] / О. К. Никольский, А.Н. Тушев, Л. Ю. Качесова // Достижения науки и техники АПК. - 2017. - №3. – С. 41-45.

Никольский Олег Константинович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина 46, (83852) 29-08-82, 36-71-29, erb_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Качесова Лариса Юрьевна – ст.преподаватель, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина 46, kachesova_l_u@mail.ru, 8-906-967-12-71.

Юрченков Александр Сергеевич – магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина 46, diogenw@yandex.ru.
Юрченкова Ирина Владимировна – магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина 46, diogenw@yandex.ru.

THE APPLICATION OF OPERATIONS TO TEMPORAL LOGIC EVALUATION OF TECHNOLOGICAL RISKS OF ELECTRICAL

Nikolskiy O. K., Kachesova L. Y., Yurchenkov A. S., Yurchenkova I. V.
*Russia, Barnaul, Altai state technical university
of I. I. Polzunov*

Propose software for the calculation of the integrated risk of a particular man-made hazards electrical facilities. The software implements the operations propositional temporal logic "sometimes in the past" and "always in the past", which are used to describe temporal dependencies between risk factors and technogenic risk. Integral risk are calculated using the algorithm of Mamdani fuzzy inference.

Keywords: electrical facilities, technogenic risk, emporal logic, fuzzy inference

Bibliography

1. Nikol'skiy O. K. Teoriya i praktika upravleniya tekhnogennymi riskami. [Text] / O. K. Nikol'skiy // Barnaul, Izd-vo AltGTU, 2015. – 219 p.
2. Kachesova L. YU. O vozmozhnosti ispol'zovaniya temporal'noj logiki v intellektual'noj sisteme podderzhki prinyatiya reshenij po upravleniyu tekhnogennymi riskami opasnosti ehlektroustanovok [Text] / L. YU. Kachesova, A. N. Tushev // Polzunovskij al'manah. - 2016. - №2. – P. 151-153.
3. Nikol'skiy O. K. Primenenie apparata temporal'noj logiki dlya upravleniya tekhnogennymi riskami v cheloveko-mashinnyh sistemah [Text] / O. K. Nikol'skiy A. N. Tushev, L. YU. Kachesova // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - 2017. - №3. – P. 41-45.

Nikolskiy Oleg Konstantinovich - Dr. Sc, Professor, Head of "Electrification of production and way of life", Altai state technical university of I. I. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin prospect 46, (83852) 29-08-82, 36-71-29, epb_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Kachesova Larisa Yurievna - senior lecturer, Altai state technical university of I. I. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin prospect 46, kachesova_l_u@mail.ru, 8-906-967-12-71.

Yurchenkov Alexander Sergeevich, undergraduate, Altai state technical university of I. I. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin prospect 46, diogenw@yandex.ru.

Yurchenkova Irina Vladimirovna, undergraduate, Altai state technical university of I. I. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin prospect 46, diogenw@yandex.ru.

УДК 621.31

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАТЕНТА № 2556299 СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Смородина А.А., Воробьев Н.П.

*Российская Федерация, г. Барнаул,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

В данной статье поднимается проблема необходимости оценки состояния электрической проводки 0,4 кВ зданий и сооружений. Авторы исследуют имеющиеся разработки в данной области для устранения недочетов и применения к разрабатываемому программному комплексу по определению остаточного ресурса электрической проводки в годах. В рассматриваемом патенте были выявлены недостатки и предложены способы их решения в рамках исследуемой темы.

Ключевые слова: электропроводка, остаточный ресурс, полное сопротивление, дифференциальный ток.

В процессе эксплуатации состояние электрической проводки 0,4 кВ зданий и сооружений постепенно ухудшается, в результате влияния на нее различных факторов, таких как частые перенапряжения из-за излишних нагрузок, попадания влаги, химических веществ и т.д. Для контроля состояния электрической проводки в рамках научно-исследовательской работы разрабатывается программная реализация для определения остаточного ресурса электрической проводки в годах, так как повышение качества обработки данных о состоянии объекта исследования является одним из важных аспектов, обуславливающих рост уровня современных технологий контроля и диагностики технического состояния электропроводки.

Целью данного этапа научной работы является анализ имеющихся исследовательских разработок в области контроля электропроводки, выявление и устранение недостатков.

Для детального изучения темы научной работы был проведен обзор имеющихся зарегистрированных разработок. В ходе изучения было выявлено несколько патентов, наиболее подходящий по теме исследования №2556299 «Способ определения остаточного ресурса электропроводки». [1]

В результате знакомства с патентом №2556299 были выявлены некоторые замечания в обосновании необходимости учета влияющих факторов при создании системы нечеткой логики. Замечания сведены в таблицу 1.

Что касается полного сопротивления петли «фаза-нуль», «фаза-фаза», «фаза-защитный проводник», то ГОСТ Р 50571.16-2007 рекомендует использовать метод падения напряжения на нагрузочном сопротивлении. Для измерения можно использовать электроизмерительный прибор MZC-300 от фирмы Sonel, работа которого основана на измерении напряжения с включенным и отключенным сопротивлением R. В данном случае сопротивление рассчитывается по формуле

$$R_s = \frac{U_1 - U_2}{I_R}, \quad (1)$$

где R_s — сопротивление петли; U_1 — напряжение, измеренное при отключенном R; U_2 — напряжение, измеренное при включенном R; I_R — ток, протекающий через сопротивление нагрузки. [2]

Измерение параметров петли производят в линиях, находящихся под напряжением. Коммутация резистора происходит через тиристорный блок, а применение аналого-цифрового преобразователя дает возможность осуществить данный метод с большой точностью.

В MZC-300 имеется функция RCD, которая применяется для измерения параметров цепи без обязательного срабатывания УЗО. Производится измерение сопротивления петли в диапазоне от 0 до 1999 Ом. Применение такого большого диапазона измерения вызвано вероятностью значительных величин полного сопротивления петли L — PE в электроустановках с выключателями дифференциального тока. Величина сопротивления заземления (наибольшая составляющая полного сопротивления цепи L — PE) должна быть в том случае такова, чтобы произошло срабатывание дифференциального выключателя при появлении недопустимого напряжения прикосновения. [3]

Схемы подключения MZC-300 представлены ниже на рисунках 1-3.

Для измерения дифференциального тока в одно- и трехфазных цепях переменного тока, находящихся под номинальным напряжением при включенных электроприемниках, следует использовать устройство Астро-Дельта от компании Астро-УЗО. Данный прибор позволяет оценить качество электромонтажных работ, следить за состоянием изоляции, выявить цепь или электроприемник с недопустимо низким сопротивлением изоляции.

Таблица 1 – Обоснование необходимости учета влияющих факторов при создании системы нечеткой логики

Влияющие факторы, контролируемые измерительными приборами	Обоснование необходимости учета	Замечания
Полное сопротивление изоляции цепи «фаза-нуль», «фаза-фаза», «фаза-защитный проводник» без отключения источника питания и срабатывания УЗО	Сопротивления изоляции цепей "фаза-ноль", "фаза-фаза" или «фаза — защитный проводник» изменяется в процессе эксплуатации электропроводки, влияя тем самым на ее остаточный ресурс	Неясность информации, каким образом измеряется полное сопротивление изоляции цепи «фаза-нуль», «фаза-фаза», «фаза-защитный проводник» без отключения источника питания с учетом систем заземления TN
Дифференциальный ток утечки на землю	Несоответствие значений дифференциального тока утечки рекомендуемым приводит к возможности поражения людей и животных (30 мА), к пожарам (100 мА), а, следовательно, к снижению остаточного ресурса электропроводки	Неясность информации, каким образом могут не соответствовать значения дифференциального тока утечки по фазам, так как утечка тока может быть отдельно по фазам, а в сумме давать нуль
Полное сопротивление линии и контура	Сопротивление проводникового материала линии и контура определяет качество электропроводки. Чем выше это сопротивление, тем меньше остаточный ресурс электропроводки	Неясность информации, каким образом измеряется полное сопротивление линии и контура

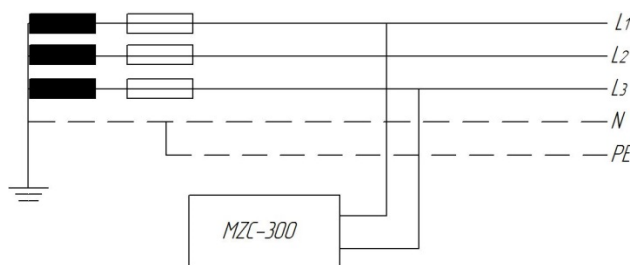


Рисунок 1 – Измерение в рабочей цепи L-L прибором MZC-300

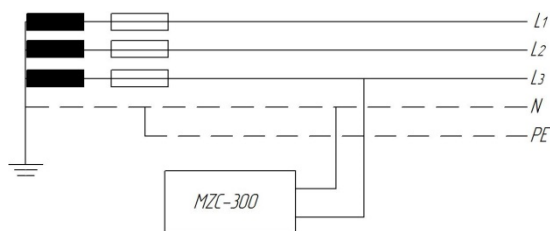


Рисунок 2 – Измерение в рабочей цепи L-N прибором MZC-300

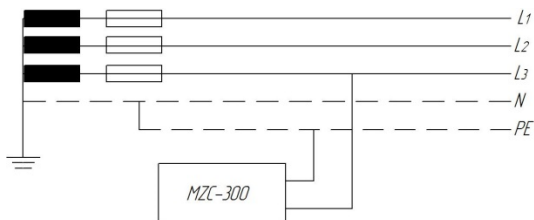


Рисунок 3 – Измерение в рабочей цепи L-PE прибором MZC-300

В соответствии с ПУЭ 7-го издания п. 7.1.83, «суммарный ток утечки с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить 1/3 номинального отключающего дифференциального тока УЗО.». В случае превышения током утечки такого значения необходимо выявить место дефекта изоляции путем последовательного отключения приемников и групповых цепей. [4]

Измерение полного сопротивления линии и контура может осуществить прибор МІ 2122 от компании METREL.

На рисунках ниже показано подключение прибора к объекту исследования для измерения полного сопротивления линии, а также измерения сопротивления контура. На рисунке 4 представлено стандартное подключение прибора.

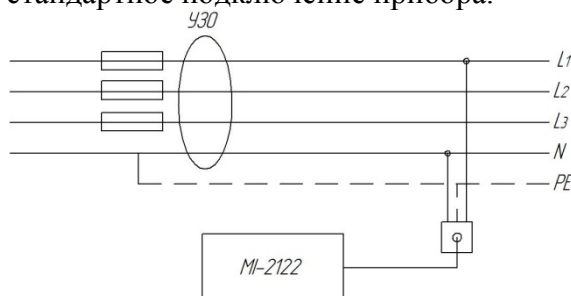


Рисунок 4 – Подключение прибора МІ 2122 с помощью силового кабеля

Был произведен анализ имеющихся разработок в области исследования остаточного ресурса электрических проводок. Рассмотрен наиболее подходящий по данной теме патент. Были выявлены его недостатки и предложены способы устранения. Сформированные результаты данного этапа работы будут положены в основу программной реализации мониторинга и прогностики остаточного ресурса электропроводки, которая будет вовремя оповещать о необходимости принятия мер по предотвращению аварийных ситуаций при эксплуатации электрической проводки.

Список литературы

1. Пат. № 2556299 Российская Федерация, МПК G01R29/08 (2006.01). Способ определения остаточного ресурса электропроводки [Текст] / Воробьев Н.П., Воробьева С.Н., Гончаренко Г.А., Никольский О.К.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)». – № 20141048/28; заявл. 04.02.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. – 28 с.
2. ГОСТ Р 50571.16-2007. Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания [Текст]. – Взамен ГОСТ Р 50571.16-99; введ. 27.12.07. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 32 с.
3. Измерение параметров петли «фаза-нуль» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://www.sonel.ru/ru/biblio/measurement/measurement_loop, – Загл. с экрана.
4. Правила устройства электроустановок [Текст]. – Москва: НЦ ЭНАС, 2015. – 560 с. ISBN 978-5-4248-0031-3

Смородина Анастасия Андреевна, студент АлтГТУ им. И. И. Ползунова, Россия, 656049, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46. Тел. 8-923-164-7254, e-mail: nasmorodina@bk.ru.

Воробьев Николай Павлович – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Адрес: 6560056, г. Барнаул, ул. Чернышевского, д. 28 кв. 40, Тел.: 8-961-9999-304, E-mail: vnprol51p@ya.ru

UPGRADE PATENT № 2556299 METHOD FOR DETERMINING OF RESIDUAL RESOURCE OF ELECTRICAL WIRING

Smorodina A.A., Vorobyev N. P.

Altai state technical University. I. I. Polzunov

This article raises the problem of the need to assess the state of electrical wiring 0.4 kV of buildings and structures. The authors explore the existing developments in this area to eliminate the shortcomings and applying to the developed software system to determine the residual life of the electrical wiring in years. In this patent flaws and suggest ways to address them within the framework of the study subjects were identified.

Keywords: electricity, residual life, impedance, differential current.

Bibliography

1. Pat. # 2556299 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01R29/08 (2006.01). Spособ opredeleniya ostatochnogo resursa elektroprovodki [Tekst] / Vorobev N.P., Vorobeva S.N., Goncharenko G.A., Nikolskiy O.K.; zayavitel i patentoobladatel FGBOU VPO «Alt. gos. tehn. un-t. im. I.I. Polzunova (AltGTU). – # 20141048/28; zayavl. 04.02.2014; opubl. 10.07.2015, Byul. # 19. – 28 s.
2. GOST R 50571.16-2007. Elektroustanovki nizkovoltnyye. Chast 6. Ispytaniya [Tekst]. – Vzamen GOST R 50571.16-99; vved. 27.12.07. – Moskva: Standartinform, 2008. – 32 s.
3. Izmerenie parametrov petli «faza-nul» [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://www.sonel.ru/ru/biblio/measurement/measurement_loop, – Zagl. s ekrana.
4. Pravila ustroystva elektroustanovok [Tekst]. – Moskva: NTs ENAS, 2015. – 560 s. ISBN 978-5-4248-0031-3

Smorodina Anastasia Andreevna, student, ASTU named after I. I. Polzunova, Russia, 656049, Barnaul. Phone: 8-923-164-7254, e-mail: nasmorodina@bk.ru.

Vorobyev Nikolay Pavlovich – doctor of technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department "electrification of production and everyday life" Altai state technical University. I. I. Polzunov. Address: 6560056, Barnaul, street Chernyshevsky, d. 28 sq 40; Tel: 8-961-9999-304, E-mail: vnprol51p@ya.ru.

УДК 621.315

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Калинин А.Ф.

Российская Федерация, г. Орёл, ОГУ имени И.С. Тургенева

Ерёмина Т.В.

*г. Улан-Удэ, Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления*

В статье указана основная причина возникновения электротравматизма в сетях с глухозаземлённой нейтралью, поэтому все электроприёмники должны заземляться путём соединения с PEN- или PE-проводником, в зависимости от системы электроснабжения, а именно: TN-C, TN-S, TN-C-S. Проведён анализ систем безопасности в сетях различных модификаций с применением устройств защитного отключения с целью обеспечения максимальной электрозащитной эффективности систем.

Ключевые слова: электроустановка, электробезопасность, защита, система электроснабжения, заземление, зануление, устройство защитного отключения.

В 1990-х годах в России были введены национальные стандарты МЭК, что положило начало создания новой нормативной и законодательной базы [1]. Принятие в России стандарта предусматривало применение защитных нулевых проводников и создание новых систем электроснабжения, что позволило создать нормативно-техническую основу применения в электроустановках УЗО [2, 3].

Известно, что одной из основных причин электротравматизма в сетях с глухозаземленной нейтралью является наличие напряжения на открытых проводящих частях (ОПЧ) электрооборудования. Электропоражения от прикосновения к этим частям составляют значительную часть всех несчастных случаев с летальным исходом. Поэтому при проектировании и монтаже электроустановки согласно ПУЭ все ОПЧ электроприёмников должны заземляться путем соединения с PEN-проводником в сетях TN-C (зануление) или с PE-проводником в сетях TN-S или TN-C-S [1]. Однако, как показали исследования требование о необходимости применения систем TN-C-S или TN-S привело к появлению ряда серьезных проблем [4]:

1. Возросла вероятность электропоражения из-за наличия в жилых и общественных зданиях оборудования с ОПЧ, имеющими соединение с землей при прикосновении к токоведущим частям электроустановки.

2. Возросла опасность возникновения пожаров из-за повреждения изоляции в электроприборах с заземленными проводящими частями.

3. При обрыве РЕ-проводника и прикосновении к ОПЧ электроустановки ток, протекающий через человека на землю, будет определяться качеством изоляции уже не одного, а группы электроприборов и может иметь опасное для жизни значение.

Поэтому для того, чтобы обеспечить необходимую безопасность электроустановок зданий необходимо повсеместно применять устройства защитного отключения. Так, например, использование УЗО с уставкой не более 30 мА, обеспечивает электробезопасность и при обрыве нулевого защитного проводника, когда на ОПЧ может появиться опасное для жизни человека напряжение. Вместе с тем традиционное защитное отключение не способно обеспечить безопасность при обрыве PEN-проводника. Кроме того, новая система электробезопасности с применением защитных нулевых проводников реализуется только во вновь сооружаемых зданиях, которые с учетом возможных объемов строительства в настоящее время составляют не более трех процентов от общего фонда ранее построенных зданий. Абсолютное же большинство электропоражений происходит в зданиях и жилых домах, электрические сети которых не имеют защитных проводников и УЗО. Сюда следует отнести электроустановки, эксплуатируемые вне помещений, включая, передвижные электроагрегаты и ручной электроинструмент.

Совершенствование систем безопасности может идти по следующим направлениям:

1. Использование TN-C системы электроснабжения с уравниванием потенциалов с помощью PEN-проводников в комбинации с автоматическим отключением питания. В этой системе нулевой провод (PEN) одновременно выполняет функции рабочего и защитного проводников. Применение УЗО возможно только при включении симметричной трехфазной нагрузки.

2. Использование УЗО в системе TN-S, TN-C-S электроснабжения с отдельными нулевыми и защитными проводниками. Такая система электробезопасности обеспечивает максимальную электрозащитную эффективность, позволяющую снизить опасность электропоражения в десятки раз. В большинстве случаев система электроснабжения объектов может быть построена либо по типу TN-C, либо по типу TN-C-S. Использование системы TN-S неоправданно из-за излишних дополнительных расходов, необходимость которых может быть обоснована наличием чувствительной защиты от замыкания на землю на питающей подстанции 6-10 /0,4 кВ. На рис. 1 приведена рекомендуемая для защиты электроустановок система TN-C-S, как наиболее экономичная и надёжная.

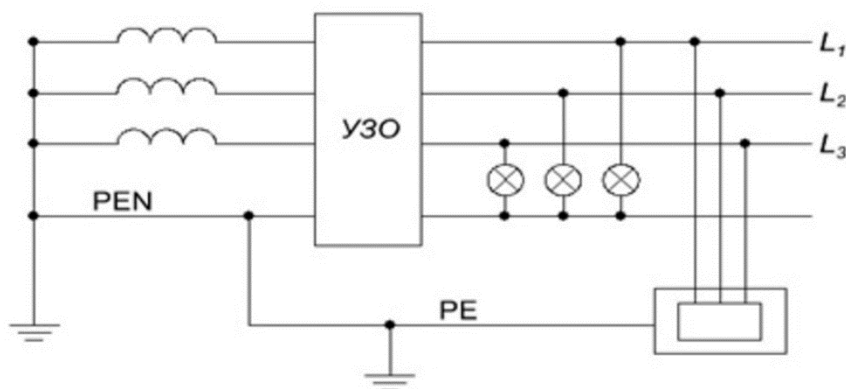


Рисунок 1 - Схема включения УЗО в системе TN-C-S

Сравнение рассмотренных трех вариантов исполнения системы электробезопасности применительно к зданиям с двухпроводными сетями показывает, что наиболее эффективным является третье, т.е. система TN-C-S. Следует отметить, что в жилых и общественных зданиях с повышенной опасностью поражения при установке УЗО на вводе (вводно-распределительном устройстве) электрозащитная эффективность повышается, как это указывалось, в десятки раз.

Таким образом, причиной негативного положения в области электробезопасности является несоответствие требований Правил устройства электроустановок (7-е издание) стандартам МЭК «Электроустановки зданий». Действующая нормативная база не в полной мере отражает современную концепцию электробезопасности в части отсутствия требований, регламентирующих обязательное применение защитного отключения, предупреждающего электропоражения и пожары в электроустановках.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92). Электроустановки зданий. Часть 4: Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – М.: Изд-во стандартов. – 1995. – 28 с.
2. Карякин, Р. Н. Нормы устройства безопасных электроустановок [Текст] / Р.Н.Карякин; – М.: Энергосервис, 2000. – 453 с.
3. ГОСТ Р 50807-95. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током: Общие требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 22 с.
4. Слободкин, А. Х. О концепции электробезопасности в сетях 380/220 В. с заземленной нейтралью и некоторые пути ее реализации [Текст] / А. Х. Слободкин // Промышленная энергетика. – 1998. – №4. – С. 32-34.

Калинин Александр Фёдорович, канд.технич.наук, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Орловская область, г. Орел a.k.brit@mail.ru;

Еремина Тамара Владимировна, д-р техн.наук, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, a.k.brit@mail.ru.

MAIN DIRECTIONS OF IMPROVEMENT SAFETY OF ELECTROINSTALLATIONS

Kalinin A. F.

*Russian Federation, Oryol, Oryol state university of a name
I. S. Turgeneva*

Eryomina T. V.

*Ulan-Ude, East Siberian state university
technologies and management*

In article the main reason for emergence of electrotraumatism in networks with a glukhozazemlyonny neutral therefore all electrorreceivers have to be grounded by connection with PEN - or the RE-conductor, depending on system of power supply is specified, namely: TN-C, TN-S, TN-C-S. The analysis of security systems in networks of various modifications with use of devices of protective shutdown for the purpose of ensuring the maximum electroprotective efficiency of systems is carried out.

Keywords: electroinstallation, electrical safety, protection, system of power supply, grounding, zeroing, device of protective shutdown.

Bibliography

1. GOST P 50571.3-94 (MEK 364-4-41-92). Electroinstallations of buildings. Part 4: Requirements for safety. Protection against defeat by electric current. – М.: Publishing house of standards. – 1995. – 28 pages.

2. Karjakin, R. N. of Norma of the device of safe electroinstallations / – M.: Power service, 2000. – 453 pages.

3. GOST P 50807-95. The protection devices operated by differential (residual) current: General requirements and test methods. – M.: Publishing house of standards, 1996. – 22 pages.

4. Slobodkin, A. H. O of the concept of electrical safety in networks 380/220 В. with the grounded neutral and some ways of her realization//Industrial power. – 1998. – No. 4. – Page 32-34.

Kalinin Alexander Fyodorovich, PhD in Technological Sciences, Oryol State university of name I.S. Turgeneva, associate professor "Electric equipment and energy saving", Oryol region, Oryol a.k.brit@mail.ru;

Eremina Tamara Vladimirovna, Dr.Sci.Tech., East Siberian state university of technologies and management, professor of "Ecology and Health and Safety" department, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, a.k.brit@mail.ru.

СЕКЦИЯ 2. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ

Руководитель:

Качанов Александр Николаевич - доктор технических наук, профессор, академик АЭН РФ, заведующий кафедрой ЭиЭ, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл

УДК 681.335 (07)

КАЛИБРОВКА ИННОВАЦИЙ

Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Комаристая Л.С.

Россия, г. Орел, ФБГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Проанализирована информационная технология калибровки как целенаправленная последовательность структурной и параметрической оптимизации калибровочных характеристик, тождественными желаемому эквиваленту за счет оптимизации методом экстремумов производных для выявления физических закономерностей сопротивлений по напряжению и току.

Ключевые слова: закономерности оптимизации сопротивлений, мгновенные и диффузионные, производные по току и напряжению, экстремум и оптимум, калибровочные характеристики, нелинейность и эффективность

Метод тождественности эквивалентам оценивает качественно закономерности оптимизации. Строгое доказательство с количественной оценкой дает метод экстремума производных. Сущность метода [1 – 3] заключается в нахождении экстремума исследуемой функции при обнулении производной для выявления условия оптимизации функции – закономерности оптимизации. Оценим закономерности оптимизации сопротивления r и нелинейности η по вольт- (ВОХ) и ампер- (АОХ) омным характеристикам.

Закономерности сопротивлений r_u , r_i находят по закону Ома $r = u/i$ относительно измерений напряжения u по ВОХ или тока i по АОХ

$$r_u = \frac{u}{I_0(e^{u/U_0} - 1)} = \frac{U_0 \ln(1 + i/I_0)}{i} = r_i, \quad (1)$$

за счет соответствующих представлений тока i вольтамперной характеристикой (ВАХ) или напряжения u через инверсную ВАХ [1, с. 156 – 162].

Закономерности оптимизации сопротивления r_u определим при обнулении производной $r_u' = dr/du$ BOX (1) для выявления оптимального r_u^* сопротивления [3, с. 170 – 184]

$$r_u' = \frac{d(u/I_0)}{du(e^{u/U_0} - 1)} = \frac{1}{I_0(e^{u/U_0} - 1)} - \frac{ue^{u/U_0}/U_0}{I_0(e^{u/U_0} - 1)^2} = 0.$$

Приведем подобные и с учетом (1) запишем тождество

$$\frac{1}{e^{u/U_0} - 1} \left[\frac{U_0}{I_0} - \frac{ue^{u/U_0}}{I_0(e^{u/U_0} - 1)} \right] = \frac{1}{e^{u/U_0} - 1} (R_0 e^{-u/U_0} - r_u^*) = 0,$$

из которого находим зависимость оптимального сопротивления r_u^* с диффузионным R_0 и нелинейностью η_u по напряжению BOX

$$r_u^* = R_0 e^{-u/U_0} = R_0 \eta_u,$$

а также закономерности оптимизации сопротивления r_u и нелинейности η_u

$$\underset{\eta_u=1}{opt} r_u = r_u^* = R_0, \quad \underset{u=0}{opt} \eta_u = \eta_u^* = 1. \quad (1a)$$

Закономерности (8a) подтверждают пределы

$$\lim_{\eta_u \rightarrow 1} r_u^* = \lim_{\eta_u \rightarrow 1} R_0 \eta_u = R_0, \quad \underset{u \rightarrow 0}{opt} \eta_u^* = \lim_{u \rightarrow 0} e^{-u/U_0} = 1, \quad (1б)$$

для единичного уровня нелинейности η_u^* и нулевой мере отсчета напряжения BOX.

Из пределов (1б) видно убывание до нуля текущего (мгновенного r или амплитудного R) сопротивления по экспоненте при увеличении напряжения относительно диффузионного сопротивления $R_0 = Const$ постоянного по величине с максимальным значением, независящим от изменения напряжения. Если нелинейность η_u и сопротивление r_u стремятся к нулю с увеличением напряжения, то эффективность $\psi_u = 1/\eta_u$ диффузионного сопротивления R_0 растет по экспоненте, т.к. она обратно пропорциональна нелинейности

$$\psi_u = \frac{R_0}{r_u} = e^{u/U_0}. \quad (1в)$$

Закономерности (1a) доказывают не только максимум и интеграцию диффузионным сопротивлением ненормированных измерений, но и высокую метрологическую эффективность (1в) параметра BOX, стабильность и достоверность, – уникальные свойства только мер отсчета и действительных значений, асимптот ординат характеристик идеального образа инновации и известных образцов с нормированными мерами отсчета границ адаптивного диапазона аналитического контроля.

Следовательно, закономерности экстремума производных, в отличие от качественной оптимизации тождественности эквивалентам множества измерений, математически строго и объективно оценивают количественно эффективность диффузионных параметров, как регламентированных калибров действительных значений, известных образцов и мер отсчета границ адаптивного диапазона контроля.

Закономерности сопротивлений r_i по току i вычисляют из равенства нулю производной $r_i' = dr/du$ для оптимального r_i^* сопротивления (1) АОХ [2, с. 86 – 94]

$$r_i' = \frac{d \ln(1+i/I_0)}{di(i/U_0)} = \frac{U_0/I_0}{i(1+i/I_0)} - \frac{U_0 \ln(1+i/I_0)}{i^2} = 0.$$

Вынесем в знаменателе за скобку ток i , а с учетом закона Ома $R_0 = U_0/I_0$ и сопротивления r_i^* оптимизации из (1) справедливо тождество

$$\frac{1}{i} \left(\frac{R_0}{1+i/I_0} - r_i^* \right) = 0,$$

из решения которого находят оптимальное сопротивление r_i^* АОХ

$$r_i^* = \frac{R_0}{1+i/I_0} = R_0 \eta_i, \quad (2)$$

а также закономерности оптимизации сопротивления r_i^* и нелинейности η_i^* по току

$$\underset{\eta_i=1}{opt} r_i = r_i^* = R_0, \quad \underset{i=0}{opt} \eta_i = \eta_i^* = 1. \quad (2a)$$

Закономерности (2a) следуют из пределов

$$\lim_{\eta_i \rightarrow 1} r_i^* = \lim_{\eta_i \rightarrow 1} R_0 \eta_i = R_0, \quad \underset{i \rightarrow 0}{opt} \eta_i^* = \lim_{i \rightarrow 0} e^{-i/I_0} = 1, \quad (2б)$$

единичного уровня нелинейности η_i^* при максимальной мере отсчета диффузионного сопротивления R_0 АОХ относительно нулевого тока.

Аналогично выше описанному доказывается метрологическая эффективность ψ_i [3, с. 170 – 184] диффузионного сопротивления R_0 относительно нелинейных измерений r_i

$$\psi_i = \frac{R_0}{r_i} = e^{i/I_0}. \quad (2в)$$

Закономерности оптимизации параметров АОХ подобны закономерностям оптимизации сопротивлений ВОХ.

Закономерности нелинейностей АОХ и ВОХ также следуют из нормированной по току η_i и напряжению η_u нелинейностей

$$\eta_u = \frac{u}{U_0(e^{u/U_0} - 1)} = \frac{I_0 \ln(1+i/I_0)}{i} = \eta_i. \quad (3)$$

Оптимальную нелинейность η_i^* АОХ нелинейности η_i определим из нулевой производной $\eta_i^* = d\eta_i/di$ по току:

$$\eta_i' = \frac{d \ln(1+i/I_0)}{di(i/I_0)} = \frac{1/I_0}{i(1+i/I_0)/I_0} - \frac{\ln(1+i/I_0)}{(i/I_0)^2 I_0} = 0.$$

Вынесем в знаменателе за скобку ток i и с учетом оптимальной нелинейности η_i^* из (3) получим уравнение

$$\frac{1}{i} \left[\frac{1/I_0}{(1+i/I_0)} - \frac{\ln(1+i/I_0)}{(i/I_0)} \right] = \frac{1}{i} (e^{-i/I_0} - \eta_i^*) = 0,$$

из которого выражаем нелинейность

$$\eta_i = \frac{r_i}{R_0} = e^{-i/I_0}, \quad (3a)$$

убывающую по экспоненте тока i АОХ, а также закономерности оптимизации (9a) сопротивления r_i^* и нелинейности η_i^* .

Оптимальную нелинейность η_u^* ВОХ параметра η_u по аналогии находят при обнулении производной $\eta_u^* = d\eta_u/du$ по напряжению:

$$\eta_u' = \frac{d(u/U_0)}{du(e^{u/U_0} - 1)} = \frac{1}{U_0(e^{u/U_0} - 1)} - \frac{ue^{u/U_0}/U_0}{(e^{u/U_0} - 1)^2} = 0.$$

Вынесем за скобку знаменатель первого слагаемого и с заменой из (3) нелинейности η_u^* запишем равенство

$$\frac{1}{U_0(e^{u/U_0} - 1)} [e^{-u/U_0} - \eta_u^*] = 0,$$

из которого находят нелинейность

$$\eta_u^* = \frac{r_i}{R_0} = e^{-u/U_0}, \quad (3б)$$

также убывающую по экспоненте с увеличением напряжения ВОХ и тождественных (1a) закономерностей оптимизации сопротивления r_u^* и нелинейности η_u^* .

Следовательно, закономерности ИКР экстремума производных, в отличие от качественной оптимизации тождественности эквивалентам, математически строго доказывают эффективность диффузионных параметров ВОХ и АОХ, как действительных значений известных образцов и мер отсчета границ адаптивного диапазона. Закономерности оптимизации доказывают не только максимум и интеграцию параметров множества ненормированных измерений, но и служат асимптотами ординат характеристик, регламентирующих желаемый образ инновации, тождественной ИКР исследуемого информационного процесса для организации информационной технологии калибровки высокоэффективных метрологических средств компьютерных анализаторов состава и свойств веществ и материалов.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Техника творчества. [Текст]/ Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168с.
2. Глинкин, Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем [Текст]/ Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 152с.
3. Чичев, С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий [Текст]. С.И. Чичев, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.: Спектр, 2014. – 228с.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Комаристая Людмила Семёновна, ст. преподаватель кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; тел.(4862) 419830.

The information technology of calibration is analyzed as a purposeful sequence of structural and parametric optimization of calibration characteristics identical to the desired equivalence due to optimization by the method of extremums of the derivatives to reveal the physical laws of resistances with respect to voltage and current.

Key words: regularities of resistance optimization, instantaneous and diffusion, current and voltage derivatives, extremum and optimum, calibration characteristics, nonlinearity and efficiency

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Technique of creativity. [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2010. - 168s.
2. Glinkin, E.I. Circuitry of analog integrated circuits [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2012. - 152p.
3. Chichov, S.I. Methodology for designing a digital substation in the format of new technologies [Text]. S.I. Chichev, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin - M.: Spectrum, 2014. - 228s.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru

Komaristaya Lyudmila Semyonovna, senior lecturer, kafedry «Elektrooborudovanie i energosberezhenie» FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgenyeva»; Tel.(4862) 419830

УДК 681.335 (07)

ТОЖДЕСТВЕННОСТЬ СТРУКТУР КАЛИБРОВКИ

Власова Е.В., Гликин Е.И.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проанализирована структурная оптимизация калибровочных характеристик методом тождественности эквивалентам основных форм представления науки и техники для создания информационной технологии калибровки как целенаправленной последовательности статистического анализа стандартов с фиксированной градуировочной характеристикой к аналитическому контролю инноваций.

Ключевые слова: тождественность эквивалентам, схемы и мнемоды, модели и алгоритмы, информативные параметры, аналитический контроль, структуры, градуировочные и калибровочные характеристики

Калибровка [1 – 3] инноваций отождествляет градуировочную характеристику среднестатистического образа физическому эквиваленту статики, кинетики или динамики в основных формах схемо- и мнемотехники, естественных и гуманитарных наук в процессе структурной оптимизации калибровочной характеристики.

По тождественному метрологическому эквиваленту стандартными методами анализа электротехники и микроэлектроники проектируют реальные образы структурных и функциональных схем, математических моделей и характеристик преобразований, выявляют физические закономерности и условия их реализации для оптимизации инновации до желаемого идеального конечного результата (ИКР) на этапах параметрической оптимизации эквивалентов и повышения метрологической эффективности. Параметрическую оптимизацию организуют методами тождественности эквивалентам и экстремума производных [1, с. 87 – 134], а повышают метрологическую эффективность инноваций до ИКР за счет реализации физических закономерностей. Закономерности оптимизации достигают при выполнении условий единичного уровня нелинейности и точности, нулевой меры отсчета виртуального потенциала и оценки погрешности отклонения от действительного значения по параметрам калибровочных

характеристик, оптимизируемым известными образцами с нормируемыми мерами границ адаптивного диапазона контроля.

Тождественность структурам калибровки градуировочной характеристики фантома необходима для выбора физического эквивалента с известными формами представления схем и программ, моделей и алгоритмов на уровне структурной оптимизации, а также выявления физических закономерностей проектирования линейных интегральных схем и параметрической оптимизации информативных параметров калибровочных характеристик.

Структурная оптимизация калибровочной характеристики [2, с. 127 – 135], в отличие от статистического анализа эфемерного образа точечной характеристики до усредненного образа фантома, отождествляет градуировочную характеристику с физическими эквивалентами форм представления функции, систематизированными в адресном пространстве схемо- и мнемотехники, естественных и гуманитарных наук, структурированных на физические процессы статики, кинетики и динамики.

Кластер динамики иллюстрирует эквиваленты функции во временных координатах на уровне амплитудно- и частотно-временных характеристик, дифференцированных по разделам, например, электродинамики на характеристики напряжения и тока, сопротивления и проводимости и т.д. В основу электродинамики положены схемы на реактивных элементах (конденсатор и индуктивность), а также резисторов и транзисторов, дифференциальных и операционных усилителях, реализующих пассивные нелинейные и активные линейные операторные схемы (интеграторы и дифференциаторы, фильтры и инверторы).

Статика объединяет эквиваленты функций, не зависящих от времени, а отражающих топологию активных сопротивлений на линейных преобразователях тока и напряжения, мощности и энергии. Пассивные (нелинейные) и активные (линейные) интегральные схемы реализуют физические эквиваленты вольтамперных (ВАХ), -сименсных (BCX) и -омных (BOX) характеристик.

Адресация кинетики систематизирует эквиваленты нелинейных или функциональных процессов полупроводников (варисторы и диоды, транзисторы и тиристоры), реле (электростатические, электромагнитные, микроэлектронные), приборы с зарядовой связью (светочувствительные линейки, координатные и угловые датчики). Кинетика отражает статику установившегося динамического процесса, поэтому представляется нелинейной или функциональной статической характеристикой электрической величины (тока или сопротивления) от напряжения (варисторы) или давления (тензорезисторы), температуры (терморезисторы) или освещенности (фото- и светодиоды или транзисторы).

Алгоритмы отождествления исследуемой ГХ с эквивалентами форм представления, как правило, без знания закономерностей физики и аналитического контроля, организуют субъективными психологическими методами творчества [3, с. 103 – 107]: перебора, эвристики и итерации. Методы перебора основаны на последовательном, параллельном или смешанном сравнении пары объектов (ГХ с эквивалентами характеристик или схем, алгоритмов или программ) для поиска псевдорационального решения (поиск иголки в стогу сена). Эвристические методы генерируют случайным образом предполагаемые решения, которые сравнивают с банком данных эквивалентов для выбора из них наилучшего по правилам квалиметрии. Суть итерационных методов состоит в отождествлении образа исследуемой градуировочной характеристики ij - тому эквиваленту из базы данных $n \times m$ -мерного адресного пространства и многократном анализе стандартными методами электротехники и микроэлектроники корректирующих результатов.

Следовательно, в отличие от случайного выбора структур из множества нетождественных полиномов при статистическом анализе множества ненормированных

измерений, аналитический контроль предлагает структурную оптимизацию градуировочной характеристики по эквивалентам информационных форм представления науки и техники, систематизированным в адресное пространство физических процессов статики, кинетики и динамики.

Информационные формы схем и программ, моделей и алгоритмов, способов и характеристик по методам аналогии и тождественности, инверсии и симметрии тождественны между собой в координатах преобразования и адекватны в образах представления. Адекватные физическим явлениям или информационным процессам формы представления науки и техники – тождественны между собой.

В схемотехнике аналоговые, импульсные и цифровые схемы с адекватными характеристиками тождественны между собой и в комбинаторной и в релейной и матричной логике на операционных и дифференциальных усилителях, мультивибраторах и генераторах, счетчиках и регистрах.

Программы мнемотехники с тождественными алгоритмами адекватны между собой на уровне блок-схем, языков высокого, среднего и низкого уровня; таблицах переключения, состояния и истинности в различных формах и базисах кодов.

Математическое обеспечение, адекватное физике явления или информационному процессу отражает тождественные математические алгоритмы и модели алгебры логики и арифметики, алгебры и тригонометрии, на уровне интегрального и дифференциального исчисления, комплексных переменных и операторов Лапласа. Точные обратные и прямые задачи приводят к различным формам представления согласно уровню иерархии, но адекватными физическому процессу характеристиками преобразования и метрологической эффективности.

Высокоэффективные метрологические средства включают адекватные физике натурального эксперимента тождественные эталонные и калибровочные характеристики, отождествляемые оптимизацией информативных параметров с действительными значениями известными образцами с нормированными мерами границ адаптивного диапазона для систематизации оценок характеристик в информационную технологию калибровки метрологических средств компьютерных анализаторов.

Следовательно, адекватные физике явления и процессам преобразования, архитектура техники и научное обеспечение содержат тождественные эквиваленты схем и программ, моделей и алгоритмов, характеристик преобразования и метрологической оценки для структурной оптимизации калибровочной характеристики методами тождественности эквивалентам и экстремума производных для систематизации оценок характеристик в информационную технологию калибровки.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Технология аналого-цифровых преобразователей [Текст]/ Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2008.-140с.
2. Чичев, С.И. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей. [Текст]/ С.И. Чичев, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.: Машиностроение, 2009. – 176с.
3. Глинкин, Е.И. Техника творчества. [Текст]/ Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168с.

Власова Елена Викторовна – аспирант кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; 392005, г. Тамбов, ул.Астраханская, д.195, корп.5, кв.98; birukova-ev@rambler.ru; 8-920-232-81-91.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Vlasova E.V., Glinkin E.I.
Russia, Tambov, Tambov State Technical University

Structural optimization of calibration characteristics by the method of identity is compared to the equivalents of the basic forms of the representation of science and technology for the creation of information technology of calibration as a purposeful sequence of statistical analysis of standards with a fixed grading characteristic for analytical control of innovations.

Keywords: equivalence to equivalents, schemes and mnemes, models and algorithms, informative parameters, analytical control, structures, calibration and calibration characteristics

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Technology of analog-to-digital converters [Text] / E.I. Glinkin, M.E. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2008.-140s.
2. Chichov, S.I. Information-measuring system of the control center for electrical networks. [Text] / S.I. Chichev, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin - M: Mechanical Engineering, 2009. - 176s.
3. Glinkin, E.I. Technique of creativity. [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2010. - 168s.

Vlasova Elena Viktorovna, Post-graduate student of the department "Biomedical engineering", FGBOU HPE "TSTU"; 392005, Tambov, ul.Astrakhanskaya, d.195, building 5, ap. 98;
Birukova-ev@rambler.ru; 8-920-232-81-91.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru

УДК 621.31(470):005.21

ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИЯ ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Кудрин Б.И.
Россия, г.Москва, ФБГОУ «НИИ «МЭИ»

С 1913 года, когда в журнале «Электричество» опубликовали статью об электрификации России, речь зашла о централизации генерации и распределения электроэнергии. После НЭП было ликвидировано свыше миллиона водных и ветряных источников энергии, в 60-е годы под термин «неперспективная деревня» было ликвидировано и 6500 ВИЭ-электростанций около 1 МВт каждая. Так в РФ на 2/3 территории без надёжного электроснабжения живёт 10 % населения, а Минэнерго исключило из своего названия и стратегии термин «электрификация». Свыше половины регионов России – электродефицитны; курс на строительство местных ТЭЦ в областных и крупных городах десятилетиями отвергался.

Рассматривая электроэнергетику, отметим, что 2015-й был третьим годом снижения электропотребления в ЕЭС (по данным Системного оператора) за год на 0,5 %. Объём электропотребления в 2016 г. в России составил 1054 млрд кВтч, что на 1,8 % больше показателя 2015 года; выработка – 1071 млрд кВтч больше на 2,1 %.

Целевой сценарий для РФ на 2020 г. предусматривает рост ВВП на 3,1 %, что предполагает рост электропотребления, но в меньших объёмах, чем прогнозирует Минэнерго на 2020 и 2035 годы. Вновь, как и 100 лет назад, актуализируется вопрос о научной концепции развития электроэнергетики, об устойчивом до конца века обеспечении потребителя электроэнергией.

Общепризнано наличие *электротехники* как науки и изготовителя электротехнических изделий; *электроэнергетики* – как науки о генерации, передаче, распределении, сбыте электрической энергии. Электротехнические комплексы и системы, которые располагают неизмеримо большими электрооборудованием и сетями, необходимыми для большей части населения страны, требуют официального признания и

разработки Закона о потребителе электротехнической продукции и электрической энергии. *Электрика*, с одной стороны, это электротехника – электрооборудование производств и цехов, других объектов, с другой – это электроэнергетика промышленности и транспорта, объектов строительства и агропрома, коммунально-бытовых объектов, спортивных, культуры, науки, обороны. Электрика как научное направление и область практического приложения отличается от электротехники и электроэнергетики тем, что она использует лишь готовые электротехнические изделия и произведённую электроэнергию, транспортируемую субъектами электроэнергетики до потребителя.

Своевременен вопрос о путях развития электроэнергетики. Напомним, что в период индустриализации именно электрики промышленности выдавали задания на источники питания и ЛЭП, на границу раздела «предприятие – энергосистема». В начале 60-х произошёл поворот, когда электроэнергетика под обещание довести электроэнергию «до каждого станка, коровника, розетки» стала выдавать технические условия на присоединение, запретила потребителю иметь собственные генерирующие мощности, а технологические условия для потребителя часто стали «неподъёмными» из-за обилия бумаг и требований.

Наш ценологический прогноз, основанный на структурно-топологической динамике статистики электропотребления по всем регионам России за 1990–2015 годы даёт величину на 2050 год – 1500 ТВтч. Причём это величина – предельная, в США её принимают на уровне 6000 ТВтч. В развитых странах ВВП растёт, а электропотребление не всегда увеличивается за счёт энергосбережения и применения энергоменеджмента.

По существу, наряду с программой развития электроэнергетики, предполагающей развитие генерации до 25 МВт и выше, должна быть и программа электрообеспечения поселений и малого бизнеса, включая всё отдалённое (глубинку). Здесь следует обратить внимание, что на 2030 год структура электропотребления США (промышленность, транспорт, коммерция, население), отличается от России и прогнозируется в следующих пропорциях, ТВтч/%: США – 1380/23,6; 90/1,5; 2350/39,6; 2000/34,3; всего 5800/100. Россия – 900/45,0; 240/12,0 (включая сельхоз); 400/20; 460/23; всего 2000/100.

Концепция новых требований к электроэнергетике – доступность, надёжность, экономичность, эффективность, органичность взаимодействия с окружающей средой, безопасность, технологическое единство. Необходимо применение РАБ – метода тарифного регулирования в электросетевом комплексе, основанного на принципе доходности вложенного капитала на 20 лет. Кстати, в США цены на электроэнергию уже 20 лет неизменны. Пока, в частности, тарифы в Сахалинской и Магаданской областях, Камчатском крае, в Якутии, Чукотском автономном округе доходят до 9,2 руб./кВтч.

Считая курс на сооружение гигантов энергетики ошибочным, а названные Генсхемой цифры, темпы роста Энергетической стратегии до 2030 года завышенными вдвое, мною предлагается осуществлять стратегию развития России, опираясь на ценологически распределённую генерацию, ориентированную на глубинку и пригороды, использующие местное органическое топливо и ВИЭ.

Уточним понятие ВИЭ: возобновляемые источники энергии – энергия солнца, энергия ветра, энергия вод (в том числе сточных), за исключением гидроаккумулирующих станций, энергия приливов, энергия волн водных объектов, в том числе водоёмов, рек, морей, океанов, геотермальная энергия, низкопотенциальная тепловая энергия земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей, биомасса, включая специально выращенные для получения энергии растения, в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, биогаз, газ, выделяемый на свалках, газ угольных разработок.

Стимулирование использования ВИЭ предполагает формирование тарифной политики и механизмов инвестиционной деятельности, применение эффективных

технологий и установок. Таким образом, кратко речь идёт о гарантированном подключении к государственным энергетическим сетям установок с использованием возобновляемых источников энергии, с обязательным приобретением государственными энергоснабжающими организациями электроэнергии, поставляемой производителями энергии из возобновляемых источников энергии в государственные энергетические сети, и её оплата по стимулирующим тарифам, дифференцированным в зависимости от вида используемого возобновляемого источника энергии. В США тысячи муниципальных электрокомпаний обслуживают половину потребителей, вырабатывая единицы процентов электроэнергии. Принципиально: для России необходим поворот, осуществляемый во всех развитых странах и заключающийся в строительстве некрупных электростанций, в обращении к широкому применению возобновляемых источников электроэнергии.

Очевидно, что ценологический анализ дополняет и уточняет подходы к сооружению новых генерирующих мощностей (и другой инфраструктуры), позволяя снизить капитальные затраты и повысить их эффективность в масштабах предприятия, региона, отрасли, государства. Также рейтинги в частности и ценологический подход в целом позволяют выявить важные тенденции и соотношения внутри рассматриваемых множеств субъектов (объектов) по годам, а подтверждение закономерностей на выборках разных по назначению элементов позволяет говорить об универсальности подхода в биологии, технике, социологии, экономике, финансах и других областях знаний.

На протяжении 1980–2016 гг. (см. Монографию, 2016) нами последовательно рассматривалась неверность (ошибочность) стратегии развития энергетики страны и завышенность прогноза генерации. Рост тарифов на электрическую и тепловую энергию и увеличение стоимости подключения к централизованным электросетям привели к необходимости строительства потребителями собственных локальных источников энергии (ММК, НЛМК, Запсиб).

Оказалось, что на 47-й сессии СИГРЭ многие из моих утверждений принимаются. Признана неудачной модель оптового рынка, где участвуют только электростанции мощностью 25 МВт и выше. Предлагается вернуть все ТЭЦ на региональные рынки. Розничные рынки электроэнергии предлагается создавать с включением в них генерации небольшой мощности. Мини-ТЭС следует эксплуатировать преимущественно в режиме когенерации и сооружать их недалеко от потребителей. Строительство объектов автономной генерации на базе ВИЭ особенно важно для удалённых населённых пунктов.

Внедрение электроустановок малой мощности есть следствие реформирования электроэнергетики, отражающее стремление многих потребителей стать независимыми от централизованного электроснабжения, от требований ПУЭ по вводам, от низкой надёжности.

Развитие генерации ВИЭ и собственных электростанций в рамках своей инфраструктуры энергоисточников, включая местные – неизбежно в конкурентной экономической среде и даёт возможность местным электростанциям работать на розничных рынках электроэнергии и тепла. Потребитель должен иметь право выбрать поставщика электроэнергии при выходе на оптовый или розничный рынки от энергосистемы или от местной частной электростанции.

Для электроэнергетики и электрики возникли, как существенные, аспекты окружающей среды. Речь идёт об экологии и социоценозах. Воздушные ЛЭП любого напряжения вредны, и их прокладка требует, помимо прочего, согласия населения. Ошибочным было и решение о строительстве ЛЭП 750 кВ для ОЭМК, и правилен отказ от линии 1150 кВ Красноярск–Тамбов, требующей по всей её длине «коридора» шириной 120 м без возможности размещения в нём чего-либо и кого-либо. Очевидно и внедрение кабельных систем.

Учитывая Федеральный закон от 29.12.2014 № 473 «О территориях опережающего социально-экономического развития Российской Федерации» и опираясь на изложенное,

руководствуясь ценологическим законом разнообразия и обязательностью соотношения «крупное-мелкое» для существующей и эволюционирующей технической реальности, подведём общие итоги.

1. Электрообеспеченность потребителей Российской Федерации в 17 раз ниже, чем в развитых странах Европы, где она составляет 862 МВтч·год/км². Сейчас 2/3 территории страны без надёжного электроснабжения, а это 20 млн человек, которые не могут повысить свой жизненный уровень без достаточного количества электричества (связи и дорог). Следует обеспечить строительство не крупных электростанций по РФ для ликвидации энергодефицита в регионах. Одновременно необходимо вывести малую генерацию из подчинения электроэнергетике, передав функции финансирования, управления и инвестиционного строительства этой генерации в регионы (муниципалитеты).

2. Отметим, что в 1926 г. население всех 405 тыс. существовавших деревень составляло 76,3 млн человек. В 1989 г. в оставшихся 153 тыс. деревень проживало уже 39,6 млн чел. Сейчас среднегодовое сокращение сельского населения составляет 0,39 %. За межпереписной период 2002–2010 гг. исчезло 8,5 тыс. поселений, а в 11,4 тыс. поселений никто не проживал. Обрекая глубинку на вымирание, власть закрывает малокомплектные школы, фельдшерские пункты, почты, рейсовые автобусы, малые аэродромы, магазинчики и ларьки, малый бизнес вообще.

3. Следует, наконец, отказаться от монополизации и централизации электроэнергетики, вернуться к лозунгу «Электрифицировать всю Россию!», включая глубинку и пригороды. При этом следует опираться на малую генерацию и ВИЭ (ветер, солнце, ГЭС, геотерм, биогаз). У нас сейчас 50 тыс. мелких автономных электростанций средней мощностью 340 кВт, в основном на органическом топливе, где стоимость доходит до 100 руб./кВтч, а в 60–70-е годы, напомним, в стране было уничтожено свыше 100 тыс. мелких электростанций.

4. Ставя вопрос о модернизации и инновациях, следует обратиться к инвестиционному проектированию. По инвестиционному климату у нас 120-е место в мировом рейтинге. В частности, в сельском хозяйстве 80 % субсидий выделяется крупным хозяйствам, мелким же и средним – 20 % (а это 250 тыс. фермеров и 18 млн частных хозяйств). Обратная пропорция была бы не только торжеством ценологической теории, но и началом подъёма глубинки.

5. Проблема электрификации связана с общей переписью поселений и определением затрат на их электроснабжение. Нами подобная работа была выполнена для нескольких регионов, в частности, для Астраханской области, где в каждом из 428 поселений живёт меньше 500 чел., где за три года 20 поселений исчезло, а в 11 – никто не живёт. Из 11,1 трлн руб., выделяемых на энергетику до 2020 г., следует часть перенаправить на ВИЭ глубинки. В развитых странах 70 % населения живёт в собственных домах, у нас – 70 % живёт в многоэтажках. Надо ежегодно строить до 2-х млн индивидуальных деревянных домов, установить безусловное право на частную собственность, включая индивидуальный электрифицированный жилой дом и земельный участок в объёме, необходимом для товарного производства.

6. Должно быть чётко осознано, что потребитель имеет границу раздела с субъектами электроэнергетики и использует электротехническую продукцию, выпускаемую на основе ТОО. Эта постановка тесно связана с введением системы Smart Grid, реализация которой целесообразна для населения и потребителей городов, но неприменима для крупных предприятий и высокотехнологичных потребителей, которые не могут допустить регулирование нагрузки лицам, не связанным с технологией данного производства.

7. Разрешить покупку, установку, включение сертифицированных устройств малой генерации, руководствуясь заявительным, а не разрешительным принципом; предусмотреть государственное финансирование 40–60 % первоначальных затрат на

установку ВИЭ с погашением кредита в течение 20 лет (с существенными льготами при рождении детей, с освобождением старшего сына от призыва).

8. Обязать электроэнергетику приобретать у потребителя электроэнергию, получаемую им от возобновляемых и вторичных источников энергии, по тарифу, согласованному на период 10–20 лет.

Заключение. Считать необходимой и неизбежной разработку Государственного плана рыночной электрификации России, который предполагает принятие Федерального Закона о потребителе электротехнической продукции и электрической энергии (отличающегося от Закона "О защите прав потребителей" вообще). Закон должен учитывать уровни системы электроснабжения и классификацию потребителей по величине электропотребления и мощности.

Кудрин Борис Иванович, профессор, доктор технических наук, профессор ФБГОУ «НИУ «МЭИ», сайт: kudrinbi.ru; e-mail: coenose@rambler.ru; тел. дом. 8-495-615-2870; сот. 8-916-136-5998.

Kudrin Boris Ivanovich, professor, doctor of technical sciences of National Research University «MPEI»; <https://kudrinbi.ru>; e-mail: coenose@rambler.ru; Tel. 8-495-615-28-70; 8-916-136-5998.

УДК 621.31

СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Королева Т.Г.

Россия, г. Орел, ФБГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье отмечается актуальность обеспечения требований ГОСТ 32144-2013 в распределительной сети бытового потребителя, особенно при подключении дорогостоящего чувствительного к качеству электрической энергии электрооборудования. Рассмотрены некоторые способы решения проблем качества электрической энергии в системе электроснабжения бытовых потребителей за счет применения различных защитных устройств.

Ключевые слова: параметры качества электрической энергии; трехфазная сеть; электроустановки бытового потребителя; отклонения напряжения; стабилизатор напряжения.

В последнее время по оценкам специалистов доля электроэнергии потребляемой в отдельных регионах России бытовым сектором достигает 30% от общего объема энергии продаваемой территориальными энергосбытовыми компаниями. При этом у бытовых потребителей постоянно растет количество электрооборудования и электронных устройств, чувствительных к кратковременным нарушениям электроснабжения, сопровождающимся отклонениями параметров качества электрической энергии от нормируемых ГОСТом 32144-2013 [1]. Обеспечение таких устройств электроэнергией с высоким качеством становится все более актуальной задачей.

Полностью исключить возможность возникновения той или иной причины, приводящей к ухудшению качества энергии или ее полному отключению невозможно ни в одной даже самой лучшей системе передачи и распределения электрической энергии. Как в городских, так и тем более в сельских электрических сетях достаточно часто возникают колебания, провалы, недопустимые отклонения напряжения, а также несимметричные и несинусоидальные режимы работы трехфазной системы [2]. Причиной этого могут являться отказы электрооборудования, коммутационные процессы, грозовые и атмосферные явления, обрывы и отключения одной фазы, механические повреждения элементов сети, ошибочные действия оперативного и ремонтного персонала и другие. Кроме того сами электротехнические устройства потребителей могут одновременно являться главными источниками проблем качества

электроэнергии. Например, компьютеры, телевизоры, электронная техника со встроенными импульсными источниками питания, механическая нагрузка с регуляторами скорости вращения приводов и многое другое электрооборудование, применяемое потребителями, проживающими в многоквартирных жилых домах, а также в домах и коттеджах частного сектора, представляют собой нелинейную нагрузку с импульсным потреблением тока. Результатом работы таких устройств является искажение синусоидальной формы напряжения или тока и появление высших гармоник.

В результате неравномерного распределения по фазам однофазных электроприемников, характерных для потребителей жилищно-бытового сектора, ухудшаются условия работы электротехнических устройств и всех элементов электрической сети: снижаются экономичность, срок службы оборудования и пропускная способность сети; растут потери энергии; возникают перегрев кабелей и пробой изоляционной оболочки; появляется искрение и возможно возникновение пожара [3].

Источниками колебаний напряжения, как правило, являются потребители электрической энергии с резкопеременным графиком нагрузки. Колебания напряжения отрицательно влияют на работу осветительных установок, устройств автоматики управления газовыми котлами системы отопления, циркуляционными насосами системы водоснабжения, нарушая их нормальное функционирование и снижая срок службы. При одном-двух колебаниях напряжения с размахом 1-1,5 % возможен сбой в работе системы управления с выдачей ошибочных команд, которые в свою очередь могут привести к полному выходу из строя управляемого оборудования [4]. При несимметрии напряжений в трехфазной сети возникают напряжения нулевой последовательности, приводящие к отклонениям напряжений на зажимах однофазных приемников.

В настоящее время для достижения требуемого уровня надежности и качества электроснабжения электроустановок бытового потребителя необходимы: разработка оптимальных систем распределения электроэнергии с выбором оптимальных значений сечений проводов и кабелей; применение рациональных конструкции распределительных и защитных устройств. В качестве последних используются стабилизаторы напряжения (СН), устройства защитного отключения (УЗО) и дифференциальные автоматы, устройства для защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), мультимодули или реле выбора фаз [5].

СН защищают бытовую технику от скачков напряжения в однофазной и трехфазной сети. Релейные модели СН переключают обмотки на трансформаторе с помощью силового реле, регулируя величину напряжения ступенчато. В симисторных и тиристорных электронных СН быстроедействие обеспечивается переключением обмотки автотрансформатора с помощью симистора. В сервоприводных электромеханических СН электрод передвигается по обмоткам трансформатора, обеспечивая регулирование напряжения на выходе. Высокую точность регулировки обеспечивают достаточно шумные феррорезонансные СН, которые могут эксплуатироваться в помещениях с повышенной влажностью. Наличие микроконтроллера и кварцевого генератора значительно увеличивает стоимость инверторных СН обеспечивая высокую точность стабилизации напряжения на выходе при широком диапазоне входного напряжения.

Защиту от импульсных перенапряжений обеспечивают УЗИП. Согласно стандарту МЭК IEC 61643 по назначению УЗИП разделяются на 1, 2 и 3 классы. Бытовые электроустановки дома разделяются на зоны, защищаемые УЗИП соответствующих классов. Первый и второй классы УЗИП устанавливаются во вводном и распределительных щитках дома или квартиры. Третий класс УЗИП предназначен для защиты дорогостоящих чувствительных к качеству электрической энергии установок и устанавливается непосредственно перед ними, как показано на рисунке 1.

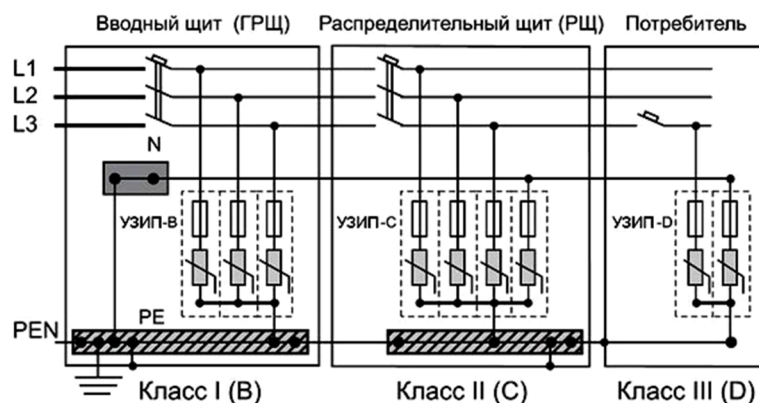


Рисунок 1 – Схема подключения УЗИП

В результате применения такой схемы удастся ступенчато снижать уровень перенапряжения, обеспечивая допустимые отклонения напряжения в точке подключения электроустановок потребителей.

Быстродействующую защиту человека от поражения электрическим током, от возникновения пожара, вызванного утечкой тока через изношенную изоляцию проводов и некачественные соединения, обеспечивают УЗО с электронным или электромеханическим устройством защитного отключения. При нарушении баланса токов между входящими токоведущими проводниками измеряемых с помощью дифференциального трансформатора тока за время не превышающее 25-40 мс УЗО размыкает все входящие в него контактные группы. В результате неисправная нагрузка отключается от сети.

Дифференциальные автоматические выключатели сочетают в себе функции автоматического выключателя и защитные свойства УЗО. Они осуществляют защиту электрической сети от коротких замыканий и перегрузок, а также защиту человека от поражений электрическим током при его косвенном соприкосновении с токоведущими частями электрооборудования, а также при утечке электрического тока.

Место установки УЗО и дифференциальных автоматических выключателей - вводно-распределительные устройства, распределительные и групповые щитки многоквартирных и частных домов и коттеджей. При обрывах нуля питающей линии дифференциальные автоматы и УЗО с электронной схемой управления не срабатывают, поэтому их устанавливают только в комплекте с реле напряжения.

Мультимодули и реле выбора фаз – позволяют выравнивать нагрузку всех фаз за счет автоматического определения загруженности каждой фазы, выбора и переключения однофазных электроустановок на фазу питания, оптимальную по уровню напряжения, при недопустимых отклонениях, колебаниях или полных провалах напряжения «рабочей» фазы. Время срабатывания реле выбора фаз составляет 0,1 секунды в течение, которого происходит кратковременный разрыв электрической цепи. Это может повлечь за собой нарушения работы электроприводов с асинхронными двигателями, электронных систем, сбой в системах автоматики и управления. Использование в локальной трехфазной сети мультимодуля при выборе оптимальных фаз позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение, производя подключение всех однофазных потребителей к одному устройству [6].

Если бытовой потребитель в своем электрохозяйстве планирует эксплуатацию дорогостоящего чувствительного к качеству электрической энергии электрооборудования, то чтобы избежать больших потерь, необходимо предусмотреть комплекс электрозащитных технических мероприятий от непредсказуемых изменений в питающей сети, включая оптимальный выбор и установку вышеперечисленных устройств защиты.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ. 2014.07.01. - М. : Стандартиформ, 2013. – 10 с.
2. Королева, Т.Г. Надежность и качество электрической энергии, как показатели энергоэффективности [Текст] // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век. - Орел: Изд-во Госуниверситет - УНПК, 2015. - С. 101-103.
3. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Текст] / Т.В. Анчарова. - М.: Форум, 2012. - 504 с.
4. Трофимова С.Н. Анализ повреждаемости электрооборудования в городских электрических сетях 6-35 кВ // Электробезопасность. - 2007. - № 4. - С. 33-41.
5. УЗО, реле времени, реле фаз, реле напряжения, щитовое оборудование ГРЩ, АВР, ВРУ [Электронный ресурс] – Режим доступа. - URL: <https://www.110volt.ru/> (дата обращения: 08.04.2017).
6. Максимов С.П., Ворона В.В., Баукин А.И. Мультимодуль выбора фаз// Патент России № 127539. 2013. Бюл. № 12.

Королева Татьяна Геннадьевна, канд.техн.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»; Тел.(4862) 419830, E-mail: tgkoroleva@mail.ru.

METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF ELECTRICITY QUALITY OF DOMESTIC CONSUMERS

Koroleva T.G.

*PhD in Technical Sciences, associate Professor,
OSU named after I. S. Turgenev*

The article notes the relevance of ensuring the requirements of GOST 32144-2013 in the distribution network household consumers, especially when connecting expensive sensitive to power quality of electrical equipment. Discusses some ways of solving problems of power quality in the power system household consumers through the use of various protective devices.

Keywords: electrical power quality characteristics; three-phase network; electrical devices for household consumers; Voltage deviations; voltage stabilizer.

Bibliography

1. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. - Vved. 2014.07.01. - M. : Standartinform, 2013. – 10 s.
2. Koroleva, T.G. Nadezhnost i kachestvo elektricheskoy energii, kak pokazateli energoeffektivnosti [Tekst] // Energo- i resursosberezhenie - XXI vek. - Orel: Izd-vo Gosuniversitet - UNPK, 2015. - S. 101-103.
3. Ancharova, T.V. Elektrosnabzhenie i elektrooborudovanie zdaniy i sooruzheniy [Tekst] / T.V. Ancharova. - M.: Forum, 2012. - 504 s.
4. Trofimova S.N. Analiz povrezhdaemosti elektrooborudovaniya v gorodskikh elektricheskikh setyakh 6-35 kV // Elektrobezopasnost. - 2007. - № 4. - S. 33-41.
5. UZO, rele vremeni, rele faz, rele napryazheniya, shchitovoe oborudovanie GRShch, AVR, VRU [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa. - URL: <https://www.110volt.ru/> (data obrashcheniya: 08.04.2017).
6. Maksimov S.P., Vorona V.V., Baukin A.I. Multimodul vybora faz// Patent Rossii № 127539. 2013. Byul. № 12.

Koroleva Tatyana Gennadevna, k.t.n., docent kafedry «Elektrooborudovanie i energosberezhenie» FGBOU VO «Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva»; Tel.(4862) 419830, E-mail: tgkoroleva@mail.ru.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Мезенцева А.В., Никулин А.А.

Россия, г. Орел, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Проведен анализ работы двигателя постоянного тока на основе широтно-импульсного управления, рассмотрено влияние различных способов управления на работу электромеханических систем в различных режимах, выявлены наиболее оптимальные условия функционирования систем электроприводов постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями.

Ключевые слова: широтно-импульсный преобразователь, электромеханическая система, двигатель постоянного тока, режим работы, способ управления.

Управление работой двигателя постоянного тока можно осуществлять разными способами, в т.ч. изменением напряжения, который достаточно просто реализуется в системе управления ШИП-ДПТ (широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока). Для того чтобы определить насколько эффективным будет управление электромеханической системы необходимо провести анализ работы двигателя постоянного тока с заданным законом управления и оценить факторы, влияющие на его работу при различных режимах с целью выявления наиболее оптимальных условий его функционирования.

Процессы, протекающие в двигателе постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением в полной мере описываются уравнениями, которые определяют электромеханические и электромагнитные процессы и учитывают состояние двигателя в переходном и установившемся режимах [1,2].

В рассматриваемой электромеханической системе, обобщенная модель которой представлена на рис. 1, входными переменными (задающие воздействия) в работе двигателя являются напряжение якоря U и момент сопротивления движению M_c при определенном токе возбуждения, выходными – переменные, определяющие состояние двигателя: скорость вращения вала двигателя ω и ток якоря I , определяемый величиной электромагнитного момента M . Остальные переменные при проведении исследования являются заданными.

В рассматриваемой системе управления двигателем постоянного тока на параметры состояния работы двигателя при изменении входного напряжения влияет также и ряд варьируемых в процессе работы факторов [3]: величина значения тока возбуждения (потока) и нагрузка на валу. Напряжение в системе ШИП-ДПТ подается на якорь двигателя импульсным способом. Принцип широтно-импульсного регулирования заключается в том, двигатель периодически подключается к источнику питания и отключается от него, период коммутации при этом T остается постоянным, а изменяется только время замкнутого состояния ключа t_z , т.е. изменяется скважность γ . Скважность

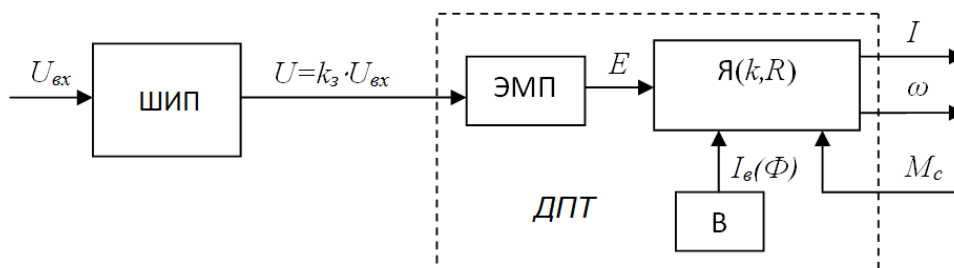


Рисунок 1 – Обобщенная модель системы ШИП-ДПТ

сигнала на выходе ШИП изменяется от 0 до 1 во всем диапазоне входного напряжения (на практике, как правило, γ устанавливается на уровне 0,85-0,9) [4,5].

Опорное напряжение на якоре при широтно-импульсной модуляции зависит от сигнала управления с учетом коэффициента заполнения: $k_3 = \gamma$ – для нереверсивного ШИП (несимметричное управление) и $k_3 = (2\gamma-1)$ – для реверсивного ШИП (симметричное управление). Выбор способа управления зависит от требований к энергетическим и регулировочным характеристикам электропривода [6].

Меняя величину опорного напряжения на якоре двигателя посредством изменения коэффициента заполнения можно получить семейство характеристик, определяющих параметры состояния системы. При этом исследование переменных, характеризующих состояние двигателя удобно проводить в относительных единицах, когда $\bar{U}=1$ и $\bar{\Phi}=1$. Тогда уравнения, отражающие работу двигателя в установившемся режиме будут иметь вид:

$$\bar{\omega} = k_3 - \bar{M} \cdot \bar{R} \quad \text{и} \quad \bar{I} = \frac{k_3 - \bar{\omega}}{\bar{R}} \equiv \bar{M}, \quad (1)$$

где $\bar{R} = \frac{R}{R_n}$ – относительное сопротивление якоря.

При номинальном моменте нагрузки на валу, когда $\bar{M} = \bar{I} = 1$ скорость соответственно равна:

$$\bar{\omega} = k_3 - \bar{R}. \quad (2)$$

Объектом исследования в работе является система реверсивного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) постоянного напряжения с двигателем постоянного тока (рис. 2). [7] Предмет исследования – выходные параметры системы (скорость двигателя и ток якоря) ДПТ (независимого) параллельного возбуждения с

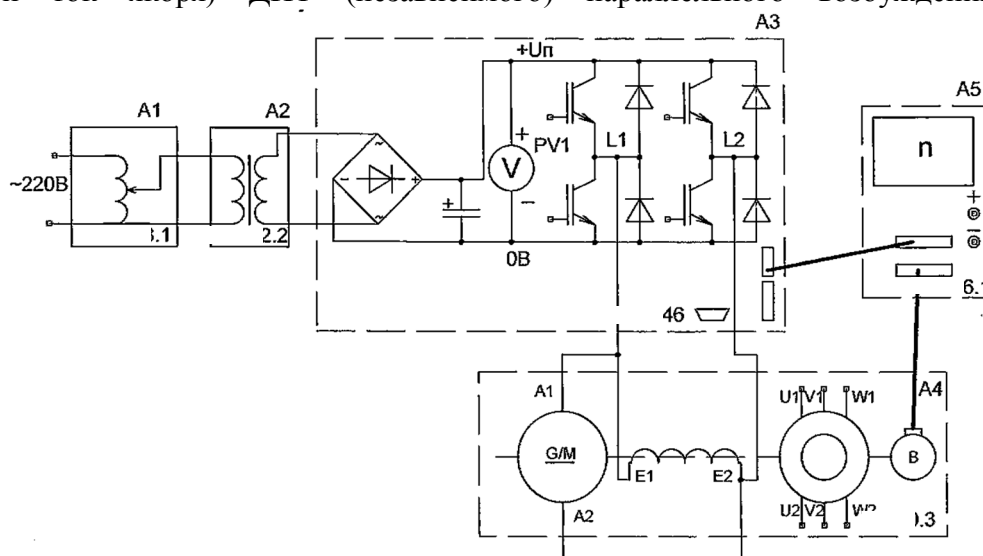


Рисунок 2 – Схема исследования системы ШИП-ДПТ

несимметричным законом управления ШИП и различными режимами работы (разное напряжение питания, ток возбуждения, отличный от 100 %).

Семейство характеристик, отражающих работу электромеханической системы ШИП-ДПТ представлено на рис. 3.

Как видно, для реверсивного ШИП при симметричном способе управления при одном и том же диапазоне изменения напряжения посредством регулирования сигнала управления, например, в пределах $1 \geq \gamma \geq 0,6$ изменение скорости происходит в 2 раза быстрее по сравнению с нереверсивным ШИП при несимметричном способе управления (рис. 4).

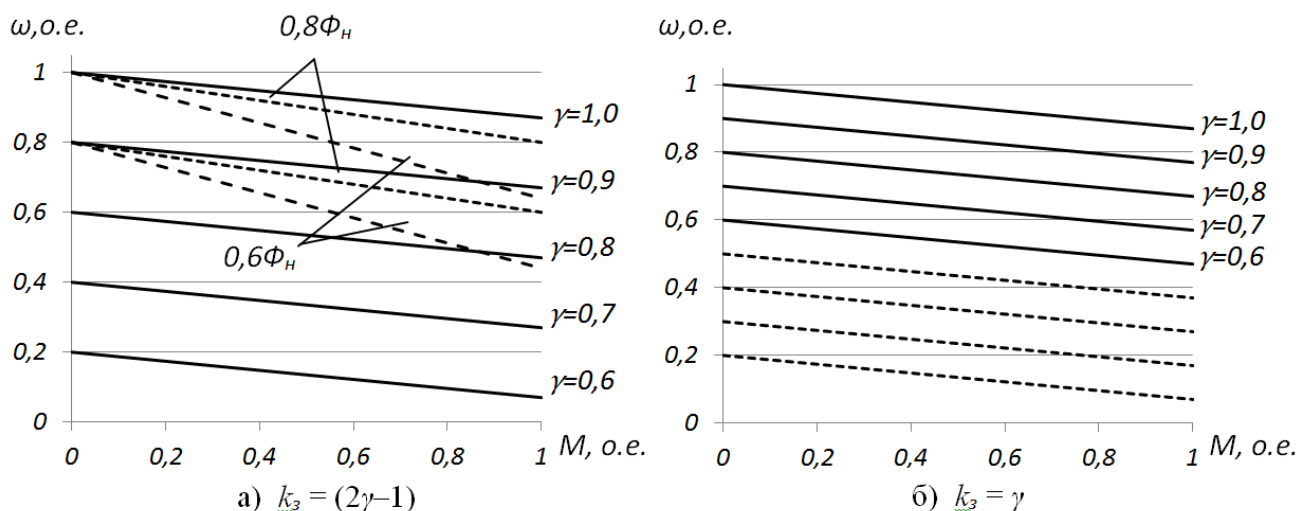


Рисунок 3 – Характеристики ЭМС ШИП-ДПТ

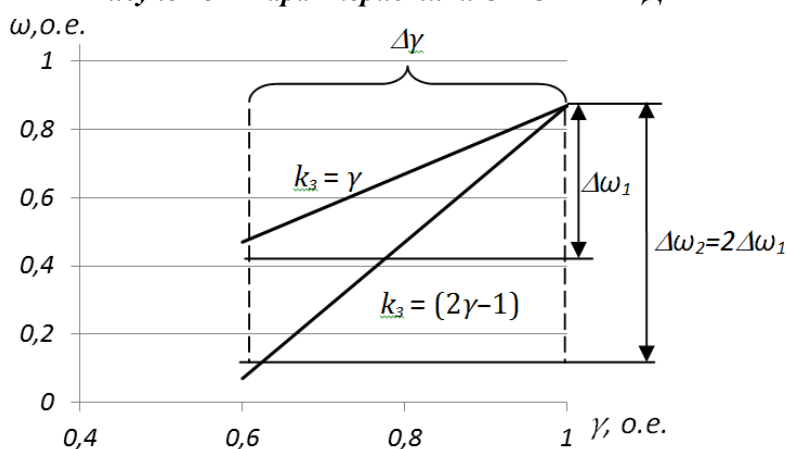


Рисунок 4 – Влияние величины сигнала управления напряжением на скорость ДПТ

Изменение тока возбуждения в сторону уменьшения ведет к увеличению скорости идеального холостого хода и возрастанию перепада скорости, т.е. жесткость характеристик снижается, что приводит к повышению неустойчивости управления при изменении нагрузки. Также, для поддержания необходимого скоростного режима необходимо понижать напряжение питания, т.е. диапазон возможного регулирования при изменении тока возбуждения снижается.

Таким образом, в ходе выполнения работы проведен анализ использования широтно-импульсных преобразователей в электромеханических системах с различными способами управления. На основании характеристик системы можно делать выводы относительно возможности применения ШИП для различных режимов работы. Потери мощности, возникающие при регулировании скорости, определяют КПД электромеханической системы, поэтому при оценке экономичности регулируемого электропривода также следует принимать во внимание и потери энергии в процессе регулирования.

Список литературы

1. Ковчин С. А. Теория электропривода [Текст] / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 496 с.
2. Москаленко В.В. Электрический привод [Текст] / В.В. Москаленко. – М.: Мастерство, 2000. – 368 с.
3. Панкратов В.В. Автоматическое управление электроприводами: Ч. 1. Регулирование координат электропривода постоянного тока [Текст] / В.В. Панкратов – Новосибирск: Издво НГТУ, 2013. – 200 с.

4. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) [Электронный ресурс].–URL: <http://gg0715.narod.ru/esa/8.html> (дата обращения: 17.04.17)
5. Принципы построения и управления ШИП [Электронный ресурс].– URL: <http://lektsii.org/7-75946.html> (дата обращения: 17.04.17)
6. Энергетические свойства электроприводов [Электронный ресурс]. – URL: <http://electroprivod.kpi.ua/index.php> (дата обращения: 20.04.17)
7. Чикота В.В. Многофункциональный транзисторный преобразователь. Руководство по выполнению базовых экспериментов [Текст] / В.В. Чикота. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2008. – 127 с.

Мезенцева Антонина Викторовна, канд.техн.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, г. Орел.
Никulin Артем Александрович, магистр 1 курса кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, г. Орел.

ANALYSIS OF METHODS OF CONTROL OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH DIRECT CURRENT MOTOR

Mezentseva A.V., Nikulin A.A.

Russia, Orel, Orel State University of I.S. Turgenev

The analysis of the operation of the DC motor based on pulse-width control, the influence of various control methods on the performance of electro-mechanical systems in various modes, the most optimal conditions for the functioning of the systems of electric drives direct current with pulse-width converters.

Keywords: pulse-width Converter, an Electromechanical system, a Direct Current motor, the operation mode control method.

Bibliography

1. Kovchin S. A. *Teoriya elektropivoda* [Theory of electric drive], Sankt-Peterburg: Energoatomizdat, 2000, 496 p.
2. Moskalenko V.V. *Elektricheskiy pivod* [Electric drive], Moskva: Masterstvo, 2000, 368 p.
3. Pankratov V.V. *Avtomaticheskoe upravlenie elektropivodami: Ch. 1. Regulirovanie koordinat elektropivoda postoyannogo toka* [Automatic control of electric drives: Part 1. Regulation of the coordinates of the DC electric drive], Novosibirsk: NGTU, 2013, 200 p.
4. Available at: <http://gg0715.narod.ru/esa/8.html> (April 17, 2017)
5. Available at: <http://lektsii.org/7-75946.html> (April 17, 2017)
6. Available at: http://imed.narod.ru/el_mech/pwm.htm (April 19, 2017)
7. Chikota V.V. *Mnogofunktsional'nyy tranzistornyy preobrazovatel'. Rukovodstvo po vypolneniyu bazovykh eksperimentov* [Multifunction transistor Converter. Guide complete basic experiments], Chelyabinsk: IPTs «Uchebnaya tekhnika», 2008, 127 p.

Mezentseva Antonina Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Electrical Equipment and Energy Saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

Nikulin Artem Aleksandrovich, Master of 1 course of the department "Electrical equipment and energy saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Мезенцева А.В., Шалимов М.С.

Россия, г. Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева

Проведен анализ существующих систем управления на основе частотно-регулируемого электропривода, рассмотрен подход в построении алгоритма решения по формированию оптимально протекающих процессов в электроприводе, установлено, что для повышения эффективности управления требуется более детальное исследование возможности энергосберегающего режима с учетом различных параметров функционирования.

Ключевые слова: частотное управление, асинхронный электропривод, регулирование скорости, нагрузка, потери, энергосберегающий режим.

Повышение эффективности производственных процессов предприятий на основе систем управления электродвигателями предъявляет высокие требования к качеству функционирования электромеханических систем, являющимся основным звеном обеспечения оптимального рабочего процесса конкретных машин и механизмов, входящих в определенную технологическую структуру. Выполнению этих требований способствует автоматизированный электропривод, с помощью которого можно осуществить плавное и широкое регулирование скорости исполнительного механизма, обеспечить оптимальные технологические режимы и повысить энергетическую эффективность его работы [1].

При всем многообразии существующих на данный момент алгоритмов управления асинхронным электроприводом переменного тока, представляющих собой развитие и совершенствование классических принципов теории автоматического управления, и большое количество вариантов аппаратной реализации существуют определенные типовые решения, применяемые большинством производителей. Управление работой двигателя возможно различными способами, однако, в большинстве современных электроприводов переменного тока для решения разного рода задач регулирования используется в основном частотное управление как наиболее эффективный способ из всех возможных [2].

Структура преобразователей частоты и выполняемые ими функции максимально унифицированы и стандартизированы. При этом регулируемый электропривод в рассматриваемой системе управления ПЧ-АД также как и любой другой регулируемый электропривод решает две основные задачи [3,4]: управление моментом электродвигателя и управление скоростью его вращения. Необходимость регулирования момента определяется техническими и технологическими требованиями, предъявляемыми к электроприводе. Управление скоростью вращения обусловлено различными технологическими режимами работы производственных механизмов.

Исследуемая в работе система управления ПЧ-АД с автономным инвертором напряжения на базе существующего учебного лабораторного комплекса [5] создана на основе линеаризованной замкнутой системы ПЧ-АД с обратной связью по скорости, схема соединений которой представлена на рис. 1.

Для любого из заданных режимов можно задать условие нагружения, состояния и (или) управления. Координаты и параметры электропривода в соответствии с рассматриваемой схемой управления изменяются в статическом режиме. Определение скорости, тока якоря и момента двигателя осуществляется путем сканирования их зависимостей от времени с помощью цифровых индикаторов. Механическая характеристика двигателя определяется в начале и конце интересующего временного интервала работы электропривода.

Анализ кривых показывает, что потери в двигателе зависят как от частоты вращения, так и от момента нагрузки: при увеличении момента нагрузки и уменьшении скорости возможности уменьшения потерь снижаются. При нагрузках близким к номинальным уменьшение частоты вращения приводит к увеличению суммарных потерь по сравнению с номинальными. При моменте нагрузки меньше номинального и $\omega = \omega_{\text{ном}}$ можно сэкономить порядка 15% энергии. При скоростях меньше номинальных нагрузку целесообразно снижать, например, при $\omega < 0,5\omega_{\text{ном}}$ увеличение потерь наименее заметно, если момент сопротивления $M_c < 0,6M_{\text{ном}}$.

При невысоких нагрузках суммарные потери в двигателе с уменьшением частоты уменьшаются, а при нагрузках близких к номинальным характер поведения суммарных потерь в двигателе меняется. В этих случаях с уменьшением частоты суммарные потери в двигателе начинают увеличиваться за счет увеличения потерь в меди обмоток статора и ротора, несмотря на то, что потери в стали и механические потери уменьшаются. Дальнейшее уменьшение скорости приводит к значительным потерям, так, например, при скорости $\omega = 0,2\omega_{\text{ном}}$ и перегрузке двигателя на 10 % суммарные потери в нем увеличиваются в 2 раза.

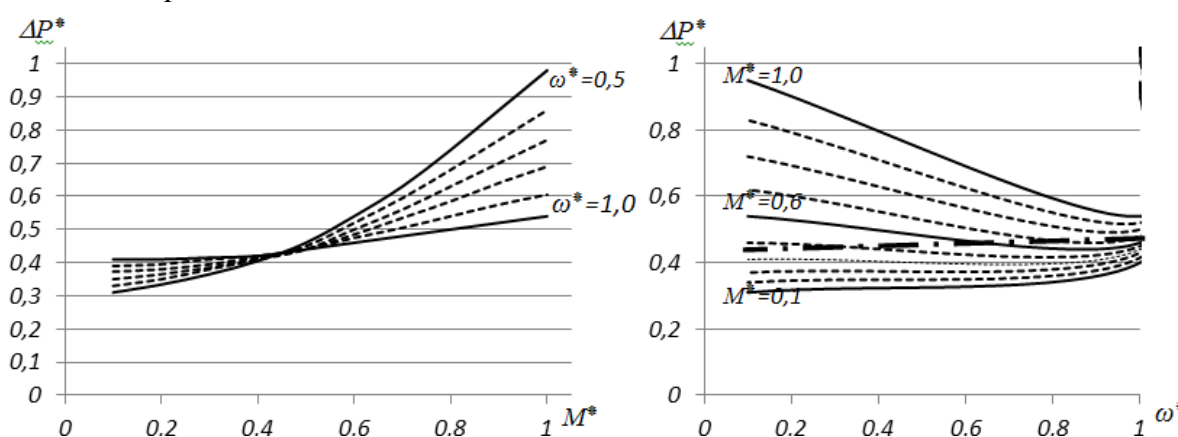


Рисунок 2 – Характеристики суммарных потерь при заданных скоростях и при фиксированных значениях момента

Оценку эффективности существующих систем автоматического управления ПЧ-АД с обратной связью по скорости, расчетов и последующего анализа режимов работы АД и электроприводов на их основе следует проводить с учетом выражений зависимостей скольжения (скорости) от параметров управления (частоты или напряжения), от параметров состояния (потока или тока), а в расчетных режимах – от параметров нагрузки (режимов его работы). Для решения проблемы энергосбережения требуется разработка алгоритма функционирования асинхронного электропривода с оптимальным управлением из условия минимума потерь мощности, минимума потребляемой мощности и максимума коэффициента полезного действия.

Список литературы

1. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода [Текст] / В.И. Ключев – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Богданов Д.М. Применение преобразователей частоты для управления электроприводами [Электронный ресурс]. – URL: <https://rae.ru/forum2011/pdf/article826.pdf> (дата обращения: 15.04.17)
4. Касимова А. Е. Исследование нелинейной системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» [Текст] // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). – Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. – С. 72-77.

5. Галишников Ю.П. и др. Руководство по выполнению базовых экспериментов «Основы электропривода» [Текст] / Ю.П. Галишников, А.Н. Садовников, П.Н. Сенигов – Челябинск: ЮУрГУ, 1999. – 127 с.

6. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод [Текст] / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

7. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов [Текст] / В. М. Терехов, О. И. Осипов – М.: Издательский центр, «Академия», 2006. – 304 с.

Мезенцева Антонина Викторовна, канд.техн.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, г. Орел.

Шалимов Максим Сергеевич, магистр 1 курса кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, г. Орел.

ANALYSIS OF CONDITIONS OF EFFECTIVE OPERATION OF THE ELECTRIC DRIVE IN THE CONTROL SYSTEM OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR

Mezentseva A.V., Shalimov M.S.

Russia, Orel, Orel State University of. I.S. Turgenev

The analysis of existing control systems on the basis of the frequency and adjustable electric drive, an approach to build a solution algorithm for the formation of optimal processes in the electric drive, it is established that for increase of efficiency of control requires a more detailed study of the possibility of energy-saving modes tailored for different operating parameters.

Keywords: frequency control of asynchronous electric drive and regulation of speed, load, loss, power-saving mode.

Bibliography

1. Terekhov V. M., Osipov O. I. *Sistemy upravleniya elektropriwodov* [Control system of electric drives], Moskva: Akademiya, 2005, 304 p.

2. Klyuchev V. I. *Teoriya elektropriwoda* [Theory of the electric drive], Moskva: Energoatomizdat, 2001, 704 p.

3. Available at: <https://rae.ru/forum2011/pdf/article826.pdf> (April 15, 2017)

4. Kasymova A. E. Issledovanie nelineynoy sistemy Preobrazovatel' «Chastoty – asinkhronnyy dvigatel'» [Investigation of the nonlinear system «Frequency converter - asynchronous motor»], *in materialy Tekhnicheskie nauki: teoriya i praktika*, Chita, 2016, pp. 72-77.

5. Galishnikov Yu.P. i dr. *Rukovodstvo po vypolneniyu bazovykh eksperimentov «Osnovy elektropriwoda»* [Manual on the implementation of basic experiments «Basics of electric drive»], Chelyabinsk: YuUrGU, 1999, 127 p.

6. Braslavskiy I. Ya., Ishmatov Z. Sh., Polyakov V. N. *Energoberegayushchiy asinkhronnyy elektropriwod* [Energy-saving asynchronous electric drive], Moskva: Akademiya, 2004, 256 p.

7. Terekhov V. M., Osipov O. I. *Sistemy upravleniya elektropriwodov* [Control systems of electric drives], Moskva: Akademiya, 2006, 304 p.

Mezentseva Antonina Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Electrical Equipment and Energy Saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

Shalimov Maksim Sergeevich, Master of 1 course of the department "Electrical equipment and energy saving" Orel State University. I.S. Turgenev in the city of Orel.

ФИЛЬТРАЦИЯ НЕКАНОНИЧЕСКИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Комаристый А.С., Крючков Ю.А.

Россия, г. Орел, ОГУ им. С.И. Тургенева

В данной статье рассмотрен вопрос моделирования процесса фильтрации высших гармоник в среде Matlab Simulink.

Ключевые слова: Matlab Simulink, фильтрация высших гармоник, гармонические составляющие тока.

В связи с увеличением установленной мощности потребителей с резкопеременной, несимметричной и нелинейной нагрузкой происходит все более частое искажение формы кривых тока и напряжения и увеличению неактивных составляющих полной мощности в сетях машиностроительных предприятий. Анормальные гармоники появляются в следствии асимметрии импульсов управления, свойственные всем системам управления.

Для недопущения вредных воздействий нам следует оценить воздействие элементов с резкопеременной нагрузкой, затем выбрать наиболее оптимальный способ компенсации несинусоидальности напряжения, и в итоге оценить положительное воздействие фильтров.

Для оценки суммарного коэффициента гармонических составляющих тока и напряжения, построена виртуальная модель реальной системы литейного цеха с кран-балками и оборудованием построенного на базе полупроводниковых преобразователь частоты – а так же дугowymi печами которые применяются в литейных цехах машиностроительного предприятия с помощью Mathlab Simulink схема которого представлена на рисунке 1.

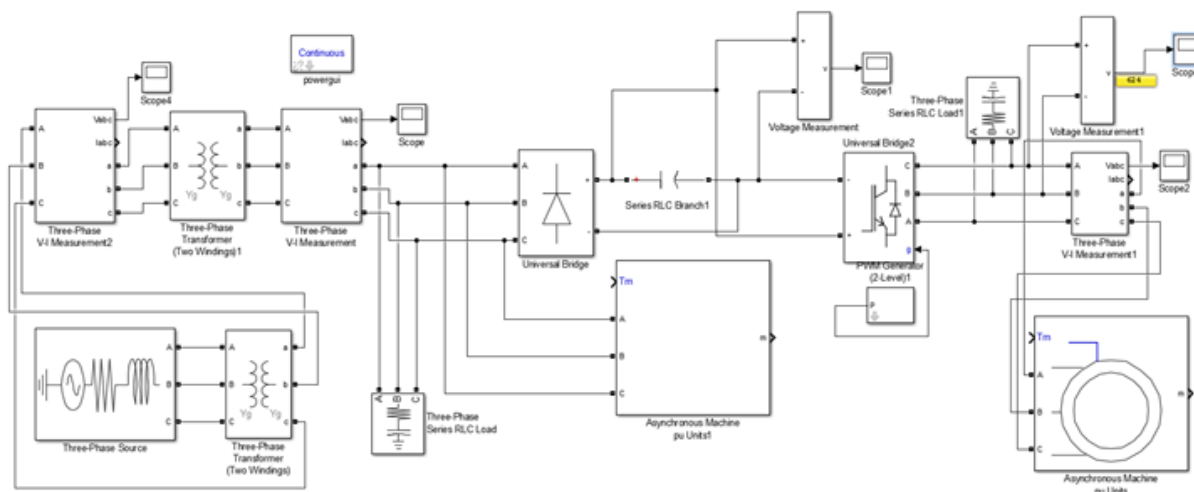


Рисунок 1 – Модель расчета синусоиды тока и напряжения литейного цеха с помощью Matlab Simulink

Высшие гармонические составляющие в токах нелинейных электропотребителей приводят к негативным, а иногда и катастрофическим последствиям:

1. Возможен перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий вследствие их перегрузки токами третьей гармоники
2. ложные срабатывания автоматических выключателей или перегорание предохранителей;
3. помехи приводят к сбоям в работе компонентов систем управления;
4. повреждение чувствительного электронного оборудования;
5. помехи в линиях связи.

В результате составления модели в Mathlab Simulink были определены синусоидальные искажения в литейном цеху при работе печей и выпрямителей с инверторами на стороне 0,4 кВ (рисунок 2)

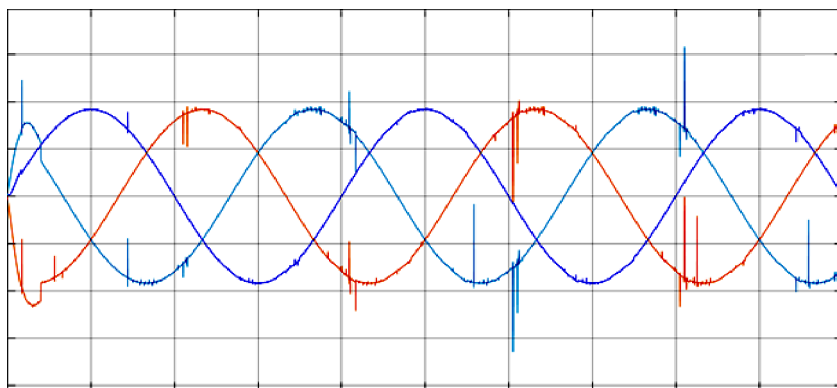


Рисунок 2 – Искажения формы синусоиды напряжения на стороне 0,4 кВ до применения фильтров высших гармоник

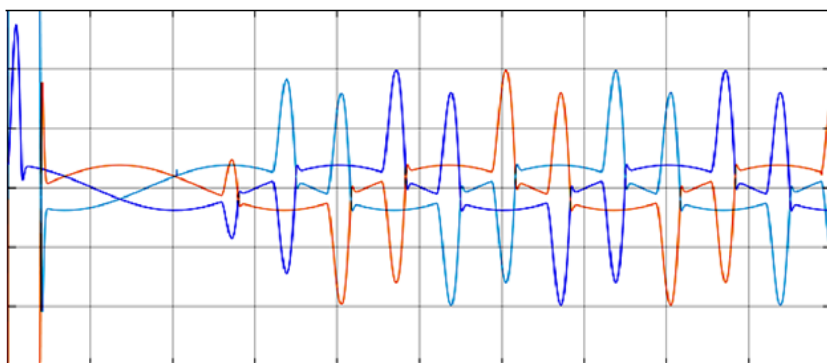


Рисунок 3 – Искажения формы синусоиды силы тока на стороне 0,4 кВ

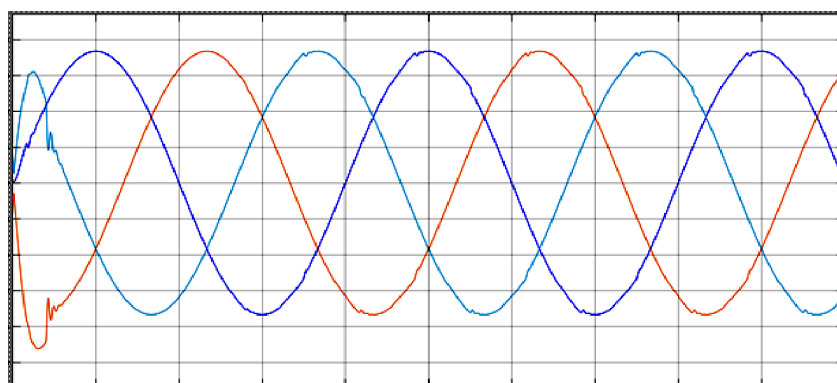


Рисунок 4 – Искажения формы синусоиды напряжения на стороне 10 кВ после применения фильтров высших гармоник

В качестве решения подавления искажений синусоиды является применение силовых фильтров высших гармоник, и фильтрокомпенсирующих устройств предназначенных для снижения искажения кривой питающего напряжения и тока частотой 50 Гц, с одновременным повышением коэффициента мощности, для нормализации показателей электромагнитной совместимости нелинейного оборудования с питающей сетью, а также осуществляют фильтрацию вносимых ими в питающую сеть высших гармоник тока, создавая тем самым условия для улучшения качества электроэнергии в питающей сети.

После добавление в исследуемую схему включающих в себя емкостные и индуктивные элементы мы получили кривые питающего напряжения при подключенных печах и выпрямителей с инверторами на стороне 0,4 кВ (рисунок 4) при применении фильтров.

Как мы можем убедиться применение фильтров дает очень заметное улучшение формы синусоиды, но синусоида по прежнему не является идеальной, но приемлемой для работы промышленного оборудования.

Список литературы

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. [Текст] – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736с.: ил. 136
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. [Текст] - М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008. 288 с.

Комаристый Александр Семенович, канд.экон.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»; тел. 8-(4862)-41-98-30.
Крючков Юрий Анатольевич, студент ФГБОУ ВПО ОГУ им. И.С. Тургенева, 5921532@mail.ru

FILTERING OF THE NON-CANONICAL HARMONICS IN POWER SYSTEMS USING POWER FILTERS

Komaristyj A.S., Kryuchkov Yu.A.
OSU name by Turgenev, Oryol, Russia

This article discusses the issue of modeling of process of filtration of higher harmonics in Matlab Simulink.
Keywords: *Matlab Simulink, filter harmonics, harmonic components of the current.*

Bibliography

1. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTECH. [Tekst] – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 736s.: il. 136
2. CHernyh I.V. Modelirovanie ehlektrotekhnicheskikh ustrojstv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink. [Tekst] - M.: DMK Press, SPb: Piter, 2008. 288 s.

Komaristyj Aleksandr Semenovich, k.eh.n., docent department «Electrical and energy saving» FGBOU VO «OSU name by Turgenev», Tel.: 8-(4862)-41-98-30.
Kryuchkov Yuriy Anatol'evich, student FGBOU VO «OSU name by Turgenev», 5921532@mail.ru

УДК 621.32.+621.2.02

ВЛИЯНИЕ ПУСКОВЫХ ТОКОВ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ НА ПОСТРОЕНИЕ ЦЕПИ ПИТАНИЯ

Михайленко К.П., Титова Г. Р.
*Россия, Москва, ФГБОУВО "Национальный исследовательский университет
"МЭИ"*

В статье рассматриваются проблемы применения светодиодных светильников, их влияние на построение цепи питания и возможные решения этих проблем.

Ключевые слова: *светодиод, драйвер, пусковой ток, электрическая сеть, осветительная установка, светильник, автоматический выключатель, емкостное сопротивление.*

В настоящее время светодиодное освещение использует светильники, обладающие широким диапазоном характеристик, начиная от мощности светового потока, размеров и до цвета излучения. Несмотря на большое количество плюсов (дешевизну современных светодиодов и качество их изготовления), светодиодные светильники обладают рядом существенных недостатков, на которые не принято указывать. На надежную и экономичную работу светодиодного светильника в большей степени влияет качество драйвера для питания светодиодов на постоянном напряжении. Качество драйвера определяет электрические характеристики светильника и воздействие светильника на питающую электрическую сеть. Очень часто именно за счет некачественных и недорогих драйверов, происходит удешевление светильника, при сохранении основных светотехнических характеристик, при этом электрические характеристики, на которые влияют драйверы не указаны. Такие важные для проектирования сети освещения параметры, как пусковые токи отсутствуют в каталогах светотехнического оборудования всех производителей светотехнического оборудования. Производители представляют эти параметры только по специальному запросу, следовательно, нарушают Федеральный

закон о конкуренции [1] при проектировании. Проектировщик тратит дополнительное время для принятия оптимального решения.

Наличие в схемах драйверов конденсаторов, полупроводниковых элементов в цепях питания светильников приводит к большим пусковым токам, которые могут привести к отключению защитной аппаратуры в момент включения. Следовательно, при проектировании электрической сети необходимо производить расчет каждой осветительной линии, с проверкой на неотключение аппаратов защиты при пуске, однако очень часто для выполнения этого расчета недостаточно данных.

Авторы предлагают следующие пути решения проблемы недостатка данных о пусковом токе светильников:

- Подбор менее чувствительных автоматических выключателей. Заменить автоматические выключатели характеристики В на характеристику С или при необходимости на характеристику D. Предложенный метод не полностью решает проблему по нескольким причинам. Во-первых, автоматический выключатель с завышенными токами срабатывания электромагнитного расцепителя может не отключать возникшие в процессе эксплуатации аварийные токи короткого замыкания в конце защищаемой линии. Во-вторых, если в паспортных данных не указаны пусковые токи светильников, то проектировщик не может выбрать необходимый автоматический выключатель, который не будет отключаться от пусковых токов светодиодных светильников. И тогда придется выбирать автоматический выключатель только замерив пусковые токи для конкретной группы освещения прямо на строительной площадке объекта, что не допускается по 87 постановлению правительства от 16.02.2008 г. [2].

- Установка дополнительных индуктивных элементов (реакторы, индукторы и дроссели) в цепь питания осветительной нагрузки на светодиодах (при емкостном балласте драйвера светильника). Этот метод решения является сложным. Включение в цепь дополнительных индуктивных элементов снизит броски тока в начальный момент времени, но будет ли это достаточным для того, чтобы схема работала нормально, без выключения аппаратов защиты при пусках оборудования? Чтобы убедиться в этом нужно правильно подобрать значение индуктивности. Для этого необходимо знать элементную базу каждого типа светильников, применяемых в проекте освещения. Так как, между светильниками даже одного завода-изготовителя существуют отличия (применяются светодиоды и драйверы разных производителей), то для каждой группы освещения необходимо индивидуальный расчёт и подбор индуктивности. Поэтому данное решение сильно увеличивает сроки и трудозатраты проектирования, даже при наличии необходимой информации от производителя. К тому же дополнительные реакторы будут занимать место в щитах освещения, что увеличит габариты самих щитов, стоимость оборудования и монтажа.

- Распределение нагрузки на большее количество групп. Снижение количества светодиодов на каждую группу позволит снизить пусковые токи до значений, которые не будут отключать защитную аппаратуру при пусковых режимах. Данное решение является эффективным, но довольно грубым, так как почти в два раза увеличивается количество используемых материалов (количество автоматических выключателей и длины коммутирующих кабелей), увеличиваются размеры щитов освещения и затраты на закупку оборудования, на монтаж и наладку.

- Установка реле ограничения пусковых токов, предназначенных для уменьшения пусковых токов при включении емкостных нагрузок. Снижение пускового тока осуществляется в этом случае за счет протекания тока в начальный момент времени через резистор с последующим замыканием контактов реле через заданное время задержки. Данное решение довольно эффективно, однако также приводит к дополнительным затратам.

Выше изложенные пункты позволяют убедиться, что выбор защитных аппаратов отходящих линий освещения является сложной технической задачей и требует индивидуального подхода. Для упрощения расчетов на стадиях проектирования внутреннего и наружного освещения необходимо наличие параметров драйверов светильника в паспорте изделия.

Во всех странах таможенного союза в соответствии с принятым техническим регламентом о безопасности низковольтного оборудования отсутствует необходимость указывать пусковые токи в осветительном оборудовании [3]. Авторы считают, что завышение значений защитных аппаратов приводит к частым пожарам в зданиях использующих несколько тысяч светодиодных светильников одновременно

Список литературы

1. Федеральный закон "О защите конкуренции" от 26.07.2006 N 135-ФЗ
2. ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 16 февраля 2008 года N 87 "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (с изменениями на 12 мая 2017 года)"
3. Технический регламент Таможенного союза о безопасности низковольтного оборудования (ТР ТС 004/2011), утвержденный решением Комиссии Таможенного союза 16 августа 2011 г. N 768

Михайленко Константин Петрович, магистр, Национальный Исследовательский Университет "Московский Энергетический Институт, e-mail: mikhaylenko_konst@mail.ru., г. Москва, ул. Салтыковская, д11, корп. 1, кв. 125, тел.: +7- 963 688-10-83.

Титова Галина Ростиславна, канд. техн. наук., доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Национального исследовательского института «МЭИ», e-mail: TitovaGR@mpei.ru, Тел.: +7-903-254-14-57.

INFLUENCE OF STARTING CURRENTS OF LED LAMPS ON FORMATION OF AN ELECTRICAL CIRCUIT

Mikhaylenko K.P., Titova G.R.

Russia, Moscow, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

Application problems of LED lamps, their influence on structure of an electrical circuit and possible solutions of these problems are considered in this article.

Key words: light emitting diode, driver, starting current, electrical network, lighting installation, lamp, automatic switch, capacitance.

Bibliography

1. Federal law "On protection of competition" from 26.07.2006 N 135-FZ
2. Resolution of the GOVERNMENT of the RUSSIAN FEDERATION of 16 February 2008 No. 87 "On composition of design documentation sections and requirements to their contents (as amended on may 12, 2017)"
3. Technical regulations of the Customs Union on safety of low voltage equipment (TR CU 004/2011), approved by decision of Customs Union Commission of 16 August, 2011 No. 768

Mikhaylenko Konstantin, master, National Research University "MoscowPowerEngineeringInstitute" E-mail: : mikhaylenko_konst@mail.ru, Postal address: 11/1 Saltykovskay Str., Apt. 125, Moscow, Russia Tel.: + 7- 963- 688-10-83.

Titova Galina Rostislavovna, PhD (Technical), assistant professor of industrial power, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", e-mail: TitovaGR@mpei.ru, tel.: +7-903-254-14-57.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНОК ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЛЭП 110 КВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Воробьев Н.П., Попов А.Н., Кааль Р.В

*Российская Федерация, г. Барнаул,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

Рассмотрены вопросы определения технического состояния ВЛЭП 110 кВ на основе нечеткой логики. Приведена лингвистическая система оценок технического состояния ВЛЭП 110 кВ для прогнозирования сроков ее технического обслуживания на основе нечеткой логики пакета «Fuzzy Toolbox 0.4.6» программы «Scilab 5.2.2» применительно к интервалу текущих ремонтов (0–6 лет).

Ключевые слова: техническое состояние, воздушная линия электропередач, ВЛЭП, нечеткая логика, влияющие факторы, система нечеткого логического вывода, остаточный ресурс.

На сегодняшний день актуальной и сложной задачей является оценка технического состояния (ТС) воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Значительная часть ВЛЭП выработала свой ресурс, но продолжает функционировать, так как требуются финансовые затраты на их ремонт или замену. [1] Надежность функционирования электрооборудования ВЛЭП зависит от ее ТС. В процессе эксплуатации ТС ВЛЭП монотонно ухудшается в результате внешних воздействий, режимов и условий работы, увеличивается вероятность возникновения отказов [2]. Это вызвано коррозионными явлениями на опорах, повреждением фундаментов от эрозии, вымывания, увлажнения и сезонных циклов заморозки и размораживания, старением проводов, изоляторов от климатических воздействий [3]. К 2020 году практически все ВЛЭП, построенные до 1995 года, выработают свой нормативный срок службы, а 52% из них уже будут находиться в аварийном состоянии [4]. Имеет место увеличение с каждым годом затрат на проведение комплексных диагностик и обследование ВЛЭП [1]. С помощью традиционных методов неразрушающего контроля задачу полной диагностики ВЛЭП решить невозможно [5]. Индивидуальное прогнозирование остаточного ресурса конструкций, основанное на моделях физических процессов износа (накопление повреждений, изнашивание механизмов и т. п.), изложенное в публикациях [4, 5], не нашло практического применения, так как необходимо применять математический аппарат случайных процессов. Возникает необходимость внедрения новых способов, позволяющих прогнозировать возможность дальнейшей эксплуатации оборудования, рассчитывать остаточный ресурс работы (ОРР).

ТС ВЛЭП определяется в заданный момент времени, в заданных условиях и относительно параметров, нормируемых либо установленных инструкцией по эксплуатации конкретной установки [6].

Прогнозирование технического состояния ВЛЭП в условиях неопределенности исходных данных

При определении исходных данных для прогнозирования ТС ВЛЭП приходится сталкиваться с ситуацией, когда невозможно получить точные численные значения исходных данных. Это происходит из-за влияния различных климатических, электрических факторов, факторов старения, описанных выше.

Для решения данной проблемы используются различные подходы. Один из подходов – вероятностный. При использовании этого подхода принимается, что неопределённые параметры характеризуются функциями плотности распределения. Для построения функции распределения собираются статистические данные о поведении соответствующего стохастического параметра. Трудность применяемого метода заключается в том, что для предположения о виде функции плотности распределения и

определения параметров во время работы ВЛЭП проводится большое число экспериментов, что не всегда возможно.

Другой подход заключается в применении интервальной арифметики. Интервальная арифметика отличается от обычной тем, что все арифметические операции вводятся на интервалы. Арифметические операции, введенные над интервалами, определяют множество результатов данных операций. Работа с вырожденными интервалами сводится к работе с обычными числами [3]. Недостаток метода в том, что при необходимости определения чёткого результата невозможно сделать вывод, какие значения считать более подходящими, а какие – менее подходящими. Также возможно получение интервала с очень большим разбросом значений, что не позволяет сделать вывод об окончательном значении, которое необходимо использовать.

Третий подход заключается в применении аппарата нечёткой логики и применении теории нечётких множеств. При этом подходе неопределённые параметры характеризуются функциями принадлежности, которые строятся на основе опросов экспертов. При использовании нечёткой логики используется база знаний, которая может создаваться при участии экспертов. [7]. Исследования и алгоритмы [8,9] позволяют сделать вывод о том, что нечёткая логика при условии правильного выбора экспертов позволяет точно выполнять поставленную задачу при неопределённости исходных данных.

При работе с нечёткой логикой возникает потребность в моделировании многомерных зависимостей типа «входы - выход» при условии большого количества факторов. При большом количестве входов для эксперта становится трудным описать причинно-следственные связи в виде правил. Это обусловлено тем, что человек может одновременно работать не более чем с 7 ± 2 понятий. Значит, количество входов не должно быть не более 7 ± 2 . Следовательно, необходимо переходить к иерархической структуре нечёткой базы знаний [10].

Особенностью нечёткого логического вывода по иерархической базе знаний является отсутствие процедур фаззификации и дефаззификации для промежуточных переменных, так как результат логического вывода в виде нечёткого множества передаётся с низкого уровня иерархической базы знаний на высокий непосредственно и для описания промежуточных баз знаний можно использовать только множества термов, не определяя для них функций принадлежности [10].

Проблемы прогнозирования сроков и видов технического обслуживания ВЛЭП 110 кВ и методы их решения:

- На основе проведенных исследований нами выявлено, что вопросам определения ТС ВЛЭП и их ОРР практически не уделяется внимания ни в нашей стране, ни за рубежом. Одна из причин этого - наличие значительного количества классов напряжения ВЛЭП, которое характеризуется своими требованиями. В связи с чем целесообразно остановиться на определении технического состояния ВЛЭП 110 кВ.

- Сложность проведения натурных экспериментов с конкретными компонентами ВЛЭП связана с прекращением энергоснабжения объектов. Поэтому информацию о ТС ВЛЭП можно получать только по результатам технического обслуживания (ТО), проводимым в плановом порядке.

- Многие критерии, влияющие на ТС ВЛЭП и ее ОРР, являются разнородными, учет их взаимного влияния затруднен и в ряде случаев невозможен. Исходя из этого, представляется целесообразным использование системы нечеткой логики для определения ТС ВЛЭП, которая позволяет преодолеть указанную проблему, вычислить рейтинг ТС ВЛЭП и на его основе определить ОРР.

- Наличие нескольких видов ТО ВЛЭП и, соответственно, временных интервалов их проведения, характеризующихся своими требованиями. Поэтому целесообразно

остановиться на определении остаточного ресурса при проведении текущего ремонта (ТР), временной интервал проведения которого составляет 6 лет.

- Наличие существенного перечня характерных дефектов и повреждений элементов ВЛЭП и критериев их браковки, для значительной части которых невозможно установить количественные и качественные критерии и отсутствие приборов контроля. В связи с чем целесообразно ограничить число влияющих факторов при определении ТС ВЛЭП 110 кВ при проведении ТР на уровне 25 факторов (таблица 1).

Таблица 1 – Лингвистическая система оценок технического состояния ВЛЭП 110 кВ с обоснованием влияющих факторов и их весовыми коэффициентами

Обозначение влияющего фактора	Наименование влияющего фактора	Обоснование влияния фактора на техническое состояние ВЛЭП 110 кВ и использованные литературные источники	Диапазон изменения влияющего фактора с указанием принадлежности к терм-множеству	Весовой коэффициент
1	2	3	4	5
X1	Нарушение сопряжения опор с фундаментом	Ослабление либо отсутствие крепежа между опорой и фундаментом создаст условия для падения опоры[11].	Количество отсутствующих или ослабленных гаек, максимум: 0 – отлично (v); 0,125 – хорошо (s); 0,25 – плохо (n).	1
X2	Отклонение оси опоры от вертикальной оси вдоль и поперек ВЛЭП	Снижает механическую прочность опоры, нагружая крепление к фундаменту, увеличивая вероятность разрушения опоры изломом в основании[11, 12, 13].	$\Delta/h = \Delta h$: $\Delta h = 0$ – отлично (v); $\Delta h \leq 0,0025$ – хорошо (s); $\Delta h \leq 0,005$ опоры – плохо (n).	1
X3	Толщина цинкового покрытия стальных элементов	При уменьшении толщины покрытия уменьшается сечение элементов опоры и повышается вероятность прогибов, разрушений[14].	Не менее 120 мкм – отлично (v); не менее 60 мкм – хорошо (s); 0 мкм – плохо (n).	1
X4	Прогиб поясных уголков и сжатых элементов решетки	Влияет на прочность опоры. Изгибающее усилие вызовет дальнейшее искривление элемента опоры[3, 11].	f/l : $f/l = 0$ – отлично (v); $f/l \leq 0,00066$ – хорошо (s); $f/l \leq 0,00132$ – плохо (n).	1
X5	Местное ослабление поперечного сечения элемента	Уменьшение сечения элемента ведет к снижению прочности на разрыв, к изгибу[3, 15, 11].	$\eta = S_{\text{факт}}/S_{\text{проект}}$: $\eta \geq 1$ – отлично (v); $\eta \geq 0,9$ – хорошо (s); $\eta \geq 0,8$ – плохо (n).	1
X6	Отклонение оси траверсы от горизонтальной оси	Отклонение траверсы уменьшает изоляционные расстояния, что может вызвать КЗ[3,15, 12].	Отношение длины изгиба к длине траверсы при длине траверсы 10 м: 0 – отлично (v); 0,5 – хорошо (s); 1 – плохо (n).	1

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
X7	Прогибы металлических конструкций опор	Прогибы увеличивают вероятность разрушения опоры со всеми последствиями[3, 15].	Отношение длины изгиба к длине конструкции: 0 – отлично (v); 0,0016 хорошо (s); 0,0032 плохо (n).	1
X8	Прогибы металлических конструкций	Прогибы увеличивают вероятность разрушения опоры со всеми последствиями[3, 11].	$L_{изг}/L_{констр.}$: 0 – отлично (v); 0,0007 – хорошо; 0,0014 – плохо (n).	1
X9	Язвенная коррозия металлоконструкций	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность[15].	$S_{факт}/S_{проект}$: Для несущих элементов 1 – отлично (v); 0,95 хорошо (s); 0,9 – плохо (n).	1
X10	Язвенная коррозия металлоконструкций	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность[15].	Для не несущих элементов: 1 - отлично (v); 0,9 – хорошо (s); 0,8 - плохо (n).	1
X11	Язвенная коррозия металлоконструкций	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность[15].	Для косынок: 1 - отлично (v); 0,85 – хорошо (s); 0,7 – плохо (n).	1
X12	Потеря сечения металлических элементов опоры	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность [3, 15, 11].	$S_{факт}/S_{проект}$: Для несущих элементов: 1 — отлично (v); 0,95 – хорошо (s); 0,9 — плохо (n).	1
X13	Потеря сечения металлических элементов опоры	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность [3, 15, 11].	Для не несущих элементов: 1 – отлично (v); 0,9 – хорошо (s); 0,8 — плохо (n).	1
X14	Потеря сечения металлических элементов опоры	Сечение уменьшается с течением времени при коррозии. У конструкции снижается ее несущая способность [3, 15, 11].	Для косынок: 1 – отлично (v); 0,85 – хорошо (s); 0,7 — плохо (n).	1
X15	Превышение сопротивления контактного соединения провода относительно сопротивления целого участка той же длины	В случае изменения сопротивления контактного соединения относительно сопротивления целого участка той же длины контактное соединение начинает греться и, в условиях ветра, ослабляться, что приведет к обрыву провода[3, 15, 16, 17].	Отношение сопротивления контактного соединения к сопротивлению исправного участка той же длины: 1 – отлично (v); 1,5 – хорошо (s); 2 – плохо (n).	0,75
X16	Уменьшение площади сечения проводов	Уменьшение сечения, прочности провода на разрыв, пропускной способности, перегрев[3, 15].	0% - отлично (v); 17% – хорошо (s); 34% - плохо (n).	0,75

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
X17	Несоответствие установки гасителя вибрации проектному положению	Устройство прекращает выполнять свою функцию при установке не в заводском положении[3, 15].	В мм относительно фактической длины от места установки гасителя: 0 – отлично (v); 12,5 – хорошо (s); 25 – плохо (n).	0,75
X18	Уменьшение площади сечения тросов	Уменьшение сечения, прочности провода на разрыв, пропускной способности, перегрев[3, 15].	0% - отлично (v); 17% – хорошо (s); 34% - плохо (n).	0,25
X19	Изменение тяжения в тросовых и стержневых оттяжках промежуточных опор при отсутствии ветра	Увеличивает вероятность обрушения опоры[3, 15, 11, 18].	Изменение тяжения не более 20% от проектного: 0,07 - отлично (v); 0,14 - хорошо (s); 0,2 - плохо (n).	0,25
X20	Уменьшение поперечного сечения троса оттяжки	Процесс разрушения тросов оттяжек в клиновом зажиме обусловлен конструкцией этого узла и влиянием протекающего по оттяжке наведенного тока. Этот ток замыкается в контуре, образованном тросами оттяжек, траверсой опоры и U-образными болтами[3, 11, 19].	$\eta = S_{\text{факт}}/S_{\text{проект}}$: $\eta \geq 1$ – отлично (v); $\eta \geq 0,9$ – хорошо (s); $\eta \geq 0,8$ – плохо (n).	0,25
X21	Сопротивление изоляторов	Сопротивление изолятора изменяется со временем, вследствие загрязнения, нагрева, динамических нагрузок. Уменьшение сопротивления изолятора приведет к возрастанию утечек и пробоям[20, 21, 22, 23].	10000 МОм – отлично (v); 5000 МОм – хорошо (s); 300 МОм – плохо (n).	0,175
X22	Механическая прочность материала изолятора	Уменьшение механической прочности изолятора на растяжение возможно от статических, электродинамических нагрузок, вандализма. Изоляторы, поврежденные на 25%, требуют замены[15, 20, 24].	120 кН – отлично (v); 60 кН – хорошо (s); 0 – плохо (n).	0,175
X23	Износ шарнирных соединений арматуры	Закрепленный на шарнирном соединении элемент ВЛЭП может разрушить арматуру с ослабленным сечением[25].	Износ $P_{\text{факт}}/P_{\text{проект}}$: 1 - отлично (v); 0,95 - хорошо (s); 0,9 – плохо (n).	0,075
X24	Уменьшение площади опасных сечений арматуры	Сечение уменьшается с течением времени. У конструкции снижается ее несущая способность[25].	$S_{\text{факт}}/S_{\text{проект}}$: 1 – отлично (v); 0,9 – хорошо (s); 0,8 – плохо (n).	0,075

X25	Потеря сечения анкерных конструкций	Закрепленный на анкерной конструкции элемент ВЛЭП может разрушить арматуру с ослабленным сечением [26, 27]	$S_{\text{факт}}/S_{\text{проект}}$: 1 – отлично (v); 0,75 – хорошо (s); 0,5 – плохо (n).	0,075
Примечание – рассматриваются только металлические опоры ВЛЭП 110 кВ. Приведены данные относятся к текущему ремонту, проводимому через 6 лет. Весовые коэффициенты по (1) приведены к наибольшему значению.				

Весовые коэффициенты для оценки ТС ВЛЭП взяты на основании результатов диагностирования отдельных элементов ВЛЭП, вычисляемых по формуле [15]

$$K_{ДВЛ} = 0,4K_{ДО} + 0,1K_{ДФ} + 0,3K_{ДП} + 0,1K_{ДТ} + 0,07K_{ДИ} + 0,03K_{ДА}, \quad (1)$$

где числа - весовые коэффициенты; $K_{ДО}$ – коэффициент дефектности опор; $K_{ДФ}$ – коэффициент дефектности фундаментов; $K_{ДП}$ – коэффициент дефектности проводов; $K_{ДТ}$ – коэффициент дефектности тросов; $K_{ДИ}$ – коэффициент дефектности изоляторов; $K_{ДА}$ – коэффициент дефектности арматуры.

Согласно таблице 1 для оценки ТС ВЛЭП введена лингвистическая переменная «техническое состояние». Переменная состоит из трех термов (в скобках приведено обозначение терм-множества функций принадлежности нечетких термов n , s , v для пакета «Fuzzy Toolbox 0.4.6» программы «Scilab 5.2.2»). Термам лингвистической переменной присвоены значения:

- «Отлично»;
- «Хорошо»;
- «Плохо».

Термы определяются из интервальных значений, характеризующих техническое состояние ВЛЭП 110 кВ, согласно нормативно-технической документации.

Лингвистическая переменная устанавливается для каждого влияющего фактора.

Концепция определения технического состояния ВЛЭП 110 кВ строится на предположении, что влияющие факторы оказывают непосредственное воздействие на возникновение опасных ситуаций техногенного характера. Таким образом, влияющие факторы имеют численный характер и характер термов.

Исходя из выше сказанного, разработана система нечеткого логического вывода «Vlep_110_kV» для оценки технического состояния воздушной линии 110 кВ на основе пакета «Fuzzy Toolbox 0.4.6» программы «Scilab 5.2.2», позволяющая вводить любые численные значения из диапазона изменения влияющего фактора (столбец 4 таблицы 1).

В результате выполнения программы «Vlep_110_kV» в командном окне Scilab получают значение ОРР в годах до ТР. На основе ОРР принимаются решения либо о продолжении эксплуатации ВЛЭП, либо (на основе оценки и изменения промежуточных логических сверток) - о необходимости управления ТС ВЛЭП путем ремонта ее наиболее проблемных элементов.

Список литературы

1. Общие вопросы диагностики [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: http://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=/17077/mod_resource/content/1/Лекции модуль №1.doc. - Загл. с экрана.
2. Современное состояние разработок в области определения остаточного ресурса асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/epb_tez_2013.pdf. - Загл. с экрана.
3. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35 - 800 кВ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/39/39443/. - Загл. с экрана.

4. Назарычев А.Н. Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию / Надежность либерализованных систем энергетики / Под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. – Новосибирск: Наука, 2004. – с. 173-189.
5. Давыденко И.В. Структура экспертно-диагностической и информационной системы оценки состояния высоковольтного оборудования / И.В. Давыденко, В.П. Голубев, В.И. Комаров, В.Н. Осотов // Электрические станции. – 1997. – № 6. – с. 25-27.
6. Пути обеспечения долговременной безопасности воздушных линий электропередачи. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://techppe.ru/wp-content/uploads/2016/03/Тарасов_Пути-обеспечения-долговременной-безопасности-воздушных-линий-электропередачи.pdf. – Загл. с экрана.
7. Туляков, Д. С. Применение интервальных вычислений при решении математических моделей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/file/news/13/sec_15.pdf. – Загл. с экрана.
8. Дробязко О.Н. Разработка методов оптимального выбора систем безопасности электроустановок с учетом неопределенности исходных данных [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2011_02_2/pdf/013drobazko.pdf. – Загл. с экрана.
9. Дробязко, О. Н. Учет неопределенности исходных данных в задачах оценки эффективности систем безопасности электроустановок [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2009_04/pdf/026drobyazko.pdf. – Загл. с экрана.
10. Штовба, С. Д. Иерархические системы нечеткого логического вывода [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1_7_5_6.php. – Загл. с экрана.
11. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293816/4293816092.pdf>. – Загл. с экрана.
12. Техническое обслуживание металлических опор ВЛ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://forca.com.ua/instrukcii/pl/tehnicheskoe-obs-luzhivanie-metallicheskih-opor.html>. – Загл. с экрана.
13. Как выбрать дальномер. Лазерная рулетка - критерии правильного выбора [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://www.laser-level.ru/sovety-i-stati/kak-vybrat-dalnomer-kriterii-pravilnogo-vybora-lazernoj-ruletki/>. – Загл. с экрана.
14. Покрытие защитное стальных конструкций опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) и открытых распределительных устройств (ОРУ) высоковольтных подстанций методом горячего цинкования: технические требования, правила приемки и методы контроля : ОСТ 34-29-582-82. – Введ. 3.11.1982. – М.:Информэнерго, 1983. – 8 с.
15. Крылов С. Техническое состояние воздушных линий 35 КВ и выше. Методы обследования [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/21.php>. – Загл. с экрана.
16. Приложение 3 Нормы испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://птээп.рф/#р3>. – Загл. с экрана.
17. Арбузов Р. С. Глава 3.1 Тепловизионное обследование [Текст] / Р. С. Арбузов, А. Г. Овсянников // Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. – С. 65-71.
18. Анализ докладов ИК-В2 «Воздушные линии», представленных на 44-й сессии СИГРЭ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: http://www.cigre.ru/research_commitets/sc_wg/B2/Otchet_B2_Session_2012.pdf. – Загл. с экрана.
19. Анохин А. Ю. Проверка электрического сопротивления контактных соединений тросовых оттяжек опор ВЛ [Текст] / А. Ю. Анохин, И. П. Ведерников, А. Г. Тарасов // Сборник докладов Четвёртой Российской научно-практической конференции с международным участием «Линии электропередачи – 2010: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс» / Под ред. Ю. А. Лаврова. – Новосибирск: ЭЛСИ, 2010. – с. 203-210.
20. Косяков, А. А. Техника высоких напряжений [Текст]: конспект лекций / А. А. Косяков, Е. П. Никитина. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. – 104 с.

21. Мегаомметр [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: https://www.websor.ru/megaommetr_es.html. – Загл. с экрана.

22. Измерение сопротивления изоляции - Испытания силовых конденсаторных установок [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://forca.ru/knigi/arhiv/isyptaniya-silovyh-kondensatornyh-ustanovok-2.html>. – Загл. с экрана.

23. Порядок проведения измерений при испытании изоляции мегаомметром [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/naladka/204-porjadok-provedenija-izmerenijj-pri.html>. – Загл. с экрана.

24. Методы испытаний - Изоляторы линейные подвесные тарельчатые - ГОСТ 6490-93 [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. – Режим доступа: <http://forca.ru/knigi/gost/izolyatory-lineynye-podvesnye-tarelchatye-gost-6490-93-3.html>. – Загл. с экрана.

25. Сазыкин, В. Г. Глава 1.3 Причины возникновения и последствия переходных процессов [Текст] / В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков // Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст]: учеб. пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – С. 12-23.

26. Арбузов Р. С. Глава 1.2 Виды и причины повреждений и отказов ВЛ [Текст] / Р. С. Арбузов, А. Г. Овсянников // Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. – С. 8-35.

27. Арбузов Р. С. Глава 1.3 О некоторых общих проблемах эксплуатации ВЛ [Текст] / Р. С. Арбузов, А. Г. Овсянников // Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. – С. 35-39.

Воробьев Николай Павлович – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 6560056, г. Барнаул, ул. Чернышевского, д. 28 кв. 40; Тел.: 8-961-9999-304; E-mail: vnprol51p@ya.ru

Попов Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 656038, г. Барнаул, ул. Чкалова, 32-115; Тел.: 8-903-910-05-04; E-mail: oleandr78@mail.ru

Кааль Роман Владимирович - магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова; Адрес: 656906, г. Барнаул, п. Плодопитомник, ул. Республиканская 10-1; Тел.: +7 952 006 33 44, E-mail: kaalrom@mail.ru

THE LINGUISTIC SYSTEM OF EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINE 110 KV TO PREDICT THE TIMING OF MAINTENANCE BASED ON FUZZY LOGIC

Vorobyev N. P., Popov A. N., Kaal R. V.
*Russian Federation, Barnaul,
Altai state technical University. I. I. Polzunov*

The problems of determining the technical condition of high-voltage transmission line 110 kV on the basis of fuzzy logic. Given the linguistic system of evaluation of technical condition of high-voltage transmission line 110 kV to predict the timing of maintenance based on fuzzy logic package "Fuzzy Toolbox 0.4.6" program "Scilab 5.2.2" in relation to the interval of current repairs (0 – 6 years).

Keywords: technical condition, air, power line, high-voltage transmission line, fuzzy logic, and factors influencing, system of fuzzy inference, the residual resource.

Bibliography

1. Obschie voprosyi diagnostiki [Elektronnyiy resurs]. – Elektron. dan. – М., [2017]. – Rezhim dostupa: http://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=/17077/mod_resource/content/1/Lektsii_modul_#1.doc. – Zagl. s ekrana.

2. Sovremennoe sostoyanie razrabotok v oblasti opredeleniya ostatochnogo resursa asinhronnykh elektrodvigateley [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://edu.secna.ru/media/f/epb_tez_2013.pdf. – Zagl. s ekrana.
3. Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii vozdukhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 35 - 800 kV [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/39/39443/. – Zagl. s ekrana.
4. Nazaryichev A.N. Osnovnyie printsipy sistemyi tehnikeskogo obsluzhivaniya i remonta elektrooborudovaniya po tehnikeskomu sostoyaniyu / Nadezhnost liberalizovanykh sistem energetiki / Pod red. N.I. Voropaya, A.D. Tevyasheva. – Novosibirsk: Nauka, 2004. – s. 173-189.
5. Davyidenko I.V. Struktura ekspertno-dagnosticheskoy i informatsionnoy sistemyi otsenki sostoyaniya vyisokovoltnogo oborudovaniya / I.V. Davyidenko, V.P. Golubev, V.I. Komarov, V.N. Osotov // Elektricheskie stantsii. – 1997. – # 6. – s. 25-27.
6. Puti obespecheniya dolgovremennoy bezopasnosti vozdukhnykh liniy elektroperedachi. [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://techppe.ru/wp-content/uploads/2016/03/Tarasov_Puti-obespecheniya-dolgovremennoy-bezopasnosti-vozdukhnykh-liniy-elektroperedachi.pdf. – Zagl. s ekrana.
7. Tulyakov, D. S. Primenenie intervalnykh vyichisleniy pri reshenii matematicheskikh modeley [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://kmu.ifmo.ru/file/news/13/sec_15.pdf. – Zagl. s ekrana.
8. Drobyazko O. N. Razrabotka metodov optimalnogo vyibora sistem bezopasnosti elektroustanovok s uchetom neopredelennosti ishodnykh dannykh [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2011_02_2/pdf/013drobyazko.pdf. – Zagl. s ekrana.
9. Drobyazko, O. N. Uchet neopredelennosti ishodnykh dannykh v zadachah otsenki effektivnosti sistem bezopasnosti elektroustanovok [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2009_04/pdf/026drobyazko.pdf. – Zagl. s ekrana.
10. Shtovba, S. D. Ierarhicheskie sistemyi nechetkogo logicheskogo vyivoda [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1_7_5_6.php. – Zagl. s ekrana.
11. Metodicheskie ukazaniya po otsenke tehnikeskogo sostoyaniya vozdukhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 35-750 kV i ikh elementov [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293816/4293816092.pdf>. – Zagl. s ekrana.
12. Tehnikeskoe obsluzhivanie metallicheskih opor VL [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://forca.com.ua/instrukcii/pl/tehnicheskoe-obsluzhivanie-metallicheskih-opor.html>. – Zagl. s ekrana.
13. Kak vyibrat dalnomer. Lazernaya ruletka - kriterii pravilnogo vyibora [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://www.laser-level.ru/sovety-i-stati/kak-vyibrat-dalnomer-kriterii-pravilnogo-vybora-lazernoy-ruletki/>. – Zagl. s ekrana.
14. Pokryitie zaschitnoe stalnykh konstruksiy opor vozdukhnykh liniy elektroperedachi (VL) i otkrytykh raspredelitelnykh ustroystv (ORU) vyisokovoltnykh podstantsiy metodom goryachego tsinkovaniya: tehnikeskie trebovaniya, pravili priemki i metody kontrolya : OST 34-29-582-82. – Vved. 3.11.1982. – M.: Informenergo, 1983. – 8 s.
15. Kryilov S. Tehnikeskoe sostoyanie vozdukhnykh liniy 35 KV i vyishe. Metodyi obsledovaniya [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/21.php>. – Zagl. s ekrana.
16. Prilozhenie 3 Normyi ispytaniy elektrooborudovaniya i apparatov elektroustanovok potrebiteley [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://pteep.rf/#p3>. – Zagl. s ekrana.
17. Arbuzov R. S. Glava 3.1 Teplovizionnoe obsledovanie [Tekst] / R. S. Arbuzov, A. G. Ovsyannikov // Sovremennyye metodyi diagnostiki vozdukhnykh liniy elektroperedachi. – Novosibirsk: Nauka, 2009. – S. 65-71.
18. Analiz dokladov IK-V2 «Vozdukhnyie linii», predstavlennykh na 44-y sessii SIGRE [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://www.cigre.ru/research_commitets/sc_wg/B2/Otchet_B2_Session_2012.pdf. – Zagl. s ekrana.
19. Anohin A. Yu. Proverka elektricheskogo soprotivleniya kontaktnykh soedineniy trosovykh ottyazhek opor VL [Tekst] / A. Yu. Anohin, I. P. Vedernikov, A. G. Tarasov // Sbornik dokladov

ChetvYortoy Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Linii elektropredachi – 2010: proektirovanie, stroitelstvo, opyt ekspluatatsii i nauchno-tehnicheskii progress» / Pod red. Yu. A. Lavrova. – Novosibirsk: ELSI, 2010. – s. 203-210.

20. Kosyakov, A. A. Tehnika vyisokih napryazheniy [Tekst]: konspekt lektsiy / A. A. Kosyakov, E. P. Nikitina. – Ekaterinburg: Izd-vo UrGUPS, 2009. – 104 s.

21. Megaommetr [Elektronnyi resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: https://www.websor.ru/megaommetr_es.html. – Zagl. s ekrana.

22. Izmerenie soprotivleniya izolyatsii - Ispytaniya silovykh kondensatornykh ustanovok [Elektronnyi resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://forca.ru/knigi/arhiv/ispytaniya-silovykh-kondensatornykh-ustanovok-2.html>. – Zagl. s ekrana.

23. Poryadok provedeniya izmereniy pri ispytanii izolyatsii megaommetrom [Elektronnyi resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://electricalschool.info/main/naladka/204-poryadok-provedeniya-izmereniy-pri.html>. – Zagl. s ekrana.

24. Metody ispytaniy - Izolyatory lineynye podvesnye tarelchatye - GOST 6490-93 [Elektronnyi resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://forca.ru/knigi/gost/izolyatory-lineynye-podvesnye-tarelchatye-gost-6490-93-3.html>. – Zagl. s ekrana.

25. Sazyikin, V. G. Glava 1.3 Prichinyi vozniknoveniya i posledstviya perehodnykh protsessov [Tekst] / V.G. Sazyikin, A.G. Kudryakov // Elektromagnitnye perehodnye protsessy i elektroenergeticheskikh sistemah [Tekst]: ucheb. posobie. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – С. 12-23.

26. Arbuzov R. S. Glava 1.2 Vidy i prichinyi povrezhdeniy i otkazov VL [Tekst] / R. S. Arbuzov, A. G. Ovsyannikov // Sovremennyye metody diagnostiki vozdukhnykh liniy elektropredachi. – Novosibirsk: Nauka, 2009. - S. 8-35.

27. Arbuzov R. S. Glava 1.3 O nekotorykh obshchih problemakh ekspluatatsii VL [Tekst] / R. S. Arbuzov, A. G. Ovsyannikov // Sovremennyye metody diagnostiki vozdukhnykh liniy elektropredachi. – Novosibirsk: Nauka, 2009. - S. 35-39.

Vorobyev Nikolay Pavlovich – doctor of technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department "electrification of production and everyday life" Altai state technical University. I. I. Polzunov; Address: 6560056, Barnaul, street Chernyshevsky, d. 28 sq 40, Tel: 8-961-9999-304, E-mail: vnprol51p@ya.ru.

Popov Andrey Nikolaevich – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "power Supply of industrial enterprises" Altai state technical University. I. I. Polzunov; Address: 656038, Barnaul, Chkalova, 32 - 115, Tel: 8-903-910-05-04, E-mail: oleandr78@mail.ru.

Kaal Roman Vladimirovich - graduate student, Altai state technical University. I. I. Polzunov, Address: 656906, Barnaul, p. plodopitomnik, street Republican 10-1; Tel: +7 952 006 33 44 E-mail: kaalrom@mail.ru

УДК 621.312

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЛЭП 110 КВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ И ВИДОВ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ SCILAB

Воробьев Н.П., Попов А.Н., Кааль Р.В.

Российская Федерация, г. Барнаул,

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Рассмотрены вопросы определения технического состояния ВЛЭП 110 кВ на основе нечеткой логики. Предложено использование программной среды Scilab для определения показателя технического состояния ВЛЭП. Приведены результаты определения показателя технического состояния ВЛЭП 110 кВ и остаточного ресурса применительно к интервалу текущих ремонтов.

Ключевые слова: техническое состояние, воздушная линия электропередач, ВЛЭП, нечеткая логика, влияющие факторы, система нечеткого логического вывода, остаточный ресурс.

Техническое состояние (ТС) сложных изделий, таких как воздушные линии электропередач (ВЛЭП), очень важный технико-экономический показатель. Он характеризует соответствие или несоответствие объекта установленным требованиям и стандартам.

В процессе эксплуатации ТС ВЛЭП ухудшается в результате внешних воздействий, режимов и условий работы, увеличивается вероятность возникновения отказов [1] из-за коррозии на опорах, ухудшения состояния фундаментов от эрозии, вымывания, увлажнения и сезонных циклов заморозки и размораживания, из-за старения проводов, изоляторов от климатических воздействий [2]. Необходимо разрабатывать новые способы технической диагностики ВЛЭП, позволяющие прогнозировать возможность дальнейшей эксплуатации линий электропередач, оценивать остаточный ресурс (ОР) работы.

Прогнозирование ТС и ОР ВЛЭП

Прогнозирование ТС и ОР ВЛЭП в условиях неопределенности исходных данных целесообразно на основе аппарата нечёткой логики и теории нечётких множеств. При этом неопределённые влияющие факторы характеризуются функциями принадлежности на основе опросов экспертов или с использованием результатов приборных исследований.

При работе с нечёткой логикой возникает потребность в переходе к иерархической структуре нечёткой базы знаний.

Вопросам определения ТС ВЛЭП и их ОР не уделяется должного внимания ни в России, ни за рубежом. Причин этому много – это и наличие нескольких классов напряжения, и сложность проведения натурных экспериментов на ВЛЭП, и наличие разнородных влияющих факторов, и нескольких видов технического обслуживания (ТО) ВЛЭП, и различных временных интервалов проведения ТО, и характерных дефектов и повреждений элементов, для которых невозможно установить критерии, и отсутствие приборов контроля.

В связи с изложенным было решено ограничиться определением ТС ВЛЭП 110 кВ, использовать систему нечеткой логики для определения ТС и ОР ВЛЭП, при определении ОР было решено ограничиться текущим ремонтом (ТР), который повторяется раз в 6 лет.

Число влияющих факторов при определении ТС и ОР ВЛЭП 110 кВ также ограничили на уровне 25. Поскольку влияющие факторы согласно технической документации могут быть как числами, так и словами (термами) было решено разрабатывать систему нечеткого логического вывода таким образом, чтобы влияющие факторы могли иметь как численный характер, так и определяться в виде термов.

В настоящее время среди документов, определяющих ТС ВЛЭП, имеются директивные документы, в которых определены контролируемые параметры. Методы, приборы, используемые для определения ТС, есть в этих же документах[2, 3].

Поскольку обследование ВЛЭП проводится, в основном, для элементов, определенных в таблице 1, то в такой же последовательности нами классифицированы

Таблица 1 – Обследуемые элементы ВЛЭП и весовые коэффициенты влияющих факторов, приведенные к наибольшему значению

Обследуемые элементы ВЛЭП	Весовые коэффициенты влияющих факторов, приведенные к наибольшему значению[3]
опоры (фундаменты; оттяжки опор; заземляющие устройства; габаритные параметры)	1
провода	0,75
грозозащитные тросы	0,25
линейная изоляция	0,175
арматура	0,075

и влияющие факторы для системы нечеткого логического вывода.

Основной принцип определения ТС ВЛЭП основан на сравнении дефектов, выявленных при осмотре, с требованиями ГОСТов, СНиПов [3, 4, 5], а потому определение ОР ВЛЭП остается за рамками этого принципа. Обследование положено проводить минимум для 10% длины участков линии, находящихся в пределах одной природной зоны и выборочно, основываясь на указаниях эксплуатирующего персонала. Линия проверяется на предмет соответствия параметрам, указанным в [5].

Структура нечеткого логического вывода ТС и ОР ВЛЭП 110 кВ

На основе исследования влияющих факторов нами разработана иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода для оценки ТС ВЛЭП 110 кВ и определения ее ОР применительно к интервалу ТР, приведенная на рисунке 1, где:

- X1 - Нарушение сопряжения опор с фундаментом (0 – отлично (v); 0,125 – *хорошо* (s); 0,25 – плохо (n)).

- X2 - Отклонение оси опоры от вертикальной оси вдоль и поперек ВЛЭП ($\Delta h = 0$ – отлично (v); $\Delta h \leq 0,0025$ – *хорошо* (s); $\Delta h \leq 0,005$ опоры – *плохо* (n)).

- X3 - Толщина цинкового покрытия стальных элементов (не менее 120 мкм – *отлично* (v); не менее 60 мкм – *хорошо* (s); 0 мкм – плохо (n)).

- X4 - Прогиб поясных уголков и сжатых элементов решетки ($f/l = 0$ – отлично (v); $f/l \leq 0,00066$ – *хорошо* (s); $f/l \leq 0,00132$ – *плохо* (n)).

- X5 - Местное ослабление поперечного сечения элемента ($\eta \geq 1$ – отлично (v); $\eta \geq 0,9$ – *хорошо* (s); $\eta \geq 0,8$ – *плохо* (n)).

- X6 - Отклонение оси траверсы от горизонтальной оси. (Отношение длины изгиба к длине траверсы при длине траверсы 10 м: 0 – *отлично* (v); 0,5 – *хорошо* (s); 1 – *плохо* (n)).

- X7 - Прогибы металлических конструкций опор. (Отношение длины изгиба к длине конструкции: 0 – отлично (v); 0,0016 *хорошо* (s); 0,0032 *плохо* (n)).

- X8 - Прогибы металлических конструкций. ($L_{изг}/L_{констр}$: 0 – отлично (v); 0,0007 – *хорошо*; 0,0014 – *плохо* (n)).

- X9 - Язвенная коррозия металлоконструкций. ($S_{факт}/S_{проект}$: для несущих элементов

1 – отлично (v); 0,95 *хорошо* (s); 0,9 – *плохо* (n)).

- X10 - Язвенная коррозия металлоконструкций. (Для не несущих элементов: 1 – отлично (v); 0,9 – *хорошо* (s); 0,8 – *плохо* (n)).

- X11 - Язвенная коррозия металлоконструкций. (Для косынок: 1 – *отлично* (v); 0,85 – *хорошо* (s); 0,7 – *плохо* (n))

- X12 - Потеря сечения металлических элементов опоры. ($S_{факт}/S_{проект}$: для несущих элементов: 1 – отлично (v); 0,95 – *хорошо* (s); 0,9 – *плохо* (n)).

- X13 - Потеря сечения металлических элементов опоры. (Для не несущих элементов: 1 – отлично (v); 0,9 – *хорошо* (s); 0,8 – *плохо* (n)).

- X14 - Потеря сечения металлических элементов опоры. (Для косынок: 1 – *отлично* (v); 0,85 – *хорошо* (s); 0,7 – *плохо* (n)).

- X15 - Превышение сопротивления контактного соединения провода относительно сопротивления целого участка той же длины. (Отношение сопротивления контактного соединения к сопротивлению исправного участка той же длины: 1 – отлично (v); 1,5 – *хорошо* (s); 2 – *плохо* (n)).

- X16 - Уменьшение площади сечения проводов. (0% – отлично (v); 17% – *хорошо* (s); 34% – *плохо* (n)).

- X17 - Несоответствие установки гасителя вибрации проектному положению. (В мм относительно фактической длины от места установки гасителя: 0 – *отлично* (v); 12,5 – *хорошо* (s); 25 – *плохо* (n)).

- X18 - Уменьшение площади сечения тросов. (0% - отлично (v); 17% – хорошо (s); 34% - плохо (n)).

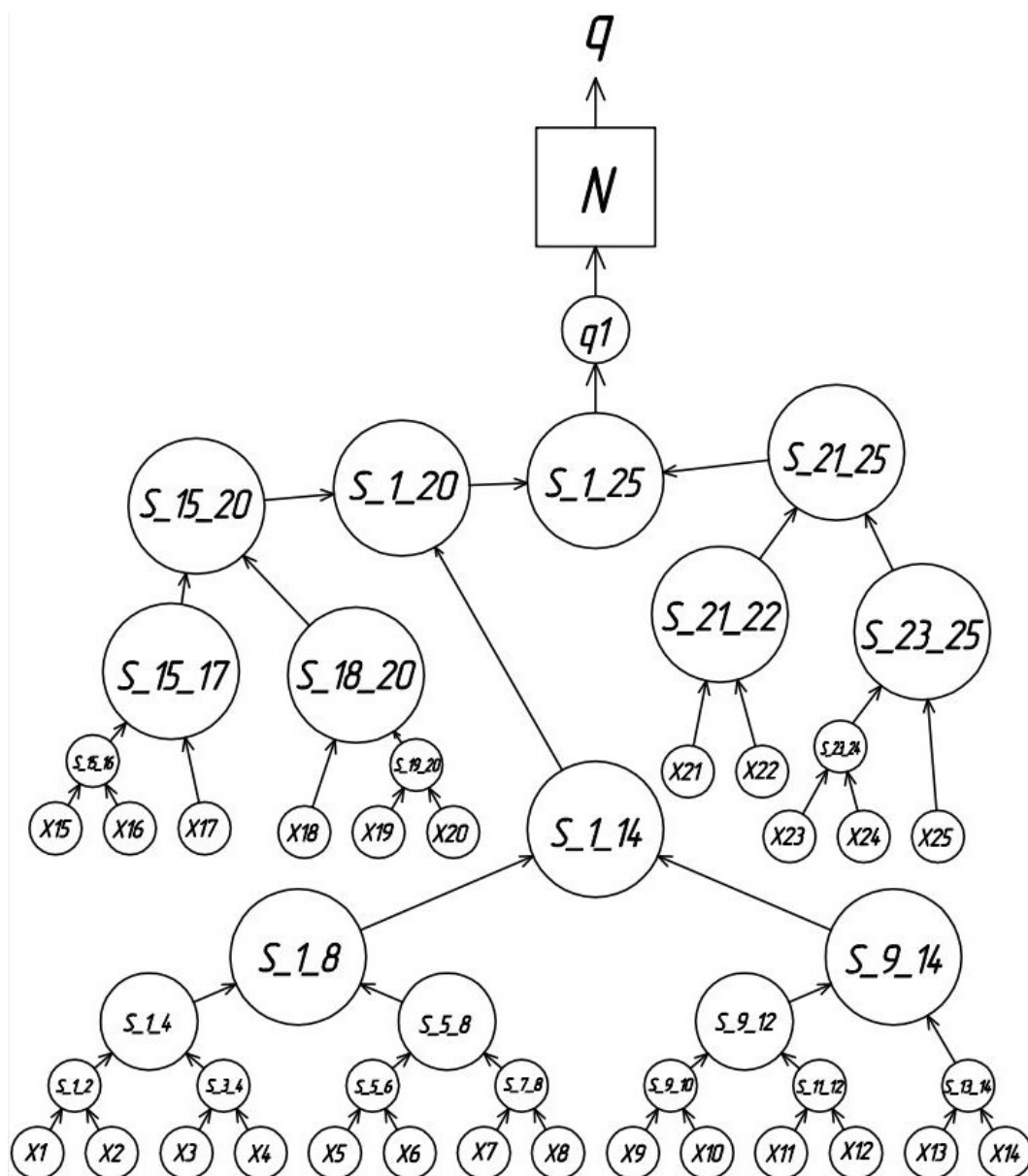


Рисунок 1 – Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода для оценки ТС ВЛЭП 110 кВ и определения ее ОР применительно к интервалу ТР

X1–X25 – влияющие факторы; S_1_14 – логическая свертка, соответствующая техническому состоянию опор; S_15_18 – логическая свертка, соответствующая техническому состоянию проводов; S_18_20 – логическая свертка, соответствующая техническому состоянию тросов; S_21_22 – логическая свертка, соответствующая техническому состоянию изоляторов; S_23_25 – логическая свертка, соответствующая техническому состоянию арматуры; q1 - показатель ТС ВЛЭП 110 кВ; q - ОР ВЛЭП 110 кВ; N - нормализатор

- X19 - Изменение тяжения в тросовых и стержневых оттяжках промежуточных опор при отсутствии ветра. (Изменение тяжения не более 20% от проектного: 0,07 - отлично (v); 0,14 - хорошо (s); 0,2 - плохо (n)).

- X20 - Уменьшение поперечного сечения троса оттяжки. ($\eta = S_{\text{факт}}/S_{\text{проект}}$: $\eta \geq 1$ – отлично (v); $\eta \geq 0,9$ – хорошо (s); $\eta \geq 0,8$ – плохо (n)).

- X21 - Сопротивление изоляторов. (10000 МОм – отлично (v); 5000 МОм – хорошо (s); 300 МОм – плохо (n)).

- X22 - Механическая прочность материала изолятора (120 кН – отлично (v); 60 кН – хорошо (s); 0 – плохо (n)).

- X23 - Износ шарнирных соединений арматуры. (Износ Рфакт/Рпроект : 1 - *отлично* (v); 0,95 - хорошо (s); 0,9 – плохо (n)).

- X24 - Уменьшение площади опасных сечений арматуры. (Сфакт/Спроект: 1 – *отлично* (v); 0,9 – хорошо (s); 0,8 — плохо (n)).

- X25 - Потеря сечения анкерных конструкций. (Сфакт/Спроект: 1 – *отлично* (v); 0,75 – *хорошо* (s); 0,5 – плохо (n)).

Рассматриваются только металлические опоры ВЛЭП 110 кВ. Приведенные данные относятся к ТР. Выделенные желтым цветом термы относятся к модельному эксперименту.

Показатель ТС формируется в системе нечеткого вывода sugeno_tip_calculator_q.

При этом на основе интервалов значений измеренных влияющих факторов формируется входной вектор $X = \{X1, \dots, X25\}$.

Вектор, в свою очередь, направляется в систему нечеткого логического вывода, на выходе которой получают показатель технического состояния ВЛЭП 110 кВ $q1$ и остаточный ресурс ВЛЭП 110 кВ q .

В связи с отсутствием информации о законах распределения факторов технического состояния для их лингвистической оценки использованы 5 термов треугольной функции распределения (рисунок 2).

Разработанная система нечеткой логики Vlep_110_kV позволяет использовать нечеткие и четкие входные величины:

- n – низкий (0),
- ns – ниже среднего (2,5),
- s – средний (5),
- vs – выше среднего (7,5);
- v - высокий (10) (рисунок 2).

Приведение показателя ТС от диапазона 0-10 к диапазону 0-6 осуществляется с помощью нормализатора Normalizator в формате Scilab (рисунок 3) и позволяет перейти к ОР ВЛЭП.

Нормализатор Normalizator позволяет также перейти к определению ТС ВЛЭП 110 кВ и ОР применительно к любому текущему значению влияющих факторов X1-X25. Для этого достаточно лишь ngd1 и vgd1 заменить на соответствующие нижние и верхние значения влияющего фактора, а ngd2 и vgd2 соответственно заменить на 0 и 10.

Для получения результатов нечеткого вывода ($\{X1, X2\} \rightarrow S_I_2$ – по рисунку 1) по заданным влияющим факторам используются разработанные нами нечеткие базы знаний типа Sugeno (рисунок 4). Базы знаний Sugeno одинаковы для всех систем нечеткой логики, поскольку обеспечивают наибольшую линейность формирования выходных

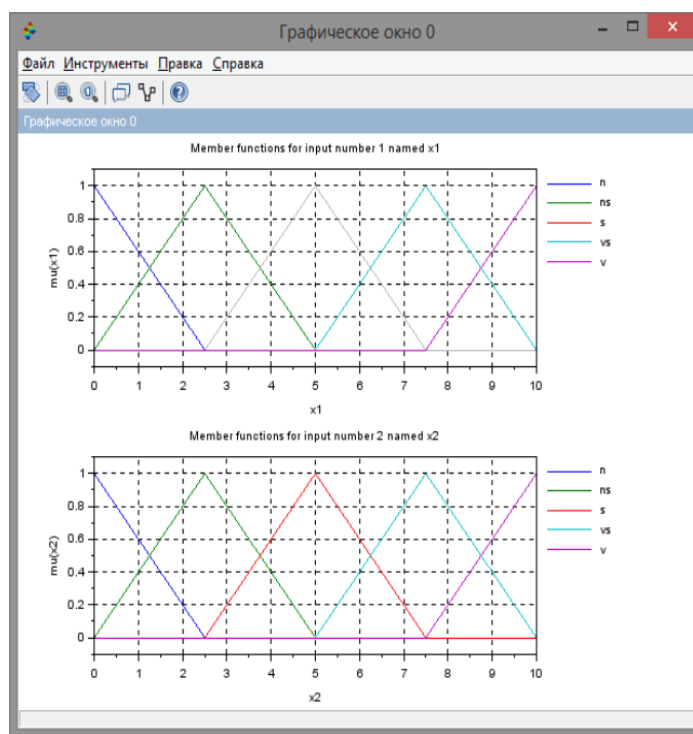


Рисунок 2 – Редактор функций принадлежности нечетких термов (n, ns, s, vs, v) для sugeno_tip_calculator_1.fis

```

247 rez_v_d1=q
248 ngd1=0;
249 vgd1=10;
250 //rez_v_d1=1.2581853;
251 ngd2=0;
252 vgd2=6;
253 rez_v_d2=(rez_v_d1/(vgd1-ngd1))*(vgd2-ngd2)+ngd2
254 ostat_resurs_VLEP_110_kV=rez_v_d2

```

Рисунок 3 – Листинг нормализатора в формате «Scilab»

ngd1 – нижняя граница диапазона 1, ngd2 – нижняя граница диапазона 2, vgd1 – верхняя граница диапазона 2, ngd2 – нижняя граница диапазона 2, rez_v_d1 – результат, полученный в диапазоне 1, rez_v_d2 – результат, полученный в диапазоне 2

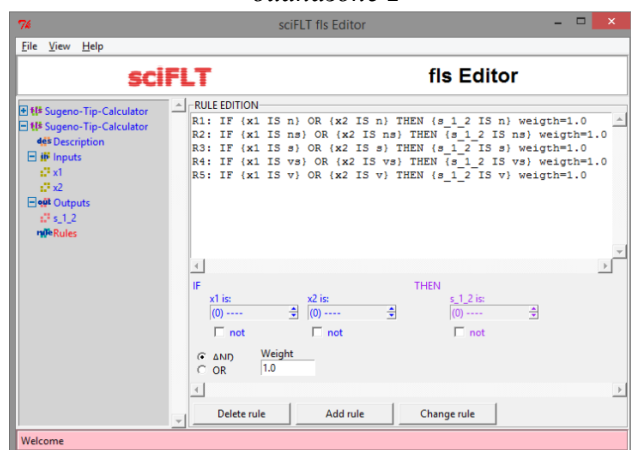


Рисунок 4 - Нечеткая база знаний типа Sugeno (для sugeno_tip_calculator_1.fis)

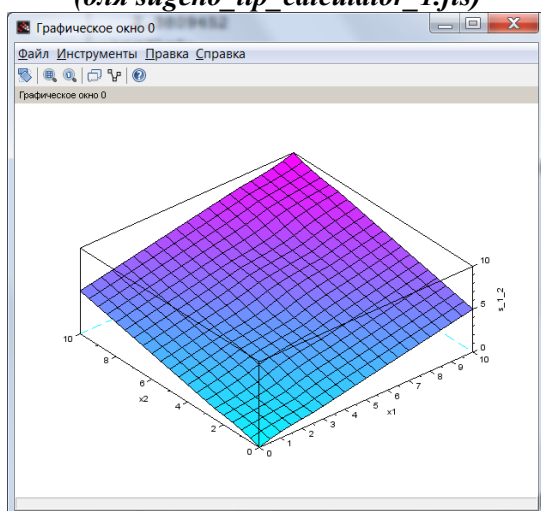


Рисунок 5 – Вид зависимости промежуточной логической свертки S_{1_2} от X_1 и X_2

логических свертки (для примера на рисунке 5 приведен вид получающейся при этом зависимости величины S_{1_2} от X_1 и X_2). При этом значения влияющих на техническое состояние факторов связаны логической функцией «ИЛИ», весовой коэффициент соответствующего правила равен 1.

Преобразование информации влияющих на состояние ВЛЭП 110 кВ факторов (X_1 - X_{25}) к q по рисункам 1, 2, 3, 4 происходит следующим образом:

- производится измерение влияющих факторов, влияющих на ТС ВЛЭП 110 кВ;

- полученные значения факторов X_1 – X_{25} вводят в соответствующие строки файла sugeno_tip_demo1;

- в командном окне «Scilab» запускают на исполнение программу sugeno_tip_demo1 и с использованием функций принадлежности (рисунок 2), предварительно подобранных для каждого фактора с X_1 по X_{25} , с участием фаззификатора, машины нечеткого логического вывода, дефаззификатора, разработанных нечетких баз знаний (рисунок 4) и разработанного блока нормализатор Normalizator (рисунок 3), в результате нечеткого логического преобразования значений влияющих факторов X_1 по X_{25} в командном окне Scilab получают ОР ВЛЭП 110 кВ в виде q (в годах), приведенный к интервалу ТР.

Оценка состояния ВЛЭП 110 кВ осуществляется на основе объединения частных выводов о состоянии ее элементов и выполняется с использованием базы знаний, в которой все правила сформулированы на основе экспертных знаний и результатов измерений параметров ВЛЭП.

Для моделирования многомерных зависимостей "входы - выход" (влияющие факторы – оценка ТС применительно к ВЛЭП 110 кВ) целесообразно использовать разработанную иерархическую систему нечеткого логического вывода, в которой выходная переменная одной базы знаний является входной для другой базы знаний. Предложенная в модели схема формирования базы знаний, отображающая иерархическую взаимосвязь между входными переменными (X_1 – X_{25}) и выходной переменной q_1 , позволяет по результатам каждого обследования параметров электрооборудования ВЛЭП 110 кВ определить ТС ВЛЭП в диапазоне от 0 до

10 и дать оценку ОР q в пределах временного промежутка интервала ТР, то есть от 0 до 6 лет.

Результаты модельных экспериментов по определению ОР ВЛЭП 110 кВ

В результате выполнения алгоритма в командном окне Scilab получают q – значение ОР до ТР. На основе ОР принимаются решения либо о продолжении эксплуатации ВЛЭП, либо (на основе оценки и изменения промежуточных логических сверток) - о необходимости управления ТС ВЛЭП путем ремонта наиболее проблемных элементов.

Значение показателя ТС ВЛЭП 110 кВ (2,38), приведенного от диапазона 0–10 к диапазону 0–6 с помощью нормализатора, позволило перейти к ОР ВЛЭП: 1,43 года.

Разработанный метод применим только для только металлических опор ВЛЭП 110 кВ, а приведенные данные относятся к ТР, проводимому через 6 лет. В перспективе этот метод можно модифицировать и распространить для работы с линиями любых номинальных напряжений и любых видов ремонта ВЛЭП.

Список литературы

1. Современное состояние разработок в области определения остаточного ресурса асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/epb_tez_2013.pdf. - Загл. с экрана.
2. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35 - 800 кВ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/39/39443/. - Загл. с экрана.
3. Крылов С. Техническое состояние воздушных линий 35 КВ и выше. Методы обследования [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/21.php>. - Загл. с экрана.
4. Типовая программа технического освидетельствования электрооборудования электрических станций и сетей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: http://www.энергосайт.рф/_ld/3/396____.doc. - Загл. с экрана.
5. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2017]. - Режим доступа: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293816/4293816092.pdf>. - Загл. с экрана.

Воробьев Николай Павлович – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 6560056, г. Барнаул, ул. Чернышевского, д. 28 кв. 40; Тел.: 8-961-9999-304; E-mail: vnprol51p@ya.ru.

Попов Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 656038, г. Барнаул, ул. Чкалова, 32-115; Тел.: 8-903-910-05-04, E-mail: oleandr78@mail.ru.

Кааль Роман Владимирович - магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Адрес: 656906, г. Барнаул, п. Плодопитомник, ул. Республиканская 10-1, Тел.: +7 952 006 33 44, E-mail: kaalrom@mail.ru

THE DEFINITION OF A TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINE OF 110 KV WITH THE ABILITY TO PREDICT THE TIMING AND TYPES OF MAINTENANCE BASED ON THE SOFTWARE ENVIRONMENT SCILAB

Vorobyev N. P., Popov A. N., Kaal R. V.
Russian Federation, Barnaul,
Altai state technical University. I. I. Polzunov

The problems of determining the technical condition of high-voltage transmission line 110 kV on the basis of fuzzy logic. The proposed use of the Scilab software environment to determine the technical condition of high-voltage transmission line. The results of determining the measure of the technical condition of high-voltage transmission line of 110 kV and residual life in relation to the interval of current repairs.

Keywords: technical condition, air, power line, high-voltage transmission line, fuzzy logic, and factors influencing, system of fuzzy inference, the residual resource.

Bibliography

1. Sovremennoe sostoyanie razrabotok v oblasti opredeleniya ostatochnogo resursa asinhronnykh elektrodvigateley [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://edu.secna.ru/media/f/epb_tez_2013.pdf. – Zagl. s ekrana.
2. Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii vozdukhnykh liniy elektropredachi napryazheniem 35 - 800 kV [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/39/39443/. – Zagl. s ekrana.
3. Kryilov S. Tehnicheskoe sostoyanie vozdukhnykh liniy 35 KV i vyishe. Metodyi obsledovaniya [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/21.php>. – Zagl. s ekrana.
4. Tipovaya programma tehnikeskogo osvidetelstvovaniya elektrooborudovaniya elektricheskikh stantsiy i setey [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: http://www.energосayt.rf/_ld/3/396_.doc. – Zagl. s ekrana.
5. Metodicheskie ukazaniya po otsenke tehnikeskogo sostoyaniya vozdukhnykh liniy elektropredachi napryazheniem 35-750 kV i ih elementov [Elektronnyy resurs]. – Elektron. dan. – M., [2017]. – Rezhim dostupa: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293816/4293816092.pdf>. – Zagl. s ekrana.

Vorobyev Nikolay Pavlovich – doctor of technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department "electrification of production and everyday life" Altai state technical University. I. I. Polzunov; Address: 6560056, Barnaul, street Chernyshevsky, d. 28 sq 40; Tel: 8-961-9999-304, E-mail: vnprol51p@ya.ru.

Popov Andrey Nikolaevich – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "power Supply of industrial enterprises" Altai state technical University. I. I. Polzunov; Address: 656038, Barnaul, Chkalova, 32 – 115; Tel: 8-903-910-05-04, E-mail: oleandr78@mail.ru.

Kaal Roman Vladimirovich - graduate student, Altai state technical University. I. I. Polzunov, Address: 656906, Barnaul, p. plodopitomnik, street Republican 10-1; Tel: +7 952 006 33 44 E-mail: kaalrom@mail.ru.

УДК 621.31:631.17

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Боярков Д.А.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

В статье рассмотрены современные методы моделирования и оценки рисков опасности электроустановок: метод нечетких множеств и нейронных сетей. Произведено сравнение этих методов и выбран наиболее перспективный и удобный из них для оценки рисков на данный момент развития науки и техники.

Ключевые слова: риск, человеко-машинная система, электроустановка, нечеткие множества, нейронные сети

Существует большое количество методов моделирования и оценки рисков опасности электроустановок (ЭУ), которые условно можно разделить на традиционные и современные. К традиционным методам в настоящий момент относят:

- феноменологический метод;
- детерминистический метод;
- статистический метод;

- вероятностно-статистический метод;
- теоретико-вероятностный метод.

Традиционные методы имеют свои достоинства и недостатки. Но главное, что их объединяет, это тот факт, что они не учитывают неопределенность, неточность и, зачастую, противоречивость исходной информации, которая очень часто имеет место при проведении диагностики технического состояния ЭУ на производственных объектах. Так, например, плохо определяемые данные, необходимые для расчета риска, очень трудно, а иногда невозможно выразить каким-либо числом или зависимостью. Например, такие факторы, непосредственно влияющие на структуру риска (рискообразующие факторы (РОФ)) как действие человека в нештатных ситуациях, качество ремонта ЭУ, наличие в помещении горючих материалов и т.д., практически не поддаются формализации. Современные же методы, к которым относятся методы нечетких множеств и нейронных сетей, избавлены от этих недостатков и с их помощью достаточно легко поддаются формализации те данные, которые невозможно определить каким-либо числом или аналитической зависимостью. Рассмотрим данные методы более подробно.

Метод нечетких множеств применяют при оценке рисков сложных человеко-машинных систем (ЧМС), когда роль человеческого фактора представляется доминирующей. Данный метод относят к классу логических моделей, в основе которых положено такое понятие как "высказывание" – лингвистическое выражение, имеющее некоторый смысл, с помощью которого можно говорить о том истинно оно или ложно. Математический аппарат нечеткой логики позволяет на основе множества разнообразной информации компонентов ЧМС построить определенную модель, используя при этом символическое, а не числовое представление значений данной информации. В качестве методов обработки информации используют процедуры логического нечеткого вывода и эвристического поиска принятия решения. Для оценки рисков опасности электроустановок производится определенное семантическое и логико-математическое моделирование, определяется совокупность РОФ, вводятся управляющие и обратные связи, устанавливается кластеризация рисков с разной степенью градации (например, чрезвычайно высокий, очень высокий, высокий, средний, и т.д.). Далее производится формирование альтернатив, логических системных с нечеткими отношениями, логические нечеткие вывод [1].

Применение же нейронных сетей целесообразно в случаях, когда формализация процесса принятия решения сталкивается с большими трудностями либо это сделать практически невозможно, а так же когда неизвестен точный вид связи между входными и выходными параметрами ЧМС, но сам факт наличия этой связи достоверен. При этом параметры этой связи будут получены в процессе обучения нейронной сети [2]. Рассмотрим основные этапы создания нейронной сети [3]:

- сбор необходимых данных для обучения. Информация, поступающая в нейронную сеть должна быть истинной и непротиворечивой.

- подготовка и нормализация данных. Исходная информация преобразуется к виду, в котором ее можно подать на вход сети. Далее производится приведение всех данных к одному порядку. Для этого производят нормировку (для дискретных величин, которые имеют разные размерности) или квантование (разбиение непрерывной величины на конечное множество дискретных).

- выбор топологии сети. Нейронные сети делятся на обучающиеся с учителем или без него. Для сетей, обучающихся с учителем, обязательна экспертная оценка для каждого РОФ. Если же сеть содержит большой массив данных, то для всей информации невозможно задать экспертные оценки, тогда сеть обучается без учителя.

- подборка характеристики сети. Выбирается количество слоев, блоков в каждом слое, наличие или отсутствие обходных соединений, передаточных функций нейрона.

– обучение сети. Сеть просматривает обучающие данные с учителем – несколько раз, без учителя – один раз. В это время проявляются все ошибки, которые были не учтены ранее. В этом случае сеть необходимо избавить от ошибок и снова произвести процесс обучения.

– проверка адекватности произведенного обучения. Проверяется факт того, научилась ли сеть тому, чего от нее требовал создатель.

Рассмотрим основные достоинства и недостатки современных методов оценки риска, которые приведены в виде структурной диаграммы на рисунке 1.

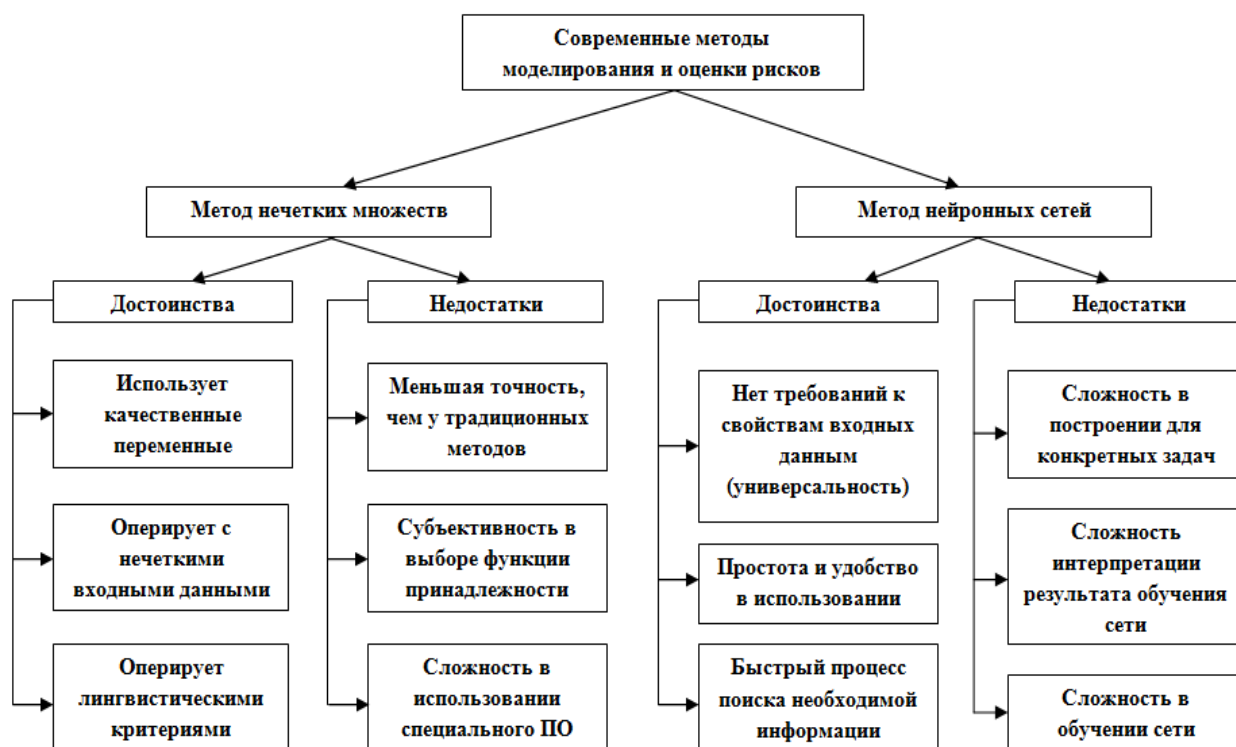


Рисунок 1 – Достоинства и недостатки современных методов оценки рисков

Проводя анализ и сравнение этих двух методов можно прийти к выводу, что наиболее подходящим для моделирования и оценки рисков на данный момент развития науки и техники является метод нечетких множеств, поскольку он легче в плане разработки программного обеспечения и более понятен как для разработчиков программных продуктов, так и для пользователей. Кроме того, результаты метода нечетких множеств несложно интерпретировать на человеческий «язык» и делать по ним конкретные выводы о техническом состоянии электроустановок на производственном объекте. Нейронные же сети достаточно тяжело обучаются и для каждого нового имитационного моделирования необходимо создавать новую сеть, что является очень трудоемкой задачей. Так же следует отметить, что результаты моделирования с помощью нейронных сетей часто тяжело каким-то образом интерпретировать на «язык», который был бы понятен обычному пользователю сети, что является его существенным недостатком и усложняет применение для людей, которые недостаточно хорошо разбираются в программировании.

Список литературы

1. Никольский, О. К. Теория и практика управления техногенными рисками [Текст] : учебн. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. К. Никольский, Н. П. Воробьев, Т. В. Еремина, А. Ф. Костюков, А. Ф. Калинин, А. Н. Тушев. – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.
2. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей [Текст] : Кн. 1: учеб. пособие для вузов / А. И. Гулушкин. – Москва : ИПРЖР, 2000. – 416 с.

3. Корнеев, Д. С. Использование аппарата нейронных сетей для создания модели оценки и управления рисками на предприятии [Текст] / Д. С. Корнеев // Управление большими системами – сборник трудов. – Москва, 2014. - №2. – С. 81-102.

Боярков Дмитрий Андреевич – инженер-магистр, заведующий лабораторией кафедры «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29, e-mail: dmitrij.bojarkov@gmail.com.

MODERN METHODS OF MODELLING AND ASSESSMENT OF RISKS OF DANGER OF ELECTROINSTALLATIONS OF PRODUCTION OBJECTS

Boyarkov D. A
Russia, Barnaul, AltSTU

In article modern methods of modeling and an assessment of risks of danger of electroinstallations are considered: method of indistinct sets and neural networks. Comparison of these methods is made and the most perspective is chosen and convenient of them for an assessment of risks at the moment of development of science and technology. Keywords: risk, damage, integrated assessment, dangerous technogenic situation.

Keywords: risk, human-machine system, electroinstallation, fuzzy sets, neural networks

Bibliography

1. Nikol'skiy, O. K. Teoriya i praktika upravleniya tekhnogennymi riskami [Tekst] : uchebn. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / O. K. Nikol'skiy, N. P. Vorob'yev, T. V. Eremina, A. F. Kostyukov, A. F. Kalinin, A. N. Tushev. – Barnaul, Izd-vo AltGTU, 2015. – 219 s.
2. Galushkin, A. I. Teoriya neyronnykh setey [Tekst] : Kn. 1: ucheb. posobie dlya vuzov / A. I. Gulushkin. – Moskva : IPRZhR, 2000. – 416 s.
3. Korneev, D. S. Ispol'zovanie apparata neyronnykh setey dlya sozdaniya modeli otsenki i upravleniya riskami na predpriyatii [Tekst] / D. S. Korneev // Upravlenie bol'shimi sistemami – sbornik trudov. – Moskva, 2014. - №2. – S. 81-102.

Boyarkov Dmitriy Andreevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29, e-mail: dmitrij.bojarkov@gmail.com.

СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ

Руководитель:

Кувалдин Александр Борисович – доктор технических наук, академик АЭН РФ, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», НИУ «МЭИ», г. Москва

УДК 669.15:620.193

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ РЕЦИКЛИНГА МЕТАЛЛООТХОДОВ

Судник Л.В., Рудницкий К.Ф.

Республика Беларусь, г. Минск, ОХП НИИ "Импульсных процессов с опытным производством" ГНУ ИПМ

Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.

Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский национальный технический университет,

В работе рассмотрены вопросы влияния модифицирования ультрадисперсными материалами на структуру и физико-механические сплавов.

Ключевые слова: сплав, модифицирование, структура

В технологии производства отливок из вторичных сплавов повышенное внимание к формированию первичной структуры весьма важно потому, что сформировавшаяся в результате кристаллизации структура, наследуется и после термической обработки.

Важнейшим технологическим приемом управления структурообразованием литых цветных и железоуглеродистых сплавов, обеспечивающим высокие служебные и эксплуатационные качества, является модифицирование расплава добавками различных элементов [2,4].

В настоящей работе проведены исследования влияния тонкодисперсных добавок на структуру и свойства некоторых литейных сплавов – антифрикционных на основе цинка, силуминов и быстрорежущей стали, предназначенной для изготовления литого режущего инструмента и технологической оснастки.

В качестве модифицирующих добавок для исследования их влияния на процесс структурообразования антифрикционного сплава системы цинк-алюминий-медь были выбраны наноструктурированные нитрид бора и одноводный гидроксид алюминия (бемит).

Анализ результатов металлографического анализа образцов исследуемого сплава (рисунок 1) показал, что вводимые нанодобавки кардинально меняют дисперсность, характер распределения и количественное соотношение структурных составляющих. Так при введении в расплав значительно увеличивается доля эвтектики, представляющей смесь двух твердых растворов. Особенно этот эффект проявляется при модифицировании нитридом бора и, в несколько меньшей степени, бемитом. В частности в структуре сплава обработанного нитридом бора фиксируется лишь небольшая доля (не более 10 %) первичных зерен α – твердого раствора, выстроенных в направлении осей дендритов. Установлено, что модифицирующий эффект нанодобавок проявляется как в инокулирующем, так и лимитирующем действии на кристаллизующийся расплав.

Одним из перспективных путей, связанным с существенным повышением механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, является модифицирование расплавов мелкодисперсными частицами порошков карбидов, оксидов, нитридов и др. Тугоплавкие частицы, которые в зависимости от своих размеров могут, как измельчать структурные составляющие и способствовать формированию новых, так и являться составной частью образующегося композиционного материала [3]. Применение недефицитных, дешевых и экологически безопасных порошковых добавок, например, на основе карбидов или оксидов в сочетании с традиционной рафинирующей обработкой может обеспечить существенное повышение свойств литых изделий из вторичных алюминиевых сплавов. От размера частиц зависит преобладающий механизм влияния на формирование структуры и свойств алюминиевого сплава. Так, частицы размером до 0,1 мкм оказывают сильный модифицирующий эффект при введении в сплав в количестве сотых долей процента, а порошки размером 1 - 40 мкм наряду с модифицированием структуры формируют композиционный сплав с повышенной твердостью и износостойкостью. При большем размере, например, абразивных частиц SiC в материале могут возникнуть трудности с механической обработкой.

Из большого количества применяемых в качестве модифицирующих добавок (в основном карбидов и оксидов) для обработки сплава АК5М2 были выбраны порошки SiC и Al_2O_3 , а для заэвтектического сплава АК21М2 - SiC, Al_2O_3 , CuP, поскольку они оказывают различное влияние на структуру алюминиевых сплавов. Микроструктура

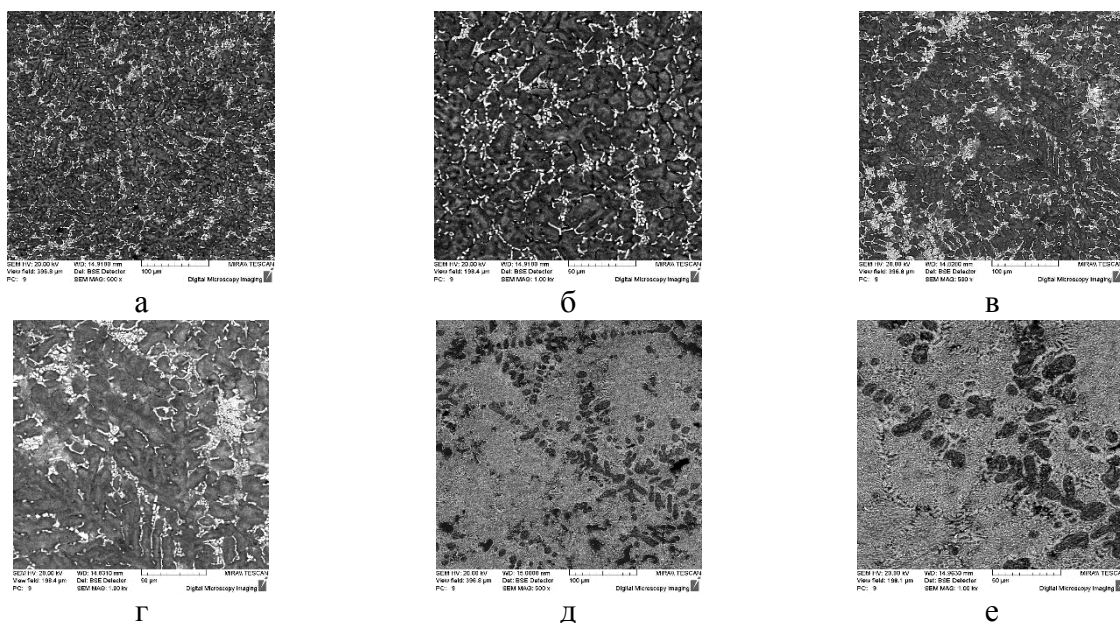


Рисунок 1 - Микроструктуры экспериментального антифрикционного сплава без добавок а, б - с добавкой (0,15 %) масс. наноструктурированного бемита; в, з - с добавкой (0,15 % масс.) нитрида бора; а, в, д – х 500; б, з, е – х 1000)

немодифицированного доэвтектического силуминов состоит из твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики, в которой кремний находится в виде грубых игольчатых и пластинчатых включений, существенно снижающих прочность и пластичность сплавов. Поэтому модифицирование таких сплавов направлено в основном на измельчение эвтектического кремния. Так, в сплаве АК5М2 после ввода модифицирующих частиц происходит перераспределение структурных составляющих и диспергирование эвтектического кремния (рисунок 2). Иголочки эвтектического кремния дробятся и приобретают более компактную округлую форму, уменьшаются размеры дендритов α -твердого раствора алюминия [1].

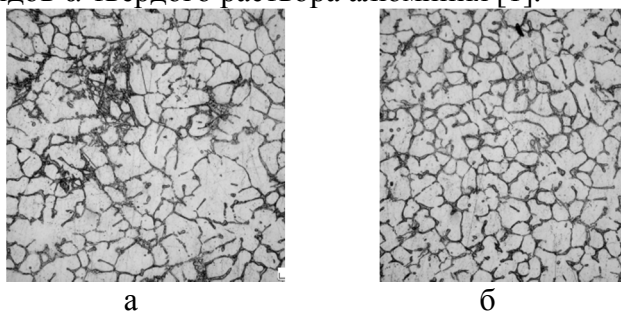


Рисунок 2 - Микроструктура доэвтектического силумина АК5М2, X 100

а) исходный; б) после введения модифицирующих частиц

На основании полученных результатов установлено, что введение модифицирующих порошковых добавок во вторичные алюминиевые сплавы способствует повышению физико-технических и эксплуатационных свойств сплавов. При этом твердость изученных сплавов повышается на 20 - 30 %, износостойкость - в 3 - 4 раза, прочность - на 15 -24 %.

В качестве модифицирующей добавки, обеспечивающий

комплексное воздействие на формирование структуры быстрорежущей стали выбран наноструктурированный диборид титана: бор, входя в состав эвтектики, повышает износостойкость, титан, являясь инокулирующим элементом – измельчает первичное зерно и увеличивает ударную вязкость. Комплексный модификатор помещали в специально предусмотренную реакционную камеру, форму и размеры которой в литниковой системе рассчитывали с учетом отливки.

Микроструктуры образцов немодифицированной стали Р6М5 базового состава приведены на рисунке 3. Для структуры стали характерно наличие непрерывной сетки ледебуритной эвтектики по границам первичных зерен. По морфологическому строению

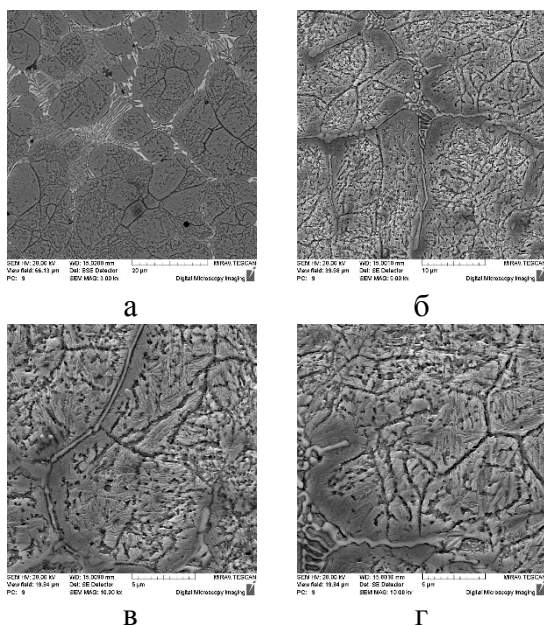


Рисунок 3 - Микроструктура образцов немодифицированной стали Р6М5, залитых в форму из химически твердеющей смеси
а - $\times 250$, б - $\times 500$, в, г - $\times 1000$

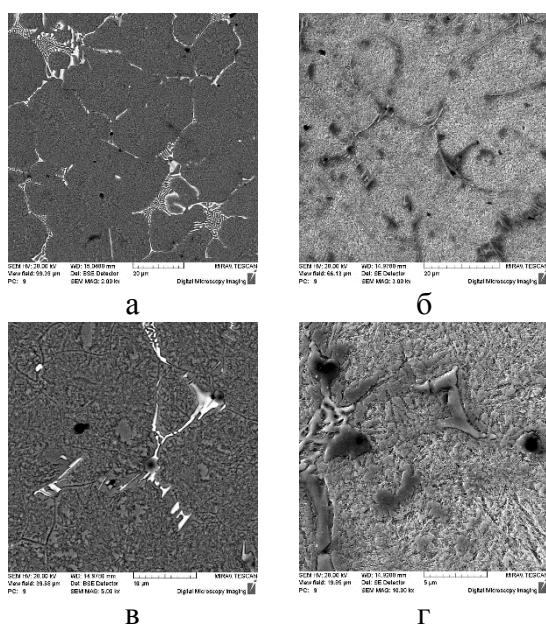


Рисунок 4 - Микроструктура образцов стали Р6М5, модифицированной наноструктурированным диборидом титана
а - $\times 250$, б - $\times 500$, в, г - $\times 1000$
а, б - $\times 250$; в - $\times 500$, г - $\times 1000$

оказывает заметное влияние на морфологию структуры литой быстрорежущей стали, приводит к измельчению зерна (в 1,5-2 раза), раздроблению эвтектики, уменьшению количества неметаллических включений (в 1,5-2,5 раз) за счет инокулирующего, поверхностно-активного и рафинирующего воздействия. При этом повышается ударная вязкость в 1,2-1,3 раза и теплостойкость литой стали на 1-1,5 HRC.

эвтектика преимущественно веерообразная или пластинчатая на базе карбидов M_2C и M_6C , в некоторых участках присутствуют карбиды MC в виде тонких сплошных пластин. По описанию структура образцов, полученных в данном эксперименте полностью соответствует структуре стали данного состава (0,8-0,88 % C, 3,8-4,3 % Cr; 5,5-6,5 % W; 4,5-5,5 % Mo; 1,87-2,1 % V), кристаллизующейся в условиях скоростей охлаждения 1-2 °C/с на стадии затвердевания, обеспечиваемых теплоаккумулирующей способностью формы из химически твердеющих смесей.

Микроструктуры образцов стали аналогичного состава (рисунок 4), модифицированной наноструктурированным диборидом титана свидетельствуют об изменении условий кристаллизации под воздействием модификаторов и формировании иного распределения структурных составляющих. В частности сетка эвтектики разрывается, ледебурит локализуется в отдельных участках. Появляются колонии эвтектики скелетообразного морфологического типа, характерные для стали P18 или борсодержащей стали. В центре первичных зерен фиксируются карбиды типа MC (VC , TiC). Сами первичные зерна более мелкие, преимущественно округлой формы. Изменение характера распределения структурных составляющих, а именно появление карбоборидной эвтектики по границам первичных зерен и карбидов на базе титана внутри них свидетельствует о том, что внутриформенные методы модифицирования могут быть использованы в технологических процессах получения заготовок литого режущего инструмента и технологической оснастки.

На основании проведенных исследований и опытных плавок инструментальных быстрорежущих сталей установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах

Показана целесообразность оптимизации состава наномодифицирующего комплекса не только по свойствам стали, но и по стойкости литого инструмента. Определен состав наномодифицирующего комплекса, повышающий стойкость инструмента в 1,2-1,3 раза

Список литературы

1. Андрушевич, А.А. Влияние порошковых добавок на структуру вторичных заэвтектических силуминов [Текст] / А.А. Андрушевич, М.Н. Чурик, И.Н. Казаневская // Материалы МНТК «Металлургия и литейное производство, Беларусь, 2007». – Минск, 2007. – с.268-269.
2. Гаврилин, И.В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов [Текст] // Владимир: Владим. гос. уни-т, 2000. – 260с.
3. Марукович, Е.И. Повышение эффективности модифицирования [Текст] / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – с.151 – 153.
4. Чаус, А.С. Влияние модифицирования на структуру и свойства литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей [Текст] / А.С. Чаус, Ф.И. Рудницкий // МитОМ. – 1989. – № 2. – с. 27-32.

Судник Лариса Владимировна, д-р техн.наук, ОХП НИИ "Импульсных процессов с опытным производством" ГНУ ИПМ, директор, Республика Беларусь, г. Минск, lsudnik@tut.by.

Рудницкий Федор Иванович, канд.техн.наук, Белорусский национальный технический университет, доцент, Республика Беларусь, г.Минск, stl_minsk@tut.by.

Рудницкий Константин Федорович, ОХП НИИ "Импульсных процессов с опытным производством" ГНУ ИПМ, вед. инженер, Республика Беларусь, г. Минск, 6987130@gmail.com.

Николайчик Юрий Александрович, канд.техн.наук, Белорусский национальный технический университет, зав. кафедрой «МитЛП», Республика Беларусь, г.Минск, yuni@bntu.by.

CONTROL OF STRUCTURE FORMATION OF ALLOYS IN THE PROCESS OF METAL WASTE RECYCLING

Sudnik L.V., Rudnitski K.F.

Institute of Impulse Processes with Pilot Plant, Minsk, Belarus.

Rudnitski F.I., Nikolaichik Y.A.

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

The paper deals the influence of powder materials on the structure and physico-mechanical properties of the alloys.

Key words: alloy, modification, structure

Bibliography

1. Andrushevich, A.A., Vliyanie poroshkovykh dobavok na strukturu vtorichnykh zaehvtekticheskikh siluminov [Tekst] / A.A. Andrushevich, M.N. Churik, I.N. Kazanevskaya // Materialy MNTK «Metallurgiya i litejnoe proizvodstvo, Belarus', 2007». – Minsk, 2007. – s.268-269.
2. Gavrilin, I.V. Plavlenie i kristallizaciya metallov i splavov [Tekst] // Vladimir: Vladim. gos. uni-t, 2000. – 260s.
3. Marukovich, E.I., Povyshenie ehffektivnosti modifitsirovaniya [Tekst] / E.I. Marukovich, V.YU. Stecenko // Lit'e i metallurgiya. – 2006. – № 2, – s.151 – 153.
4. Chaus, A.S. Vliyanie modifitsirovaniya na strukturu i svoystva litykh vol'framolibdenovykh bystrorezhushchih stalej [Tekst] / A.S. Chaus, F.I. Rudnitski // MitOM. – 1989. – № 2. – s. 27-32.

Sudnik Larisa Vladimirovna, DoES, Institute of Impulse Processes with Pilot Plant, director, Minsk, Belarus, lsudnik@tut.by.

Rudnitski Fedor Ivanovich, CoES, Belarusian national technical university, docent, Minsk, Belarus, stl_minsk@tut.by.

Rudnitski Konstantin Fedorovich, Institute of Impulse Processes with Pilot Plant, engineer, Minsk, Belarus, 6987130@gmail.com.
Nikolaichik Yuriy Alexandrovich, CoES, Belarusian national technical university, department chair, Minsk, Belarus, yuni@bntu.by.

УДК 621.31: 658

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ПИТАНИЕМ ТОКОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Птицын Д.В., Птицына Е.В.

Россия, г. Омск, ОмГТУ

Кувалдин А.Б.

Россия, г. Москва, МЭИ (НИУ)

Исследованы температурные поля темных излучателей для различных электрических режимов для получения положительных технологических и энергетических эффектов

Ключевые слова: темный излучатель, электрический режим, ток сложной формы, источник питания

Investigated the temperature field of dark emitters for the different power modes for positive technological and energy effects

Keywords: dark emitter, the electric mode, the current complex shape, power source

Актуальность. По способу превращения электрической энергии в тепловую электротехнологические установки (ЭТУ) классифицируют следующим образом: установки индукционного и диэлектрического нагрева; установки, в которых реализован нагрев сопротивлением; электрической дугой; плазменный нагрев; нагрев электронным пучком; установки инфракрасного нагрева. Теплопередача в технологическом звене ЭТУ возможна разными видами теплообмена (теплопроводностью, конвекцией, тепловым излучением). В работе рассматриваются ЭТУ, в которых реализуется нагрев квантами: энергия передается инфракрасным излучением (ИК). В установках с инфракрасными излучателями передача энергии происходит в виде электромагнитных волн (через прозрачную среду). Эффективность работы ЭТУ определяется производительностью при заданном температурном диапазоне (низкотемпературные $-500\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднетемпературные $-1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ или высокотемпературные $->1250\text{ }^{\circ}\text{C}$), скоростью нагрева, работой системы автоматического управления, возможностью регулирования мощности в заданном диапазоне, что обуславливает требования к источникам питания. В подобных ЭТУ могут использоваться светлые и темные ИК-излучатели. Нагревательные элементы, излучающие волны, классифицируют по материалу оболочки, следующим образом: оболочки из кварца, керамические и металлические (см. табл. 1). Материалы для нагревателей тоже разнообразны: вольфрам, нихром, углеродистая сталь, корбоновые и др. [1-5].

В [1-5] доказана возможность повышения эффективности светлых и темных излучателей. В данной работе излагаются результаты тепловизионных исследований температурных полей темных (трубчатых) излучателей.

Целью работы являются тепловизионные исследования температурных полей (градиентов температуры) темных излучателей при изменении параметров электрических режимов для разработки рекомендаций по выбору эффективных режимов работы установок с темными излучателями.

Опыты выполнены в сравнении четырех электрических режимов: обычного с питанием переменным током частотой 50 Гц, обычного - при питании постоянным (выпрямленным) током, нового с питанием током сложной формы (ТСФ) с постоянной

Таблица 1 – Характеристики светлых, темных и газоразрядных излучателей

Наименование излучателей	Нагревательный элемент	Примечание
1. Светлый ИК-излучатель	Вольфрамовая спираль	Спираль внутри колбы из кварцевого стекла
2. Светлый ИК-излучатель	Нихромовая (Ni-Cr) спираль Карбон	Трубка из кварцевого стекла До 100 тыс. часов
3. Темный излучатель	Нагреватель из много-компонентного сплава (суперфехраль Fe-Cr-Al)	Корпус из огнеупорного керамического материала , с покрытием из защитной керамической глазури
4. Темный излучатель	Трубчатый нагреватель из углеродистой (0% Cr) или нержавеющей стали (свыше 13%Cr)	Оболочка металлическая (алюминиевая)
5. Газоразрядный излучатель	Электрический разряд низкого давления	Колба из кварцевого стекла , изнутри покрытие люминофором

составляющей и без постоянной составляющей. В обычном режиме питание темного излучателя реализовано от однофазного трансформатора 220/130 В. В режиме выпрямленного тока использовался однофазный трансформатор и выпрямительный блок на диодах (мостовая схема выпрямления). В новом режиме с питанием ТСФ с постоянной составляющей дополнительно включали нелинейную индуктивность. В четвертом режиме с питанием ТСФ без постоянной составляющей не использовали выпрямительный блок.

В качестве объекта исследования использован темный излучатель - трубчатый излучатель (ТЭН) для нагрева воздуха из *углеродистой стали (хром в качестве легирующих добавок не используется)*, длина трубки в развернутом виде 60 см, диаметр трубки 13 мм, мощность 0,4 кВт, напряжение 220 В, межосевое расстояние 73 мм, форма Ф2.

Приборы. Для исследования температурных полей ИК-излучателя использовали тепловизор типа Testo 885-2, серийный номер № 2358782, объектив стандартный 30⁰, тип детектора – 3200x240 пикс., температурная чувствительность < 30 Мк, спектральный диапазон – 8-14, температурный диапазон – -20°C +100°C (0°C +350°), измерение высоких температур – +350, погрешность – ±2°C (±2%), таймер, амперметр и вольтметр.

При выполнении экспериментальных исследований измеряли тепловое поле темного ИК-излучателя при для указанных выше электрических режимов.

По результатам исследований получены файлы радиометрических термограмм, обработанные с использованием специального программного обеспечения, входящего в комплект портативного тепловизора Testo 885-2. При этом тепловизор визуализировал ИК-излучение (мощность излучения) от каждой точки ИК-излучателя и бесконтактно измерял температуру его поверхности, то есть пересчитывал мощность излучения в температуру поверхности излучателя.

В табл. 2 представлены результаты экспериментальных исследований влияния электрических режимов с питанием ТСФ на параметры темных излучателей. На рис.1 - рис. 4 представлены термограммы для указанных четырех электрических режимов. Скорость подъема температуры в опытах одинакова: 10 минут.

Экспериментально подтверждено, в новых режимах с питанием ТСФ с постоянной составляющей и без постоянной составляющей повышается эффективность работы темных излучателей: снижается мощность, потребляемая из сети и возрастает значение коэффициента мощности с 0,776 до 0,975 (0,980).

Таблица 2 – Параметры режимов установки с ТЭН 60 А13/ 0,4 S 220 R30 Ф-2 при различных электрических режимах (трубчатый нагреватель)

Наименование электрического режима	Мощность из сети			Коэффициент мощности	Напряжение $U_{\text{ТЭН}}$, В	Температура, °С
	Активная, Р, кВт	Реактивная, Q, квар	Полная, S, кВА			
1. Обычный режим: переменный ток, 50Гц	0,123	0,101	0,159	0,776	111	147,4
2 Обычный режим: питание выпрямленным током	0,121	0,096	0,155	0,782	111	156,8
3. Новый режим : питание ТСФ с постоянной составляющей	0,124	0,027	0,127	0,975	111	159,2
4. Новый режим: ТСФ без постоянной составляющей	0,121	0,024	0,123	0,980	111	161,5

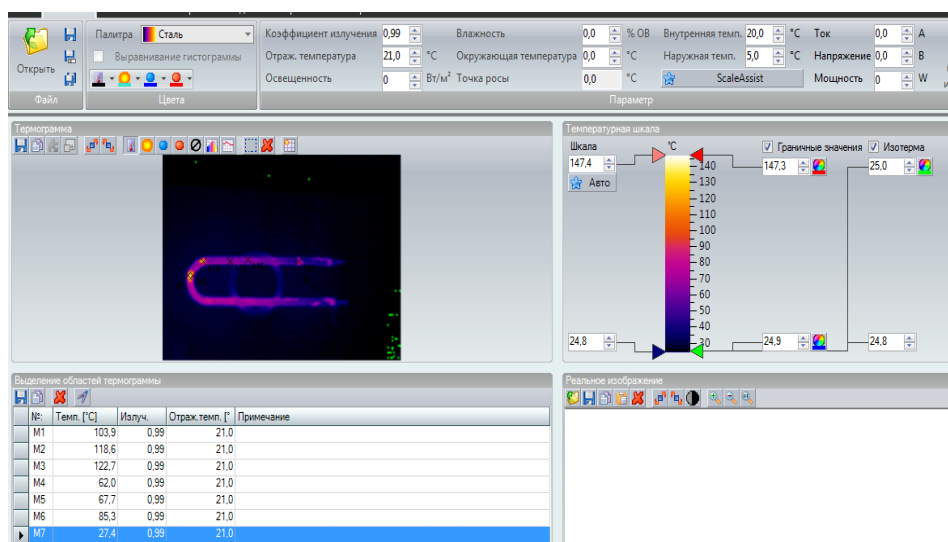


Рисунок 1 – Окно термограммы для обычного режима: питание установки переменным током частотой 50 Гц

Таким образом, экспериментальными исследованиями подтверждено, что в сравниваемых четырех электрических режимах коэффициент мощности $\cos\phi$ и потребляемая из сети полная мощность S соответственно были равны: 0,776, 0,782, 0,975, 0,98; и 0,159, 0,155, 0,127, 0,123 кВА. В новом режиме с питанием ТСФ с постоянной составляющей и без нее это обусловлено увеличением подвижности заряженных частиц под воздействием электромагнитной составляющей при регулировании формы тока (напряжения).

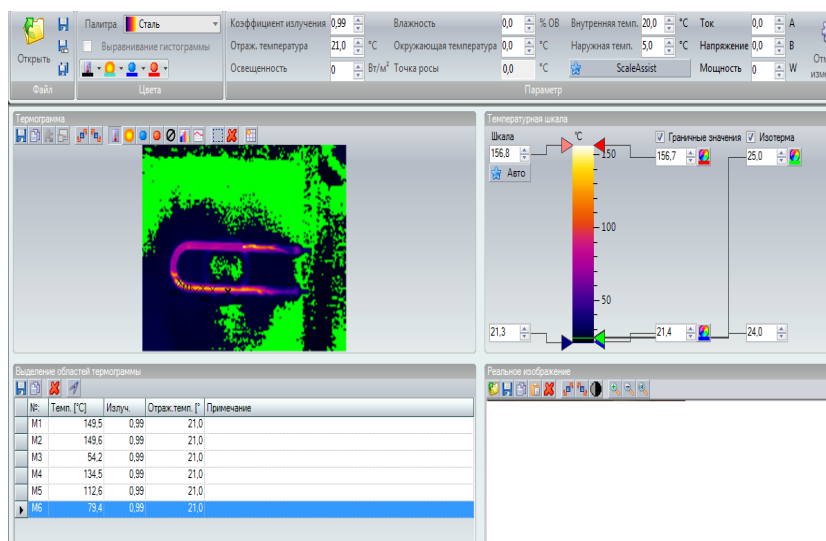


Рисунок 2 – Окно термограммы для обычного режима: питание установки выпрямленным током

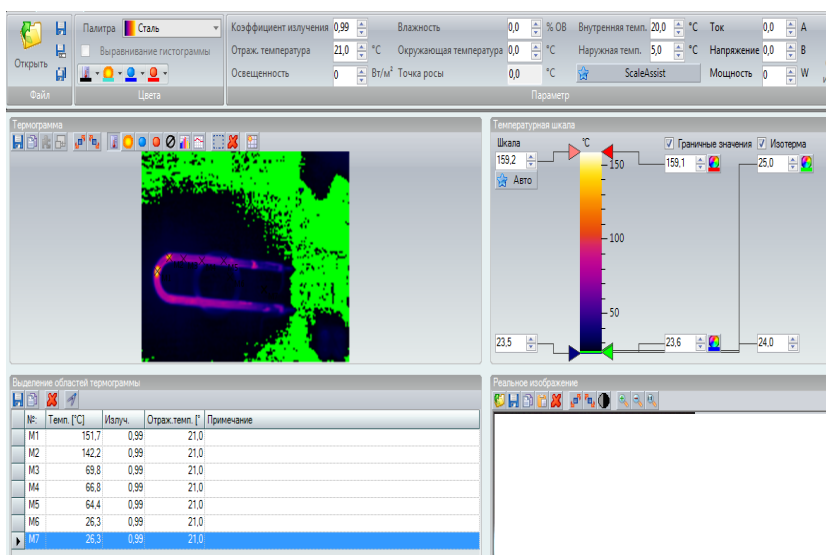


Рисунок 3 – Окно термограммы для нового режима: питание установки ТСФ с постоянной составляющей

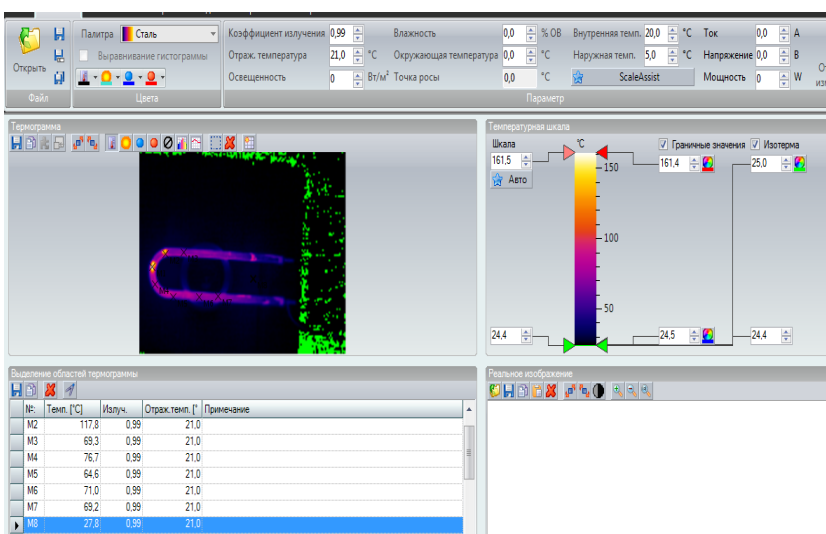


Рисунок 4 – Окно термограммы для нового режима: питание установки ТСФ без постоянной составляющей

Следовательно, необходимость регулирования формы питающего напряжения (тока) в установках с трубчатыми нагревателями обусловлена тем, что электромагнитная составляющая наряду с температурной влияет на подвижность заряженных частиц, что повышает эффективность процессов в установках не только со светлыми, но и с темными инфракрасными излучателями [4, 5].

Список литературы

1. Птицына, Е.В. Работа дуговых печей небольшой емкости при питании током сложной формы [Текст] / Е.В. Птицына, А.Б. Кувалдин // Электротехнология. – 2006. - № 6, - С. 26-36.
2. Птицына, Е.В. Электролизные и газоразрядные электротехнологические установки с питанием током сложной формы: Монография [Текст] / Е.В. Птицына; Под ред. А.Б. Кувалдина. – Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2007. – 420 с.
3. Птицына, Е.В. Анализ процессов в электротехнологических установках как основа разработки алгоритмов управления [Текст] / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын // Электротехнология в первом десятилетии XXI века: сборник докладов научно-технического семинара, посвященного 100-летию профессора М.Я. Смелянского. – М., 2013. – С. 242-257.
4. Птицына, Е.В. Тепловизионные исследования температурных полей светлых инфракрасных излучателей [Текст] / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Энерго- и ресурсосбережение XXI век : сборник матер. XIV – ой Международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2016 г.) – Орел : ОГТУ им. И.С. Тургенева, 2016. – С. 128-133.
5. Птицына, Е.В. Процессы в темных излучателях при питании током сложной формы [Текст] / Е.В. Птицына, Птицын Д.В., А.Б. Кувалдин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, - Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2015. № 8 часть 2 (19-2). – С. 344-348. (Сборник включен в РИНЦ. Сборник реферируется в ВИНТИ РАН. Включен в «Ulrich's Periodical directory»).

Птицына Елена Витальевна – д-р техн. наук, профессор кафедры ТиОЭ ОмГТУ;
тел.: 8(3812)-65-36-35.

Кувалдин Александр Борисович – д-р техн. наук, профессор, академик НИУ «МЭИ».

Птицын Дмитрий Вячеславович – ведущий инженер института территориального планирования «Град», по совместительству ассистент кафедры ТиОЭ ОмГТУ.

УДК 621.311.69.

ВЫРАВНИВАНИЕ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Бирюкова А.С., Титова Г.Р.

Россия, Москва, ФГБОУВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Применяемые меры по борьбе с ухудшением климатической ситуации. Обоснование перехода от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания на электромобили. Характеристика графика нагрузки с учётом загруженности по суточному времени. Применение аккумулирующих устройств(электромобилей) для повышения потребления электроэнергии в часы провалов энергопотребления.

Ключевые слова: графики нагрузки, зарядные станции, экология, режим потребления, , аккумулирующие устройства, электромобиль, экономическая целесообразность, тарифы

В настоящее время в крупных городах автотранспорт создает большие зоны атмосферного загрязнения с высокой долей выхлопных газов до 70-90%. Большое количество вредных веществ содержится в автомобильных выхлопах, но большинство из них наиболее пагубно влияют локально — в малом радиусе выброса, отравляя самого водителя, ближайшую окружающую среду и людей. Также при сгорании топлива

выделяется большое количество парниковых газов, которые являются одной из многих причин глобального потепления [1]. В связи с этим, были разработаны программы по борьбе с ухудшением ситуации и одна из таких программ «План по защите климата 2050» [2], которая затрагивает множество сфер деятельности: электроснабжение, строительство, транспорт и многие другие. Это повлияло на значительный прирост электротранспорта во многих странах, а также это связано с тенденцией перехода на "зеленый образ жизни".

Не смотря на многие страны, в России переход осуществляется медленно, но равномерно. Для этого требуется развитие электроэнергетики за счет возобновляемых источников, гидро- и атомной энергетики. Требование к качеству электроэнергии и надежности систем возрастают. Для снижения потерь в сетях необходимо выравнивать график нагрузки потребителей. Графики нагрузок, по всей территории России имеют схожий вид, это объясняется структурой потребления электроэнергии во временных интервалах день – ночь. Максимумы электропотребления приходятся на утро, когда большая часть предприятий начинает рабочий день, и на вечер, когда население возвращается с работы и включает бытовую технику. В ночные часы наблюдается избыток электроэнергии, который на графиках нагрузки отражаются провалами до 60-70% [3] от суточного максимума. Производители электроэнергии при сокращении электропотребления в ночное время вынуждены сокращать производство электрической энергии на своих установках. Такие скачки нагрузки негативно влияют на генерирующее оборудование, приводят к досрочному износу оборудования (из-за большого количество переходных процессов) и сокращению ресурса работы и, как следствие, к постоянному росту цен на электроэнергию.

Применение электромобилей может рассматриваться в качестве потребителя-регулятора графиков нагрузки. Время заряда аккумулятора изменяется от 30 минут до нескольких часов, в зависимости от мощности зарядного устройства. Существует 3 вида зарядных устройств: 1) Медленная зарядка для заряда батарей электромобилей индивидуального использования (до 3 кВт) заряжает в течении 6-8 часов; 2) Быстрая зарядка публичного использования (7-22 кВт) обеспечивает полный заряд аккумулятора за 3-4 часа; 3) Экспресс зарядка (подвид быстрой зарядки (43-50 кВт)), которая сможет зарядить аккумулятор до 80% примерно за 30 минут. Приоритетной является медленная зарядка (так как наиболее удобна в обслуживании от сети 220В), соответственно рациональное время для заряда – ночное, когда потребность в транспорте и загруженность энергетической системы минимальны, а при условии многоставочного тарифа ещё и наиболее выгодно, это позволит выравнивать графики нагрузки энергосистемы между производителями и потребителями.

Для создания оптимального баланса равномерного потребления электроэнергии рассматривается трансформаторной подстанции типового жилого дома в 160 квартир (4 секции, 4 квартиры на этаже, 10 этажей). Общий расчёт электрической нагрузки посчитан по СП 31-110-2003. Почасовые показатели U и I сняты измерительными приборами для построения реального графика нагрузки.

На рисунке 1 изображен график нагрузки трансформаторной подстанции жилого дома. По оси X часовое измерение, по оси Y мощность в кВт. Голубая кривая наглядно показывает существующую мощность фактического электропотребления, где видны провалы в ночные время, а максимумы достигаются в дневные часы. Красная кривая, найдена расчётным путём, изображена с учётом заряда электромобилей в ночные часы. Расчёт производился от общего количество машин 160 шт. из которых количество электромобилей составляет 40 шт. Это 1/4 от всего индивидуального транспорта из расчёта, что одна машина приходится на одну квартиру. Часовой диапазон определялся ночным тарифом (23-7). Суммарная разница между кривыми показывает уменьшение

провалов на 20%. Такое расчётное соотношение наиболее рационально для выравнивания, так как поднимает ночной показатель и не завышает утренний.



Рисунок 1 – График нагрузки ТП жилого дома

Данная модель просчитывается по традиционной формуле экономической целесообразности (1): минимум суммарных затрат на выравнивание и максимум эффекта от выравнивания.

$$\sum Z = Z_{\text{э}} + Z_{\text{и}} = \sum_{i=1}^T (I_i + E_{\text{в}} K_i), \quad (1)$$

где $Z_{\text{э}}$ - сумма затрат на производство, передачу и распределение электроэнергии; $Z_{\text{и}}$ - сумма затрат, связанных с использованием электроэнергии потребителями; K_i - капитальные затраты в комплексе «Энергосистема - потребитель»; I_i - издержки комплекса «Энергосистема - потребитель»; $E_{\text{в}}$ - коэффициент внутренней эффективности.

При условии перехода более 60-70 % есть вероятность экономически неоправданных затрат.

По проделанной работе можно сделать два основных вывода: 1. Использование аккумулирующих устройств и зарядных станций совместно с трансформаторными подстанциями жилого сектора позволят выравнивать график нагрузки на 15-20 %. 2. Равномерное энергопотребление в свою очередь приведёт к снижению потерь электрической энергии на 5-7% и надежности электроснабжения потребителя.

Список литературы

1. Трескова Ю. В. Электромобили и экология. Перспективы использования электромобилей [Текст] // Молодой ученый. — 2016. — №12. — С. 563-565.
2. План по защите климата 2050: принципы и цели Федерального правительства Германии в области защиты климата.
3. Электрокары как аккумуляторы [Электронный ресурс] URL: http://www.ng.ru/energy/2010-08-10/12_elektrokar.html

Бирюкова Анна Сергеевна - магистр, Национальный Исследовательский Университет "Московский Энергетический Институт"; Адрес: 141018, Новомытищинский пр-т, 39-4-141, г. Мытищи, Московская обл., Россия; E-mail: biannse@rambler.ru; Тел.: +7-925-185-31-57.

Титова Галина Ростиславна — канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Национального исследовательского института «МЭИ»; E-mail: TitovaGR@mpei.ru; Тел.: +7-903-254-14-57.

SMOOTHING THE LOAD CURVE OF ENERGY CONSUMPTION BY MEANS OF CHARGING DEVICES ELECTRIC VEHICLE

Biriukova A. S., Titova G.R.

Russia, Moscow National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

Measures to combat worsening climate situation. The rationale for the shift from cars with internal combustion engine to electric vehicles. The characteristic curve of the load given the load in the daytime. The use of storage devices(EVS) increase of power consumption at the time of a power outage.

Key words: graph loading, charging station, environment, consumption, storage devices, electric vehicles, economic feasibility, tariffs

Bibliography

1. Treskova YU. V. Elektromobili i ekologiya. Perspektivy ispol'zovaniya elektromobiley [Tekst] // Molodoy uchenyy. — 2016. — №12. — S. 563-565.

2. Plan po zashchite klimata 2050: printsipy i tseli Federal'nogo pravitel'stva Germanii v oblasti zashchity klimata.

3. Elektrokary kak akkumulyatory [Electronic resource] URL: http://www.ng.ru/energy/2010-08-10/12_elektrokar.html

Biriukova Anna Sergeevna – master, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; Address: Novomytischinsky Prospekt, 39-4-141, Mytischy, Moscow Region, Russia, 141018; E-mail: biannse@rambler.ru; Tel .: + 7-925-185-31-57.

Titova Galina Rostislavovna - PhD (Technical), assistant professor of industrial power, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; E-mail: TitovaGR@mpei.ru; Tel .: +7-903-254-14-57.

УДК621.365.5

К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ ПРИМЫКАЮЩИХ ИНДУКТОРОВ НА УСТАНОВКАХ ОЦИНКОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ELCUT

Качанов А.Н., Гладышев А.В.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрен вопрос оптимизации места установки примыкающих индукторов под днищем ванн оцинкования в программной среде ELCUT с целью получения равномерного температурного поля в расплаве цинка.

Ключевые слова: примыкающий индуктор, равномерное температурное поле, программный продукт Elcut.

Одной из основных задач, стоящих перед разработчиками энергоэффективных электротехнологических комплексов горячего оцинкования, является обеспечение равномерного нагрева расплава цинка по объему ванны. Однородность температурного поля необходима для получения качественного покрытия цинком поверхностей обрабатываемых деталей и продления срока службы ванн. Из опыта эксплуатации ванн оцинкования на промышленных предприятиях г. Орла и из литературных источников известно, что при снижении температуры расплава ниже 440 °С уменьшается вязкость цинка и увеличивается его расход, а при температуре выше 460 °С возрастает процент угара цинка и интенсивнее идет разрушение стальных стенок ванны [1]. Таким образом, поддержание расплава цинка в указанном диапазоне температур в процессе эксплуатации электротехнологического комплекса позволяет одновременно решить три задачи: обеспечить требуемое качество антикоррозийного и декоративного покрытия деталей, продлить срок службы ванны и оптимизировать удельный расход цинка на единицу площади поверхности изделия.

С целью получения равномерного температурного поля в днище ванны оцинкования (загрузке), нагреваемой примыкающими индукторами, были проведены

теоретические и экспериментальные исследования в программной среде Elcut. Как показали исследования, применение одного примыкающего индуктора не позволяет получить равномерное температурное поле в стальной плите днища ванны, поэтому требуется применение нескольких индукторов, размещенных определенным образом относительно друг от друга под днищем ванны для получения градиента перепада температуры расплаве цинка в пределах $\pm 10^{\circ}\text{C}$ [2,3]. На первом этапе исследований была рассмотрена система, состоящая из двух примыкающих индукторов 2 и плоского стального листа 1 (рис. 1).

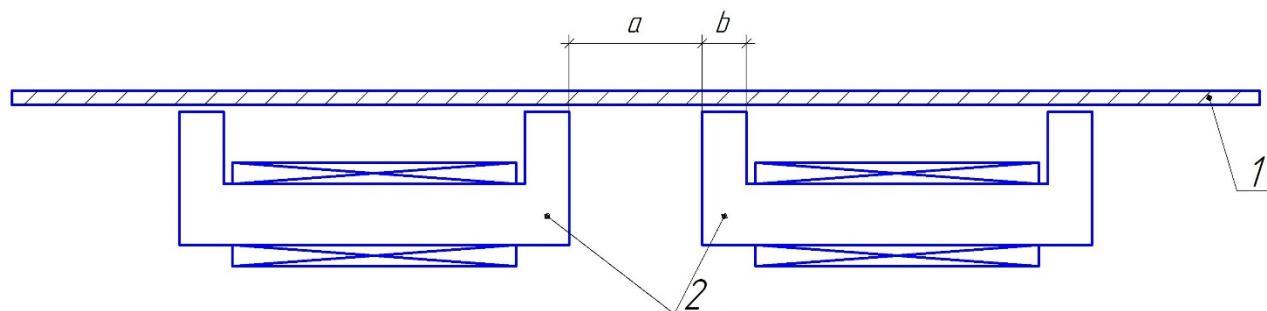


Рисунок 1 – Эскиз размещения индукторов под днищем ванны:
a–расстояние между полюсами индукторов, *b*– длина полюса индуктора

В результате выполненных расчетов была получена графическая зависимость перепада температуры ΔT по длине днища ванны оцинкования в зависимости от отношения размеров a/b , представленная на рисунке 2.

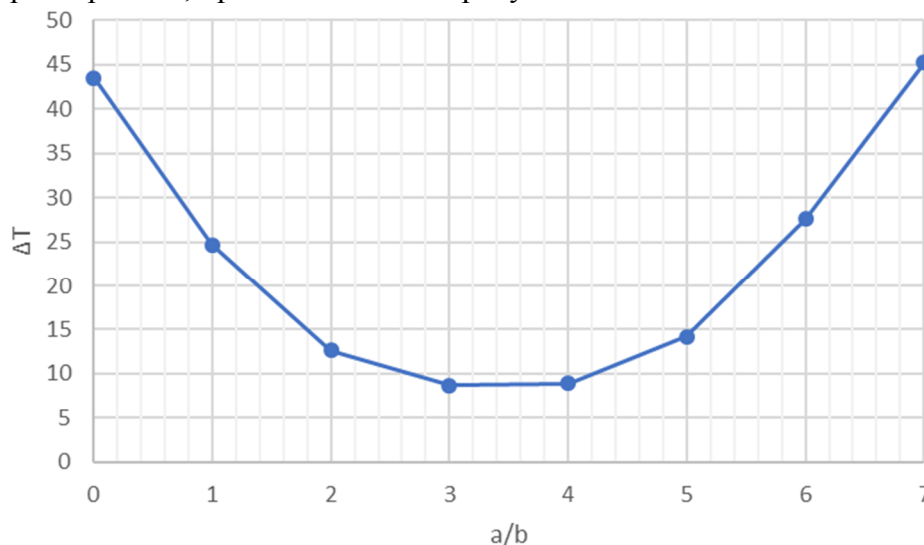


Рисунок 2 – График зависимости перепада температуры ΔT от соотношения a/b

Из кривой, представленной на графике (рис. 2), следует, что получение равномерного температурного поля расплава цинка в диапазоне температур $450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ возможно при выполнении следующего условия, используемого для размещения индукторов:

$$a = (2,8 \dots 4,2) \cdot b. \quad (1)$$

Рекомендация (1) была использована при разработке технических предложений, направленных на модернизацию способа нагрева ванн оцинкования, эксплуатируемых на предприятиях г. Орла, путем перевода с пламенного способа нагрева (ООО «ОСПАЗ») и нагрева сопротивлением (ООО «Завод им. Медведева - Машиностроение») на индукционный [4,5]. С учетом геометрических размеров ванн и примыкающих индукторов был принят монтажный установочный размер $a = 3b$. Результаты расчетов в Elcut представлены на рисунке 3.

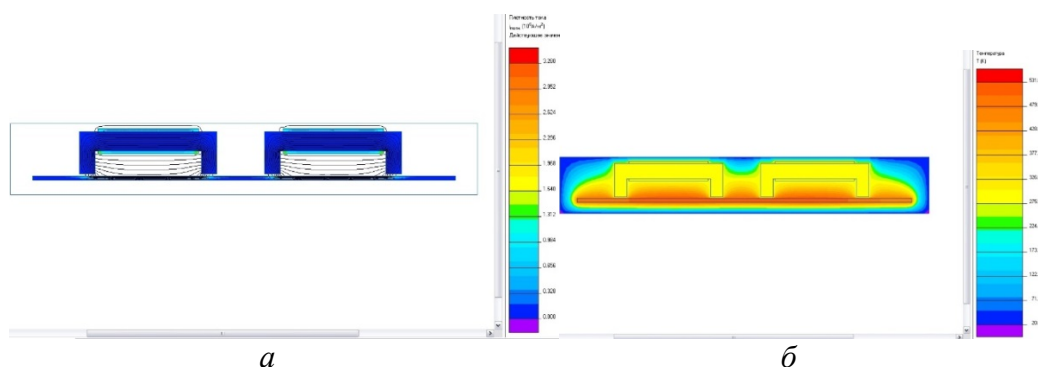


Рисунок 3 – Картины распределения: а – плотности тока, б – температуры (система повернута на 180 °С)

При выполнении расчетов было принято: напряжение питающей сети 220 В, частота тока 50 Гц, а толщина днища стальной ванны оцинкования равна 2Δ.

На рисунке 4 приведен график распределения температуры для участка днища ванны, обеспечивающего нагрев расплава цинка за счет теплопередачи.

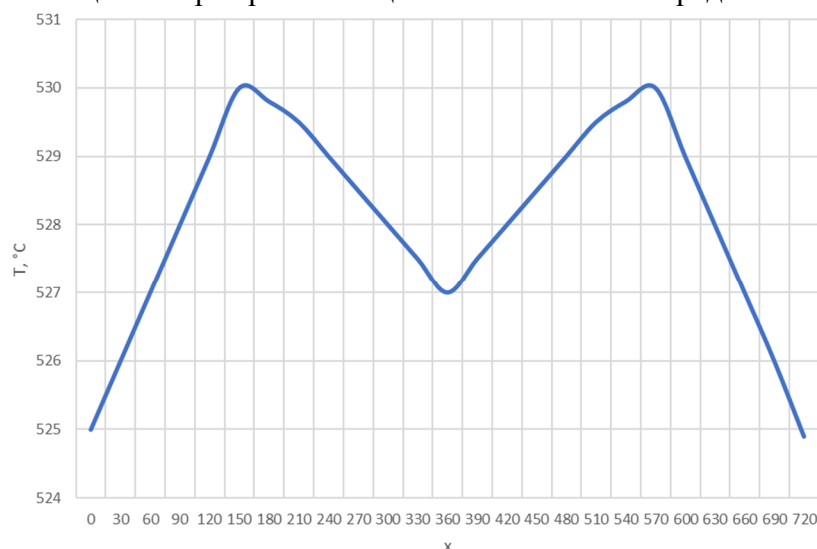


Рисунок 4 – График распределения температуры по длине участка ванны оцинкования

Анализируя график распределения температуры (рис. 4) и картину распределения температуры (рис. 3.б), можно сделать вывод о технической возможности обеспечения равномерного нагрева днищаванны, а следовательно, и расплава цинка по объему ванны, поскольку перепад температуры равен 5 °С при заданном значении $\Delta T \leq 10$ °С.

На втором этапе исследований, используя математическое моделирование, было рассчитано необходимое количество примыкающих индукторов для модернизируемых электротехнологических установок, эксплуатируемых на предприятиях г. Орла. При решении данной задачи авторами были учтены результаты теоретических и экспериментальных исследований характера распределения электромагнитного и теплового полей на участке стального листа, расположенном в межполюсном пространстве примыкающего индуктора [6]. На рисунке 5 приведен эскиз размещения 12 примыкающих индукторов под днищем ванны оцинкования ООО «ОСПАЗ» и картины распределения плотности тока (а) и температуры (б) по днищу ванны.

Таким образом, используя программную среду Elcut можно минимизировать сроки проектных работ при разработке энергоэффективных электротехнологических комплексов оцинкования путем оптимизации размещения примыкающих индукторов под днищем ванны. Достоинство программного продукта Elcut заключается и в том, что он

позволяет не только учитывать изменение электрофизических свойств среды в процессе нагрева, но и решать совместно электромагнитную и тепловую задачи.

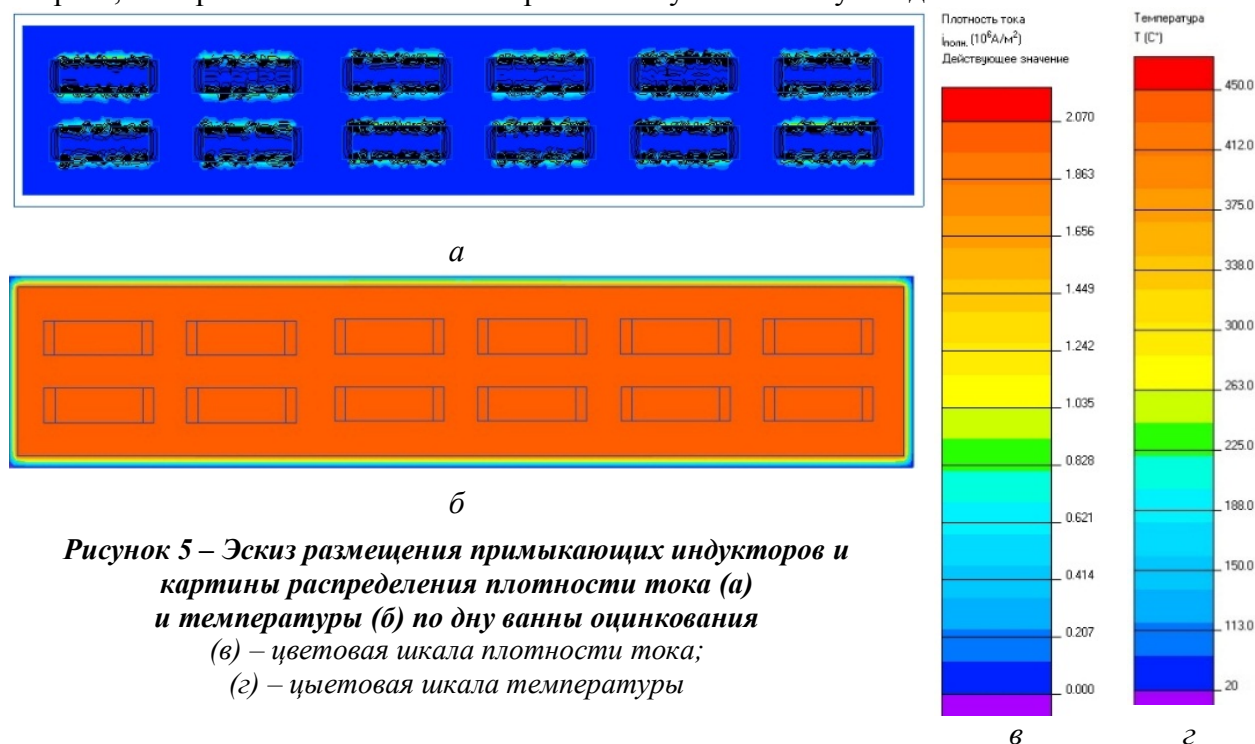


Рисунок 5 – Эскиз размещения примыкающих индукторов и картины распределения плотности тока (а) и температуры (б) по дну ванны оцинкования
 (в) – цветовая шкала плотности тока;
 (г) – цветовая шкала температуры

Список литературы

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с.: ил.
2. Качанов А.Н. Исследование распределения основных параметров тепловых полей в системе «примыкающий индуктор – плоская загрузка» с использованием программы «ELCUT» [Текст] / А.Н. Качанов, А.В. Гладышев, М.А. Шалимов // В сб.: Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орёл / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2015. – с. 81 – 84.
3. Качанов А.Н. Исследование распределения температурного поля в плоской загрузке [Текст] / А.Н. Качанов, А.В. Гладышев // В сб.: Энерго – и ресурсосбережение – XXI век.: Материалы XIV международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2016 г. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2016. – с. 151 – 154.
4. Качанов А.Н. Анализ эффективности использования пламенного и индуктивного способов нагрева в линии оцинкования стальной проволоки/ А.Н. Качанов, А.Н. Трошкин, А.Е. Максимов// В сб.: Вести высших учебных заведений Черноземья – Липецк: ЛГТУ, 2012 - № 4 – с. 18 – 21.
5. Качанов А.Н. Повышение энергоэффективности электротехнологического комплекса оцинкования стальной проволоки/ А.Н. Качанов, А.А. Овсянников, М.И. Симон// В сб.: Энерго - и ресурсосбережение - XXI век.: Сборник материалов VII-ой международной научно-практической интернет-конференции / Под ред. В.А. Голенкова, А.Н.Качанова,Ю.С. Степанова. - Орел: ООО «Издательский дом «Орлик и К», 2009 - с. 92-94.
6. Качанов А.Н. Расчет распределения основных параметров электромагнитного поля в металлической загрузке при одностороннем индукционном нагреве/ А.Н. Качанов, Н.А. Качанов, А.В. Голда // В сб.: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012 – № 6.– с. 35 — 40.

Качанов Александр Николаевич, д-р техн.наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; тел.: 8-(4862)-41-98-53.
Гладышев Алексей Викторович, студент группы 2-ЭО(з)-М, ОГУ имени И.С. Тургенева.

ON THE QUESTION OF THE LOCATION OF THE ADJACENT INDUCTORS ON THE PLANTS DIPPED GALVANIZED USING THE PROGRAM ELCUT

Kachanov A.N., Gladyshev A.V.

Russia, Orel, FBGOU VO "Orlovsky State University name by I.S. Turgenev"

The article examines the issue of optimization of the installation location adjacent inductors under the bottom of galvanizing baths in software environment ELCUT with the aim of obtaining a uniform temperature field in the melt of zinc.

Keywords: adjoining inductor, uniform temperature field, software product Elcut.

Bibliography

1. Kuvaldin A. B. Induction heating of ferromagnetic steel. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 200 p.: Il.
2. Kachanov A. N. The study of the distribution of the main parameters of thermal fields in the "adjacent inductor – flat download of the" using the program "ELCUT" [Text] / A. N. Kachanov, A. V. Gladyshev, M. A. Shalimov.: Energy and resource saving – XXI century.: proceedings of XIII international scientific-practical Internet-conference, March 15 – June 30, 2015, the eagle / Under the editorship of Dr. tekhn. sciences, Professor O. V. Pilipenko, Dr. of tech. sciences, Professor A. N. Kachanov, Dr. tekhn. sciences, Professor Yu. S. Stepanov. – Orel: state University-unpk, 2015. – p. 81 – 84.
3. Kachanov A. N. The study of the distribution of the temperature field in flat loading [Text] / A. N. Kachanov, A. V. Gladyshev.: Energy and resource saving – XXI century.: Proceedings of XIV international scientific-practical Internet-conference, March 15 – June 30, 2016 – eagle: OGU them. I. S. Turgenev, 2016. – p. 151 – 154.
4. Kachanov A. N. The analysis of the efficiency of flame, inductive heating methods in the line of galvanizing steel wire/ A. N. Kachanov, A. N. Troshkin, A. E. Maksimov.//: News of higher educational institutions of Chernozem region – Lipetsk: LGTU, 2012 - №4 – p. 18 – 21.
5. Kachanov A. N. Energy efficiency Electrotechnology complex dip galvanized steel wire/ A. N. Kachanov, A. A. Ovsyannikov, M. I. Simon// In proc.: Energy and resource saving - XXI century.: The collection of materials of VII-th international scientific-practical Internet-conference / edited by V. A. Golenkov, A. N. Kachanov, Yu. S. Stepanov. - Eagle: OOO "Publishing house "Orlik and K", 2009 - p. 92-94.
6. Kachanov A. N. The calculation of the distribution of the main parameters of the electromagnetic field in the metal loading in unilateral induction heating/ A. N. Kachanov, N.A. Kachanov, A. V. Golda / / Fundamental and applied problems of technics and technology. 2012 – No. 6. – c. 35–40.

Kachanov Alexander Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor, head of department "Electrical and energy saving" FBGOU VO "OSU name by I. S. Turgenev"; Tel.: 8-(4862)-41-98-53.

Gladyshev Alexey Viktorovich– student gr. 2-EO(z)-M, FBGOU VO "OSU name by I.S. Turgenev"

УДК 621.365.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ВРАЩЕНИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Лепешкин С.А.

Россия, г. Москва, НИУ Московский энергетический институт

Приведены расчетные исследования параметров электромагнитного процесса индукционной закалки при вращении зубчатого колеса в электромагнитном поле, созданном постоянными сильными магнитами.

Ключевые слова: электромагнитное поле, плотность тока, частота вращения, зубчатое колесо, закалка.

Существующие методы индукционной закалки [1] отличаются повышенными затратами электроэнергии на нагрев зубчатого колеса и значительными тепловыми и электрическими потерями в магнитопроводе. При этом применяются высокочастотные системы электропитания, имеющие высокую стоимость. Неравномерность окружного зазора между индукционными нагревателями и зубчатым колесом понижает равномерность закалки зубьев колеса.

В данной работе осуществляется разработанный метод нагрева и закалки [2, 3], который заключается в получении и выделении дополнительной тепловой энергии с разными частотами тока в зубчатом колесе за счет вращения в электромагнитном поле, созданном стационарными постоянными сильными магнитами, расположенными по окружности зубчатого колеса с постоянным зазором, и постоянными магнитами, расположенными с двух сторон зубчатого колеса напротив впадин (рис. 1).

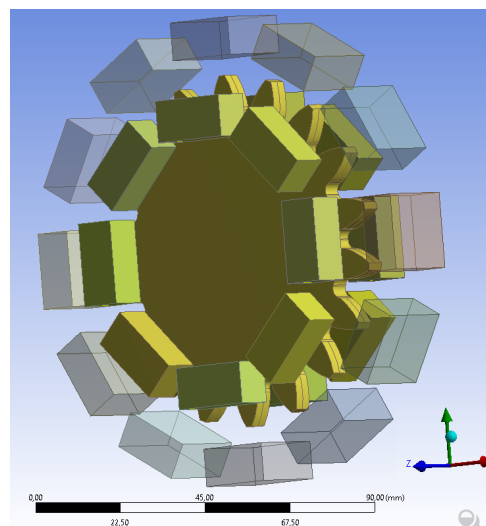


Рисунок 1 – Зубчатое колесо и расположение магнитов

При быстром увеличении частоты вращения электропривода (к которому присоединено зубчатое колесо) в зонах вращающегося зубчатого колеса, где установлены постоянные магниты генерируется тепловая энергия за счет вихревых токов, причем она возрастает при повышении частоты вращения и при достижении заданной частоты вращения становится существенной. В указанных зонах колесо начинает нагреваться, причем частота тока в вершинах зубьев зависит от суммарного количества магнитов и зубьев колеса, а в зоне впадин - от количества магнитов, установленных на боковой поверхности колеса.

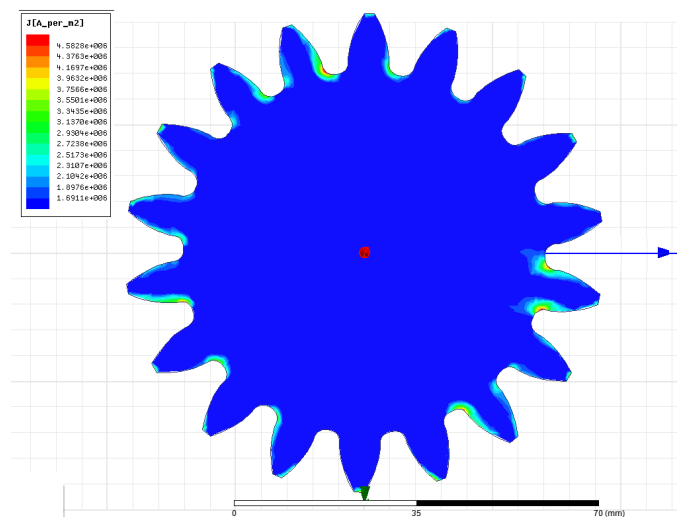


Рисунок 2 – Распределение плотности тока в зубьях колеса в текущий момент времени

Для исследования распределения токов повышенных частот по глубине их проникновения в зонах зубьев и впадин были проведены трехмерные электромагнитные расчеты при вращении зубчатого колеса в поле постоянных магнитов (рис. 1) в процессе закалки. Методика указанных расчетов была разработана с использованием метода конечных элементов в программе Maxwell 3D. Были использованы магниты с уникальным сочетанием сильных

магнитных свойств, коррозионной устойчивости и стабильности при температурах до 250-300 °С и остаточной магнитной индукцией 1 тесла.

В результате расчетов были получены распределения тока по глубине зубьев и впадин на разных частотах вращения зубчатого колеса в поле указанных постоянных магнитов. На рис. 2 показано распределение плотности тока по профилю зубьев в текущий момент времени (кадр фильма) на частоте вращения 6000 об/мин. Максимальная величина плотности тока составляет $4.5 \cdot 10^6$ А/м². В данный момент времени распределение плотности тока видно в зонах только на некоторых зубьях. Однако при

реализации полного оборота колеса распределение плотности тока будет на всех зубьях. Это будет повторяться на каждом обороте и в результате будет осуществлен равномерный нагрев зубьев. Для повышения плотности тока (удельной мощности нагрева) при закалке можно увеличить частоту вращения, использовать более сильные магниты или дополнительно использовать электромагниты постоянного или переменного тока [5].

С использованием предлагаемого метода закалки зубчатых колес с нагревом за счет выделения дополнительной тепловой энергии достигается снижение расхода электроэнергии по сравнению с другими способами закалки. Кроме того, повышается равномерность закалки зубьев колес (например, конических зубчатых колес, шестерен и фрез и др.) и снижаются деформации зубчатого колеса, достигаемые за счет вращения, при котором будет достигаться одинаковое распределение тепла и температуры в каждом зубе колеса.

Эффективность нагрева возрастает за счет повышения составляющей мощности нагрева при увеличении частоты вращения зубчатого колеса в электромагнитных полях, создаваемых постоянными магнитами и дополнительно электромагнитами постоянного или переменного тока, генерирующих токи высокой и низкой частоты. Кроме того, повышение эффективности нагрева обеспечивается и за счет расширения диапазона частот вращения и свойств постоянных магнитов. При этом повышается энергосбережение в указанном процессе нагрева.

Список литературы

1. Кувалдин А.Б. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях [Текст] / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин. Монография. – Новосибирск: Изд.-во НГТУ, 2006. –286 с.
2. Пат. 2416869 Российская Федерация, МПК H02N 11/00. Способ получения энергии и устройство для его реализации / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин, С.А. Лепешкин; Заявитель и патентообладатель НИУ “МЭИ”. - № 2010117026/07; заявл. 30.04.2010; опубл. 20.04.2011, бюл. № 11.
3. Пат. 2534047 Российская Федерация, МПК H05B 6/10. Способ нагрева и закалки зубчатых колес и устройство для его осуществления / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин, С.А. Лепешкин; Заявитель и патентообладатель НИУ “МЭИ”. - № 2013125683/07; заявл. 04.06.2013; опубл. 27.11.2014, бюл. № 33.

Лепешкин Степан Александрович, канд.техн.наук кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ». 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. E-mail: Stepan111@gmail.com

METHOD OF HEATING AND HARDENING GEARS DURING ROTATION IN A MAGNETIC FIELD

Kuvaldin A.B., Lepeshkin A.R., Lepeshkin S.A.
Russia, Moscow, NRU Moscow Power Engineering Institute

The calculated investigations of the electromagnetic process parameters of the induction hardening during the rotation of the gear in the electromagnetic field created by the permanent strong magnets are presented.

Keywords: electromagnetic field, current density, speed, gear, hardening.

Bibliography

1. Kuvaldin A.B. Skorostnye rezhimy indukcionnogo nagreva i termonapryazheniya v izdeliyah [Tekst] / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin. Monografiya. Novosibirsk: Izd.-vo NGTU, 2006. 286 s.
2. Pat. 2416869 Rossijskaya Federaciya, MPK H02N 11/00. Sposob polucheniya ehnergii i ustrojstvo dlya ego realizacii / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin, S.A. Lepeshkin; Zayavitel' i patentoobladatel' NIU “MEI”. - № 2010117026/07; zayavl. 30.04.2010; opubl. 20.04.2011, byul. № 11.

3. Pat. 2534047 Rossijskaya Federaciya, MPK H05B 6/10. Sposob nagreva i zakalki zubchatyh koles i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin, S.A. Lepeshkin; Zayavitel' i patentoobladatel'; NIU "MEI". - № 2013125683/07; zayavl. 04.06.2013; opubl. 27.11.2014, byul. № 33.

Lepeshkin Stepan Aleksandrovich, Ph.D. AETUS Department of NRU "MEI". 111250, Moscow, ul. Krasnokazarmennaya, 14. E-mail: Stepan111@gmail.com.

УДК 621.365.5

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ПРИ ВЧ НАГРЕВЕ

Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А.

Россия, г. Москва, НИУ Московский энергетический институт

Лепешкин А.Р., Голиков В.А.

Россия, г. Москва, Московский авиационный институт (НИИ)

В данной работе приведены тепловизионные исследования теплового состояния лопаток турбин с керамическими теплозащитными покрытиями и других охлаждаемых деталей ГТД с использованием высокочастотного индукционного нагрева для повышения энергосбережения при испытаниях.

Ключевые слова: тепловизионные исследования, высокочастотный индукционный нагрев, лопатки турбин.

Для обеспечения работоспособности высокоэффективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ) новых поколений необходимо улучшать теплозащиту их деталей. Среди множества технологий нанесения теплозащитных керамических покрытий (ТЗП) лучшую теплозащиту при высоком сопротивлении термической усталости обеспечивает электронно-лучевой метод. Испытания лопаток с покрытиями и других деталей в газодинамическом потоке дороги и длительны. Для повышения энергосбережения при испытаниях лопаток турбин с ТЗП существенно дешевле и оперативнее использовать высокочастотный (ВЧ) индукционный нагрев [1-3] с использованием тепловизионных измерений. Физика ВЧ нагрева ТЗП представляет собой не только индукционный нагрев токопроводящих материалов, в том числе полупроводников, но и диэлектрический нагрев диэлектриков, к которым относятся и керамические материалы.

В математическом моделировании теплового состояния керамических покрытий учитывалась специфика электрофизических свойств диоксида циркония. В частности, с ростом температуры диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь и электропроводность увеличиваются. Таким образом, при температурах 600-1000 °С и выше диоксид циркония имеет полупроводниковые свойства. В целом керамическое покрытие в испытательном термоцикле нагревалось как за счет теплопередачи от металла детали, так и за счет индукционного и диэлектрического нагрева.

По результатам конечно-элементных расчетов в этих условиях при скорости нагрева 100 К/с была получена на наружной поверхности модели детали с ТЗП, контактирующей с окружающей средой, температура примерно на 60÷80 °С выше, чем на границе перехода металл – ТЗП, т.е. имитируется температурное состояние изделия в эксплуатации. При этом на поверхности металла наблюдались сжимающие термонапряжения 100 МПа и растягивающие термонапряжения 30÷40 МПа со стороны керамического ТЗП.

Для экспериментальной проверки расчетного теплового состояния проводилось бесконтактное измерение температуры поверхности модели с теплозащитным покрытием

на основе ZrO_2 с помощью тепловизора Agema 782 SW, работающего в спектральном диапазоне $3\div5,6$ мкм. При исследованиях температурного состояния детали с покрытием в течение термоцикла оптическая доступность объекта обеспечивалась небольшим отверстием, просверленным в индукторе, через которое сканировался участок поверхности (рис. 1, а) для автоматизации теплофизических измерений. На рис. 1 приведено термоизображение части детали с ТЗП при высокочастотном нагреве в момент максимальной температуры.

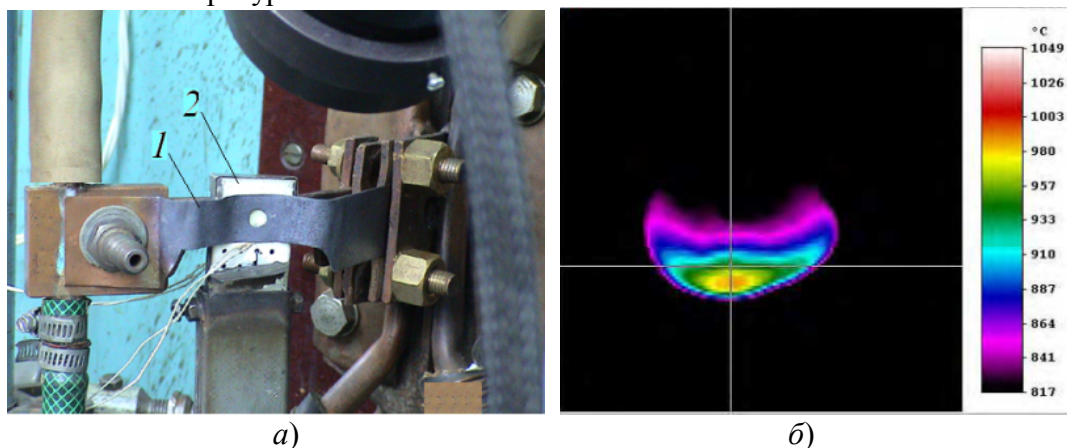


Рисунок 1 – Испытания (а) охлаждаемой детали с керамическим ТЗП:
1 - индуктор, 2 - деталь; термограмма (б)

При обеспечении эксплуатационной температуры поверхности металла и воспроизведении эксплуатационного перепада температуры по толщине стенки охлаждаемой детали в указанных стендовых условиях воспроизводятся термонапряжения в соединении металла с керамикой, близкие к эксплуатационным.

В момент реализации пиковой температуры (рис. 1,а) показание контрольной термопары на детали (расположенной в поле зрения тепловизора по нижней кромке термоизображения) примерно на $60\div70$ °C ниже, чем температура наружного слоя покрытия (вблизи термопары).

Выполненные исследования и измерения температуры детали с ТЗП с помощью тепловизора при термоциклировании подтвердили расчетную величину перепада температуры по толщине покрытия с учетом специфики указанного физического процесса ВЧ нагрева.

Результаты проведенных исследований имеют большое практическое значение для моделирования теплового состояния лопаток турбин и других деталей и материалов с керамическими покрытиями при испытаниях для различных отраслей машиностроения.

Список литературы

1. Кувалдин А.Б. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях [Текст] / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин. Монография. – Новосибирск: Изд.-во НГТУ, 2006. 286 с.
2. Пат. 2248682 Российская Федерация, МПК H05B6/64. Способ нагрева диэлектрического или полупроводникового материала / А.Р. Лепешкин, А.Б. Кувалдин, С.А. Лепешкин, Н.Г. Бычков, А.В. Першин; Заявитель и патентообладатель ЦИАМ. - № 2003128579/09; заявл. 25.09.2003; опубл. 20.03.2005, бюл. № 8.
3. Lepeshkin A.R., Feng Shi. Ceramic Coatings - Applications in Engineering. Intech. – 2012. – 286 p.

Кувалдин Александр Борисович, академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ». 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14; E-mail: KuvaldinAB@mpei.ru.
Лепешкин Александр Роальдович, академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор, МАИ(НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

Лепешкин Степан Александрович, канд.техн.наук кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ». 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. E-mail: Stepan111@gmail.com.
Голиков Владимир Александрович, студент МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: vladimir.golikov94@gmail.com.

THERMAL IMAGING INVESTIGATIONS OF THERMAL STATE OF TURBINE BLADES AT HF HEATING

Kuvaldin A.B., Lepeshkin S.A.
Russia, Moscow, NRU Moscow Power Engineering Institute
Lepeshkin A.R., Golikov B.A.
Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute ((NRU))

In this paper, thermal imaging investigations of the thermal state of turbine blades with ceramic thermal protective coatings and other cooled GTE parts are performed using high-frequency induction heating to improve energy savings during tests.

Key words: thermal imaging investigations, high-frequency induction heating, turbine blades.

Bibliography

1. Kuvaldin A.B. Skorostnye rezhimy indukcionnogo nagreva i termonapryazheniya v izdeliyah [Tekst] / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin. Monografiya. Novosibirsk: Izd.-vo NGTU, 2006. 286 s.
2. Pat. 2248682 Rossijskaya Federaciya, MPK H05B6/64. Sposob polucheniya ehnergii i ustrojstvo dlya ego realizacii / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin, S.A. Lepeshkin, N.G. Bychkov, A.V. Pershin; Zayavitel' i patentoobladatel'; CIAM. - № 2003128579/09; zayavl. 25.09.2003; opubl. 20.03.2005, byul. № 8.
3. Lepeshkin A.R., Feng Shi. Ceramic Coatings - Applications in Engineering. Intech. – 2012. – 286 p.

Kuvaldin Alexander Borisovich, AEN Academician of the Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of AETUS Department of NRU "MEI". 111250, Moscow, ul. Krasnokazarmennaya, d. 14. E-mail: KuvaldinAB@mpei.ru.

Lepeshkin Alexander Roaldovich, AEN Academician of the Russian Federation, PhD, Professor of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

Lepeshkin Stepan Aleksandrovich, Ph.D. AETUS Department of NRU "MEI". 111250, Moscow, ul. Krasnokazarmennaya, 14. E-mail: Stepan111@gmail.com.

Golikov Vladimir Alexandrovich, student of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: vladimir.golikov94@gmail.com.

УДК 621.365.61

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСПЛАВОВ

Кондрашов В.П., Лыков А.Г.
Российская Федерация, г. Москва, ООО «Элтертехникс»
Погребисский М.Я., Булгаков, А.С.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Рассматриваются пути улучшения показателей эффективности рудно-термических печей (РТП), используемых для выплавки ферросплавов. Предложена усовершенствованная система управления РТП, позволяющая повысить технико-экономические показатели плавки и обеспечивающая адаптацию технологического процесса к изменению качества шихтовых материалов.

Ключевые слова: рудно-термические электропечи, выплавка ферросплавов, эффективность, технико-экономические показатели, автоматическое управление, электрический режим, электрические характеристики, регрессионные модели.

В докладе рассматриваются вопросы улучшения технико-экономических показателей рудно-термических электрических печей, используемых для получения ферросплавов. В основу доклада положены результаты теоретических исследований и практических работ, выполненных с целью улучшения технико-экономических показателей на одной из печей для получения ферросиликомарганца (мощностью 9 МВА) компании «Кузнецкие ферросплавы» (г. Новокузнецк).

Необходимость исследований в данной области связана с тем, что сложившиеся на практике режимы эксплуатации ферросплавных печей часто не являются оптимальными с точки зрения технико-экономических показателей, особенно при изменяющемся качестве шихтовых материалов (руды).

Имеются следующие резервы улучшения технико-экономических показателей рудно-термических печей:

- уменьшение электрических потерь в токоподводах и повышение электрического КПД;
- уменьшение тепловых потерь через футеровку и с отходящими газами и повышение теплового КПД;
- приведение в соответствие электрических режимов печей изменяющимся технологическим условиям и повышение выхода ведущего элемента.

Для определения возможностей улучшения технико-экономических показателей на действующей печи проведены экспериментальные исследования с измерениями величин, характеризующих электрические и тепловые процессы в печи.

Тепловые измерения на кожухе печи с использованием тепловизора выполнялись с целью оценки мощности потерь через боковую футеровку, а также распределения этих потерь по площади кожуха. Кроме того, измерены температура и скорости воздушного потока в каналах принудительного воздушного охлаждения подины. По данным тепловых измерений рассчитаны тепловые потери через футеровку печи.

По результатам электрических измерений построены электрические характеристики печи, представляющие собой зависимости полной и активной мощности, потребляемой печью, а также полезной мощности (мощности, выделяющейся в ванне), от тока для каждой ступени напряжения печного трансформатора.

Анализ электрических характеристик показывает, что максимумы активной P_a и полезной $P_{пол}$ мощностей не совпадают (максимум полезной мощности наступает при меньшем значении тока), а так как ход процессов в ванне печи определяется полезной мощностью, то именно ее максимум надо поддерживать при регулировании электрического режима.

Из электрических характеристик рассматриваемой печи на рабочих ступенях напряжения следует, что возможность достижения максимума полезной мощностей ограничивается допустимым током трансформатора, поэтому реальные значения максимума полезной мощности составляют, в зависимости от ступени напряжения, 74-82% от расчетного максимума полезной мощности.

Можно сделать вывод, что имеющийся печной трансформатор не соответствует параметрам данной печи и ее токоподвода, не обеспечивает подвод необходимой мощности с нужным соотношением напряжения и тока и требует замены на более мощный трансформатор с расчетными параметрами.

Высокие технико-экономические показатели работы печи могут быть обеспечены только правильно подобранным энерготехнологическим режимом ее эксплуатации. Выбор рационального электротехнологического режима работы руднотермической электропечи, в отличие от электрического режима без связи с технологией, представляет собой многофакторную задачу, в которой выходные показатели (производительность печи, удельный расход электроэнергии, извлечение ведущего элемента и др.) зависят от

большого количества влияющих факторов, к которым относятся характеристика загружаемой в печь шихты (химический состав шихты, размер фракции, влажность по каждому из компонентов шихты), электрический режим, включая заглубление электродов в ванну печи. При этом даже опытный плавильщик не в состоянии постоянно вручную поддерживать оптимальный электротехнологический режим, особенно при частых изменениях условий по ходу плавки.

Поддержание оптимального электротехнологического режима возможно только с использованием математической модели, устанавливающей связь между входными и выходными параметрами электротехнологического процесса в РТП.

Построить такую модель аналитическими методами практически невозможно из-за многофакторности задачи математического описания процесса и вероятностного характера многих факторов. Поэтому связь между входными и выходными параметрами может быть установлена наиболее достоверно путем сбора информации непосредственно на работающей печи и последующей ее математической обработки (регрессионный анализ) с использованием специальных программных средств.

Формирование массива исходных данных для построения регрессионной модели состоит из нескольких этапов:

- Получение первоначального массива параметров электрического режима печи с 5-минутным интервалом регистрации данных за период от начала до конца каждой плавки, объединение массива с данными по анализу и расходу сырья, суточными и оперативными картами электропечи. При этом источниками информации являются данные системы управления, данные регистрации электрических параметров в реальном времени специально установленным анализатором энергопотребления, а также документация, которая постоянно ведется на печи цеховым персоналом (ручной ввод).

- Исключение из массива (отбраковка) данных, являющихся промахами.
- Усреднение электрических параметров по необходимым временным интервалам с целью проследить и установить закономерности их изменения по ходу плавки.
- Усреднение энерготехнологических параметров по временным интервалам длительностью в одну плавку с целью определения рациональных режимов ведения процесса.

Обработка экспериментальных данных основана на инженерных алгоритмах.

В результате обработки и анализа массива полученных данных определяются плавки с наиболее рациональными электрическими и технико-экономическими показателями. Отобранные плавки группируются в диапазоне изменения величины $\text{ctg}\varphi$ от 4 до 5,5 (здесь φ – фазовый угол между напряжением и током). Значение $\text{ctg}\varphi$ удобно для восприятия изменения энерготехнологических параметров ванны, поскольку оно прямо связано с глубиной посадки электродов, с характеристикой состава загружаемой шихты, с технико-экономическими показателями работы печи и др.

В первом приближении каждую плавку можно разбить на три временных интервала. Первые 30 минут после выпуска расплава идет плавный набор мощности до максимального значения, при этом растет активное и падает реактивное сопротивление ванны. Второй период плавки длительностью 45-60 минут характерен стабилизацией режима. Следующие 30 минут плавка проходит в режиме плавного снижения токовой нагрузки и мощности перед выпуском расплава. Электрические характеристики по 30-минуткам (в динамике по ходу плавки) позволяют получить оптимальный расчетный режим ее ведения и сопоставить его с фактическим режимом данной плавки.

Выбор оптимального режима в случае «плавающего» характера качества шихты и технологии плавки требует непрерывной обработки поступающей с печи информации в реальном времени с обновлением массива данных.

Полученный на действующей установке массив данных представляется в виде матрицы, в строках которой содержатся значения входных параметров-факторов (обычно

8–12 наиболее технологически значимых) и выходных показателей (обычно 3–4). Этот массив с временным интервалом в одну плавку обрабатывается с помощью специально разработанной программы регрессионного анализа. Результатом обработки является получение уравнения регрессии, связывающего значения каждого из выходных показателей y_j с факторами x_1, x_2, \dots, x_n . Уравнение регрессии строится в виде квадратичного полинома:

$$y_j = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + \\ + b_{1,2}x_1x_2 + \dots + b_{n-1,n}x_{n-1}x_n + b_{1,1}x_1^2 + \dots + b_{n,n}x_n^2 \quad (1)$$

Примерами факторов x_i могут служить содержание руды, восстановителя (угля), доломита и шлака в шихте, активная мощность, рабочее напряжение, ток электрода, примерами выходных показателей y_j – производительность печи, т/ч, и удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т. При выборе рационального электротехнологического режима удобно использовать интегральный показатель эффективности процесса, учитывающий (с различными весовыми коэффициентами, получаемыми путем экспертной оценки) различные выходные технико-экономические показатели.

Обработка подготовленного массива экспериментальных данных, полученных на исследуемой печи, с использованием программы регрессионного анализа осуществляется в следующем порядке:

1. Определяются коэффициенты уравнения регрессии (1) для интегрального технико-экономического показателя.
2. Исключаются малозначимые входные параметры.
3. Отыскивается экстремум поверхности отклика, описываемой (1), то есть сочетание значений факторов, при котором достигается наилучшее значение технико-экономического показателя. Соответствующее значение тока (при известном составе шихты) используется в качестве задания регулятора тока печи, значение активной мощности – для выбора ступени напряжения (по электрическим характеристикам). Также на основании экстремума поверхности отклика можно осуществлять коррекцию состава шихты для достижения лучших технико-экономических показателей.

Программа обработки данных интегрируется в усовершенствованную систему управления печью, массив исходных данных формируется в автоматическом режиме. Рассчитанные значения тока, мощности, параметров шихты, соответствующие оптимальному электротехнологическому режиму, могут выдаваться программой в виде совета оператору. На последующих этапах внедрения и освоения усовершенствованной системы возможен переход к работе в супервизорном режиме с автоматическим изменением заданий тока и напряжения в соответствии с рассчитанным оптимальным режимом.

Список литературы

1. Данцис Я.Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. [Текст] / Данцис Я.Б. и др. // М: Металлургия, 1987. – 320 с.
2. Кондрашов В.П. Определение рациональных режимов эксплуатации рудно-термических электропечей. [Текст] / Колыванов С.Ю., Лыков А.Г., Погребисский М.Я., Сапрыкин А.И., Савалык Н.А. // Сталь, № 2, 2010, с. 32–38.
3. Kondrashov V. Development of ways of increase of ore-heating electric furnaces for production of ferroalloys efficiency. [Text] / V. Kondrashov, M.Ya. Pogrebisskiy, E. Salmanova // AMTEE'15 – Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering: Proceedings. – University of West Bohemia, Pilsen, 2015, p. I-5.

Кондрашов Владимир Петрович, канд.техн.наук, старший научный сотрудник, ООО «Элтертехникс», генеральный директор, 109052, Российская Федерация, г. Москва, Нижегородская ул., д. 70, корп. 2, eltertechniks@yandex.ru, +7(916)0767851.

Лыков Анатолий Георгиевич, канд.техн.наук, старший научный сотрудник, ООО «Элтертехникс», ведущий инженер, 109052, Российская Федерация, г. Москва, Нижегородская ул., д. 70, корп. 2, eltertechniks@yandex.ru, +7(916)0767851.

Погребисский Михаил Яковлевич, канд.техн.наук, доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», доцент, 111250, Российская Федерация, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14, PogrebisskiyMY@mpei.ru, +7(916)0146367.

Булгаков Андрей Сергеевич, Национальный исследовательский университет «МЭИ», студент магистратуры, 111250, Российская Федерация, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14, BulgakovAnS@mpei.ru, +7(985)9946046.

IMPROVEMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF ELECTRIC FURNACES FOR SMELTING OF FERROALLOYS

Kondrashov V.P. , Lykov A.G.

Russian Federation, Moscow, Eltertechniks, Ltd.

Pogrebisskiy M.Ya. , Bulgakov A.S.

National Research University “MPEI”

Ways of increase of ore-heating electric furnaces, used for production of ferroalloys, efficiency are considered. The advanced system of automatic control of the ore-heating furnace providing improvement of technical and economic indicators of technological process and adaptability to quality of burden stocks is offered.

Ore-heating electric furnace, efficiency, technical and economic indicators, automatic control, electric mode, electric characteristics, regression models.

Bibliography

1. Dantsis Ya.B. Korotkie seti i elektricheskie parametry dugovyh elektropechey. [Text] / Dantsis Ya.B. // Moskva: Metallurgiya, 1987. – 320 s.

2. Kondrashov V.P. Rational operating conditions for ore-heating electrofurnaces. [Text] / V.P. Kondrashov, S.Yu. Kolyvanov, A.G. Lykov, M.Ya. Pogrebisskiy, A.I. Saprykin, N.A. Savalyk. // Steel in Translation, February 2010, Volume 40, Issue 2, pp 145-152.

3. Kondrashov V. Development of ways of increase of ore-heating electric furnaces for production of ferroalloys efficiency. [Text] / V. Kondrashov, M.Ya. Pogrebisskiy, E. Salmanova. // AMTEE’15 – Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering: Proceedings. – University of West Bohemia, Pilsen, 2015, p. I-5.

Kondrashov Vladimir Petrovich, Candidate of Technical Sciences, senior research associate, Eltertechniks, Ltd., CEO, 109052, Russian Federation, Moscow, Niznegorodskaya St., 70-2, eltertechniks@yandex.ru, +79160767851.

Lykov Anatoliy Georgievich, Candidate of Technical Sciences, senior research associate, Eltertechniks, Ltd management engineer, 109052, Russian Federation, Moscow, Niznegorodskaya St., 70-2, eltertechniks@yandex.ru, +79160767851.

Pogrebisskiy Mikhail Yakovlevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, National Research University “MPEI”, 111250, Russian Federation, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14, PogrebisskiyMY@mpei.ru, +79160146367.

Bulgakov Andrey Sergeevich, National Research University “MPEI”, student of magistracy, 111250, 111250, Russian Federation, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14,, BulgakovAnS@mpei.ru, +7985946046.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗАМЕРОВ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ

Мигалёв И. Е., Титов Е.В.

Россия, г. Барнаул,

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

Статья рассматривает способ моделирования электромагнитного поля, для которого требуются только показатели ППЭ, и не требуется результатов измерения других параметров электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, моделирование, метод конечных разностей во временной области, плотность потока энергии.

На сегодняшний день в связи со всё большим развитием электротехнологий актуальной является проблема нормирования воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на человека. Ведущие научные организации публикуют обращения к руководству ООН, ВОЗ, программы ООН по окружающей среде и странам-членам ООН с призывом обратить внимание на опасности неионизирующих электромагнитных излучений [1]. В России действуют нормативные документы [2–11], которые декларируют нормативные значения основных параметров электромагнитной обстановки:

- напряжённость электрического поля E , В/м;
- напряжённость магнитного поля H , А/м;
- плотность потока энергии ППЭ, Вт/м², причём данная величина измеряется только на сверхвысоких частотах.

Значения этих параметров должны находиться в допустимых пределах в жилых и рабочих помещениях, чтобы электромагнитное поле не наносило вреда здоровью находящихся в помещениях людей.

Нормирование ППЭ особенно важно, поскольку именно сверхвысокие частоты являются наиболее опасными при воздействии их на живые организмы (что подтверждается более строгими нормами на высоких частотах). Существует измерительное оборудование (например, прибор ПЗ-41 [16]), которое позволяет осуществлять измерения данного параметра электромагнитного поля на высоких частотах. В то же время, современные методы моделирования электромагнитной обстановки [12–14] позволяют осуществлять численное моделирование на основании известных показателей E и H , и, как правило, не предусматривают прямого моделирование на основании данных о ППЭ.

По результатам исследования этого вопроса [15] предлагаются различные способы проведения гибридных замеров ППЭ и какой-либо дополнительной величины (E или H). Однако, проведение замеров сразу нескольких параметров электромагнитного поля, да ещё и в течение короткого промежутка времени в тех же точках пространства, представляется весьма трудоёмким (по крайней мере, с применением современного мобильного оборудования наподобие ПЗ-41).

В связи с этим к применению предлагается вариант моделирования, который не требует измерения каких-то дополнительных величин, кроме собственно ППЭ.

При проведении практических измерений распространение электромагнитного поля происходит в основном в воздушной среде, обладающей известными электромагнитными свойствами (т.н. волновым сопротивлением вакуума), которые устанавливают зависимость между проходящими электрическими и магнитными возмущениями. Поэтому, используя формулу волнового сопротивления, можно получить из ППЭ величины E и H , необходимые для моделирования:

$$E = \sqrt{\text{ППЭ} \cdot Z_0}, H = \sqrt{\text{ППЭ}/Z_0},$$

где Z_0 — волновое сопротивление вакуума, Ом.

Произведя таким образом переход от экспериментально полученных значений ППЭ к экспериментально полученным значениям E и H , можно проводить моделирование в соответствии с общепринятыми методиками.

Данная методика была опробована для моделирования электромагнитного поля установки для сушки семян. Результат моделирования представлен на рисунке 1.

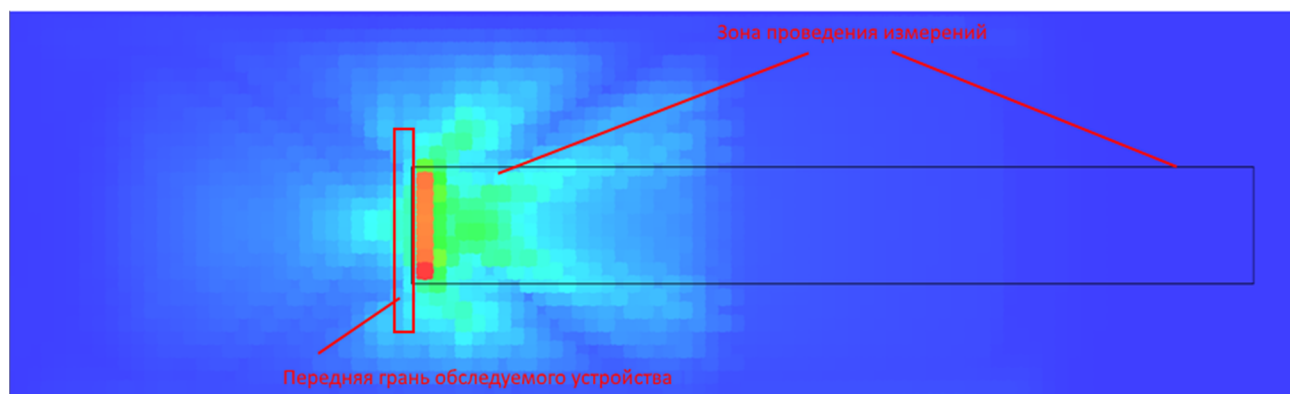
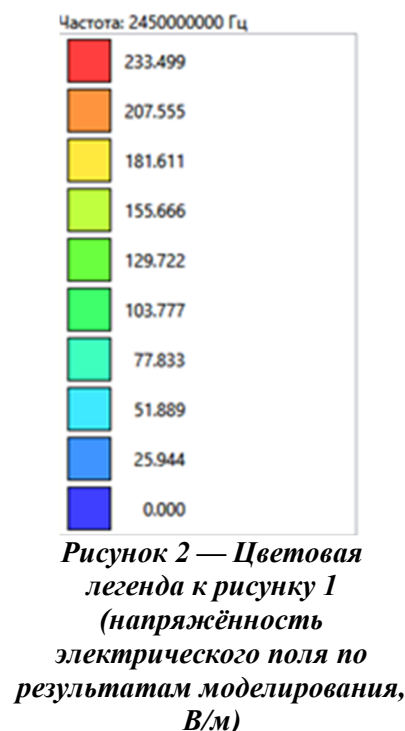


Рисунок 1 — Результат моделирования, габарит области моделирования: $5 \times 1,5 \times 2$ м

Описанная методика на данный момент проходит апробацию на различных исследованиях, проводимых авторами на базе АлтГТУ.



Список литературы

1. International Appeal: Scientists call for Protection from Non-ionizing Electromagnetic Field Exposure. URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal>
2. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.
3. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических устройств, 2003.
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.
5. МГСН 2.03-97. Допустимые параметры электромагнитных излучений в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях, 1997.
6. МУК 4.3.677-97. Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах, 1997.
7. МУК 4.3.679-97. Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и дециметрового диапазонов, 1997.
8. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ), 1996.
9. МГСН 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля, 1984.
10. МУК 4.3.1167-02. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 мГц—300 гГц, 2002.

11. Постановление 848-70. Санитарные правила и нормы при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот.
12. Боголюбов А.Н. Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов [Текст] / А.Н. Боголюбов, И.А. Буткарев, Ю.С. Дементьева // Журнал радиоэлектроники. 2006. № 5.
13. Мигалёв И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля. [Текст] / И.Е. Мигалёв // Ползуновский вестник, 2012. № 4.
14. Дейнега А.В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойств наноструктурированных материалов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : / Алексей Владимирович Дейнега – Москва: Российский научный центр “Курчатовский институт”, 2010.
15. Мигалёв И. Е. Разработка модели плотности потока энергии электромагнитного поля. [Текст] / И. Е. Мигалёв, Е. В. Титов, А. В. Сальников, А. Г. Караваев // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь» — Барнаул, 2016 г.
16. Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-41 с расширенным выводом информации. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.piton.nnov.ru/p3-41.php>.

Мигалёв Иван Евгеньевич – соискатель ученой степени канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; Служебный адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; Контактный телефон: (3852) 36-71-29, e-mail: i.Migalyov@gmail.com.
Титов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доцент кафедры «Электрификация производства и быта» Служебный адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, контактный телефон: (3852) 36-71-29 E-mail: 888tev888@mail.ru.

MODELING OF ELECTROMAGNETIC FIELD BASED ON THE RESULTS OF ENERGY FLUX DENSITY MEASUREMENTS

Migalyov I. E., Titov E. V.

*Russia, Barnaul,
Altai State Technical University named after I. I. Polzunov*

The article presents an electromagnetic field modeling method that requires only measurement of energy flux density, and does not require any other parameters' measurements results.

Keywords: electromagnetic environment, modeling, finite difference in time domain method, energy flux density.

Bibliography

1. International Appeal: Scientists call for Protection from Non-ionizing Electromagnetic Field Exposure. URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal>
2. SanPiN 2.2.4.1191-03. Electromagnetic fields in production environments, 2003.
3. SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03. Hygienic requirements to placing and operation of transferring radio engineering devices, 2003.
4. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03. Hygienic requirements to personal electronic computers and work organization, 2003.
5. MGSN 2.03-97. Valid parameters of electromagnetic radiation in residential and public buildings and residential territories, 1997.
6. MUK 4.3.677-97. Determination of the levels of electromagnetic fields at workplaces of the personnel of radioindustrial complexes, which work in LF, MF and HF bands, 1997.
7. MUK 4.3.679-97. Determination of the levels of the magnetic field at the locations of the transmitting means of broadcasting and telecommunications, kilo-, hecto - decameter ranges, 1997.
8. SanPiN 2.2.4/2.1.8.055-96. Electromagnetic radiation of radio frequency (RF EMP), 1996.
9. MGSN 12.1.006-84. Electromagnetic fields of radio frequencies. Admissible levels at workplaces and requirements for monitoring, 1984.
10. MUK 4.3.1167-02. Determination of the density of electromagnetic energy flux in the locations of radio equipment operating in the frequency range 300 MHz—300 GHz, 2002.

11. The resolution 848-70. Sanitary rules and regulations during work with electromagnetic sources of high field levels, and ultra-high and ultra-high frequencies.

12. Bogolyubov A. N. Numerical simulation of two-dimensional photonic crystals [Text] / A. N. Bogolyubov, I. A. Butkarev, Y. S. Dementieva // Journal of Radioelectronics. 2006. No. 5.

13. Migalyov I. E. the Practical application of the method of finite difference time domain modeling of the electromagnetic field. [Text] / I. E. Migalyov // Polzunovskiy vestnik, 2012. No. 4.

14. Deinega, A.V. Numerical simulation and computer design of the optical properties of nanostructured materials [Text] : Ph. D. thesis : Aleksei Vladimirovitch Deinega – Moscow: Russian scientific center “Kurchatov Institute”, 2010.

15. Migalyov I. E. developing a model of flux density of electromagnetic field energy. [Text] / I. E. Migalyov, E. V. Titov, A.V. Salnikov, A. G. Karavaev // Proceedings of the XIII all-Russian scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists "Science and young people" — Barnaul, 2016

16. Measuring the levels of electromagnetic radiation A3-41 with the expanded output. URL: <http://www.piton.nnov.ru/p3-41.php>

Migalyov Ivan Evgenyevich, phone: (3852) 36-71-29, e-mail: i.migalev@gmail.com.

Titov Evgeniy Vladimirovich, phone: (3852) 36-71-29, e-mail: 888tev888@mail.ru.

УДК 621.365.52.029.45

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Кувалдин А.Б., Федин М.А., Генералов И.М.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Кислов А.П.

Казахстан, г. Павлодар, ПГУ им. Торайгырова

Приведено описание электротехнологического комплекса с индукционной тигельной печью и преобразователем частоты с повышенным к.п.д., представлена система управления электрическим режимом печи и результаты её моделирования.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, тиристорный преобразователь частоты, трёхпозиционное регулирование.

Для нагрева и расплавления металла в индукционной тигельной печи (ИТП) следует поддерживать неизменной мощность, подводимую к шихте в течение всего технологического процесса, так как эта мера позволяет расплавить загрузку за минимальное время, экономя электрическую энергию. Для этого источнику питания ИТП следует изменять напряжение на индукторе, сохраняя значение мощности максимальной и неизменной, подводимой к нагрузке.

Тиристорный преобразователь частоты (ТПЧ), изображенный на рис. 1, обладает широкими возможностями по регулированию выходных параметров по причине возможности перестройки своей топологии, каждая из которых различается величиной реактивной мощности компенсирующей конденсаторной батареи нагрузочного контура. Такие возможности позволяют работать ТПЧ в оптимальных режимах при широком диапазоне изменения нагрузки. Здесь возможно регулирование углом запираания вентилей инвертора в каждой топологии, но данный метод регулирования имеет недостатки:

1. Повышение напряжений на тиристорах моста инвертора тока при увеличении угла запираания, что сказывается также на величине активных потерь на коммутацию тириستоров;

2. Ввиду ограничения сверху по напряжению пробоя для тиристоров, глубина регулирования мощностью по углу запираания может оказаться недостаточной для согласования нагрузки во всем диапазоне изменения её параметров [1].

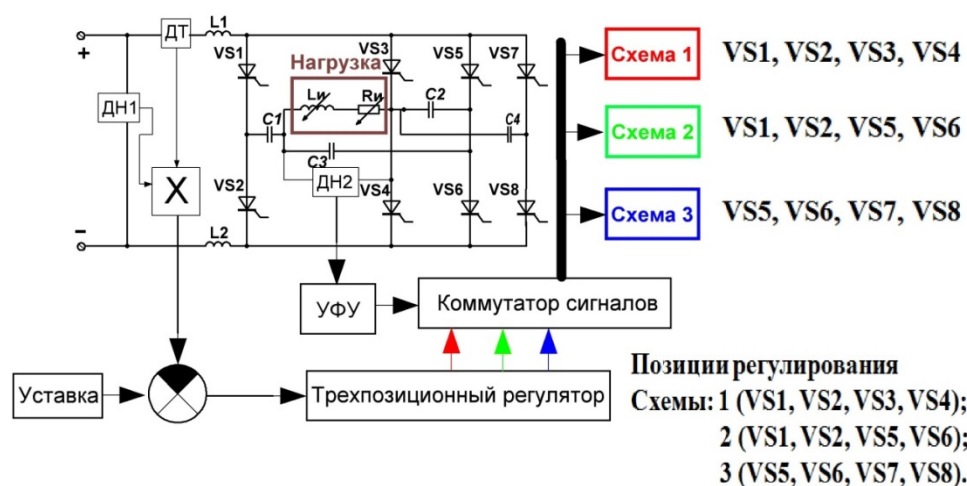


Рисунок 1 – Структурная схема управления ТПЧ

Рассматриваемый ТПЧ имеет 3 различных топологии (рис. 1). Из анализа следует, что схема 1 обладает минимальной реактивной мощностью конденсаторной батареи, а схема 3 – максимальной. Альтернативным способом регулирования параметров перестраиваемого ТПЧ является релейное регулирование, причём трёхпозиционное. Каждой позиции при регулировании соответствует одна определённая из 3-х схем включения. При работе по каждой из схем включения инвертор тока обеспечивает оптимальные энергетические режимы из-за минимального угла запираания вентилей, предоставляя возможность работать при относительно низком уровне потерь энергии при коммутациях в схеме.

Регулятор работает по принципу *SPL* (схема 1) – *SP* (схема 2) – *SPH* (схема 3). Величина ширины зоны нечувствительности (мертвой зоны) (схема 2) – является регулируемым параметром настройки трёхпозиционного регулятора. Увеличение ширины зоны нечувствительности уменьшает точность регулирования, но и может привести к тому, что в процессе работы регулирующий орган будет переключаться сразу между схемой 1 и схемой 3, т. е. не будет отличаться от двухпозиционного регулятора. К такому же результату приводит значительное увеличение скорости реакции регулирующего органа. Диапазон нечувствительности (мертвая зона) устанавливается с центром в заданной точке.

Регулирование параметрами рассматриваемого преобразователя частоты осуществляется по активной мощности, потребляемой преобразователем частоты. Таким образом, перестраиваемый ТПЧ при трёхпозиционном регулировании будет переключаться либо между схемой 1 и схемой 2, либо – между схемой 2 и схемой 3. Среднее значение активной мощности в нагрузке будет соответствовать мощности уставки трёхпозиционного регулятора [2].

Достоинством подобного метода регулирования является сохранение оптимальных режимов работы преобразователя частоты с высоким значением КПД. На рис. 1 представлена структурная схема управления электрическими режимами преобразователя частоты. Система управления отслеживает изменение активного сопротивления нагрузки, измеряя активную мощность, потребляемую инвертором тока с помощью датчика тока ДТ и датчика напряжения ДН1.

Используя датчик напряжения ДН2 система управления измеряет частоту и амплитуду выходного напряжения перестраиваемого ТПЧ для контроля режимов работы и отработки внешних сбоев, а также служит элементом обратной связи для поддержания заданного угла запираания тиристоров в перестраиваемом ТПЧ.

Управление в каждой схеме перестраиваемого ТПЧ выполняется по принципу самовозбуждения, обеспечивающего жёсткость внешней характеристики и малую зависимость выходного напряжения от параметров нагрузки. В таких схемах управления задающий генератор отсутствует и напряжение в цепь управления подается из цепи переменного тока инвертора через устройство фазового управления.

Поскольку передаточные характеристики всех трёх схем инверторов тока в перестраиваемом ТПЧ зависят от параметров сильно изменяющейся нагрузки, то непосредственный анализ устойчивости затруднителен в таких условиях. Для чего было применено имитационное моделирование системы управления в среде *MATLAB/Simulink*.

Из результатов эксперимента на модели следует, что статическая точность регулирования составляет $\pm 5\%$ при изменении параметров нагрузки ($R = 7,5 \div 30$ мОм и $L = 20 \div 40$ мкГн). Результаты получены при следующих параметрах трёхпозиционного регулятора: уставка мощности равна 500 кВт, ширина зоны нечувствительности составляет 10 кВт, пороги переключения релейных элементов составляют 5 кВт, гистерезис $h = 1$ кВт, статический коэффициент передачи цепи обратной связи $k = 1$, постоянная времени цепи обратной связи составляет $T = 0,2$ с.

Заключение

По результатам исследований модели системы управления перестраиваемым ТПЧ в *Simulink*, точность регулирования составляет не хуже $\pm 5\%$ в широком диапазоне изменения нагрузки при заданных выше параметрах системы управления.

Достоинства:

1. Высокое качество потребляемой энергии из электросети;
2. Облегченный входной фильтр подавления высокочастотных гармоник потребляемого тока;
3. Сниженная установленная мощность ключевых элементов;
4. Высокая динамика при резком изменении параметров загрузки;
5. Возможность скачкообразного изменения параметров компенсирующей конденсаторной батареи индуктора;
6. Повышение к.п.д. преобразователя частоты.

Отмеченные выше достоинства перестраиваемого ТПЧ, управляемого методом трёхпозиционного регулирования позволяет снизить потери в преобразовательной установке, сокращая расход электроэнергии при проведении всего процесса плавки стали в ИТП.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

Список литературы

1. Шапиро, С.В. Системы управления с тиристорными преобразователями частоты для электротехнологии [Текст] / С. В. Шапиро, Ю. М. Зинин, А. В. Иванов – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 166 с.
2. Кувалдин, А.Б. Повышение энергетической эффективности электротехнологического комплекса с индукционной тигельной печью при плавке ферромагнитной кусковой загрузки [Текст] / А. Б. Кувалдин, М. А. Федин, И. М. Генералов // «Промышленная энергетика», 2016. № 5. – С. 19 – 25.

Кувалдин Александр Борисович, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: a.kuvaldin2013@yandex.ru

Федин Максим Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: fedinma@mail.ru

Генералов Иван Михайлович, аспирант кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: generalov.ivan2012@yandex.ru

Кислов Александр Петрович, декан энергетического факультета, канд.техн.наук, профессор, доктор электротехники, Павлодарский Государственный университет им. Торайгырова, г. Павлодар. e-mail: kislovpsu@mail.ru

CONTROL SYSTEM OF THE ENERGY EFFICIENT FREQUENCY CONVERTER FOR INDUCTION CRUCIBLE FURNACES

Kuvaldin A.B., Fedin M.A., Generalov I.M.

Russia, Moscow, MPEI

A.P. Kislov

Kazakhstan, Pavlodar, Pavlodar State University named after Toraigyrov

The description of the electrotechnical complex with an induction crucible furnace and a frequency converter with increased efficiency is considered, the control system of the electric mode of the furnace and the results of its simulation are presented.

Keywords: induction crucible furnace, thyristor frequency converter, three-position control.

Bibliography

1. Shapiro, S. V. Sistemy upravlenija s tiristornymi preobrazovateljami chastoty dlja jelektrotehnologii [Tekst] / S. V.Shapiro, Ju. M. Zinin, A. V. Ivanov – M.: Jenergoatomizdat, 1989. – 166 s.

2. Kuvaldin, A. B., Fedin M. A., Generalov I. M. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti elektrotehnologicheskogo kompleksa s indukcionnoj tigel'noj pech'ju pri plavke ferromagnitnoj kuskovoj zagruzki [Tekst] / A. B. Kuvaldin, M. A.Fedin, I. M. Generalov // «Promyshlennaja energetika», 2016. № 5. – S. 19 – 25.

Kuvaldin Alexandr Borisovich, doctor of science, Professor of the Department of electrotechnology, MPEI; e-mail: a.kuvaldin2013@yandex.ru

Fedin Maxim Andreevich, Ph. D., Department of electrotechnology, MPEI; e-mail: fedinma@mail.ru

Generalov Ivan Michalovich, postgraduate, Department of electrotechnology, MPEI, e-mail: generalov.ivan2012@yandex.ru

Kislov Alexander Petrovich, Dean of the Energy Department, Ph.D., Professor, Doctor of Electrical Engineering. Pavlodar State University named after Toraigyrov. Pavlodar. E-mail: kislovpsu@mail.ru

УДК 621.365.52.029.45

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ПРОВОДЯЩИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ТИГЛЕМ С УЧЕТОМ ДВУХСЛОЙНОСТИ ЗАГРУЗКИ

Федин М. А., Кувалдин А. Б., Кулешов А. О., Ахметьянов С.В.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Разработана математическая модель для электрического расчета индукционных тигельных печей с проводящим тиглем в пакете ELCUT. Электрические и энергетические характеристики печи были получены в зависимости от частоты, температуры и тока индуктора.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, ферромагнитный тигель, метод расчета, электрические характеристики.

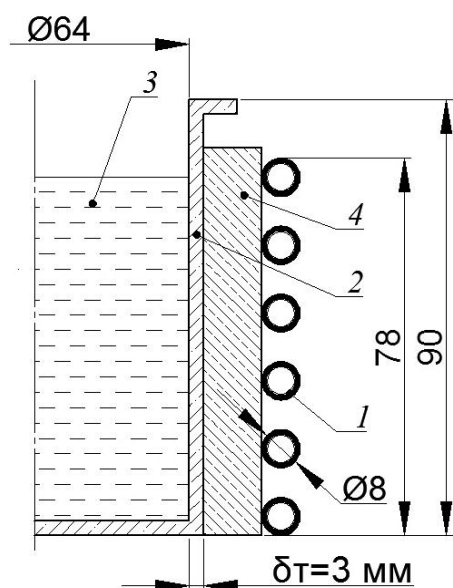


Рисунок 1 – Эскиз системы «индуктор-загрузка»:
 1 – индуктор; 2 – тигель;
 3 – жидкий металл;
 4 – теплоизоляция

Индукционные тигельные печи (ИТП) с проводящим тиглем (ПТ) применяют для выплавки сплавов магния и меди.

На рис. 1 показан эскиз системы «индуктор-загрузка» лабораторной печи для плавки магния мощностью 2,5 кВт с размерами. Загрузку ИТП с ПТ образуют стальной тигель и магний. Основная сложность расчета печи состоит в том, что электрические характеристики материала загрузки изменяются в зависимости от температуры t и напряженности магнитного поля H [1].

Так $\mu = \xi_1(H, t)$, $\rho = \xi_2(t)$, где μ – относительная магнитная проницаемость, ρ – удельное электросопротивление, ξ_1, ξ_2 – функциональные зависимости. При температуре загрузки выше температуры плавления и $\delta t / \Delta 2t \leq 1,3$, где $\Delta 2t$ – глубина проникновения электромагнитной волны в стенку тигля толщиной δt , загрузку можно считать двухслойным телом. До температуры плавления загрузка представляет собой однослойное тело, поскольку магний в тигле находится в виде кусковой шихты, обладающей высоким

электросопротивлением. В связи с этим аналитически решить задачу довольно сложно, поэтому необходимо использовать численные методы.

Для решения этой задачи разработана математическая модель с использованием метода конечных элементов в пакете *ELCUT*. На рис. 2 показана расчетная область, поделенная на конечные элементы. Число узлов сетки – около 146000. Модель позволяет, изменяя свойства блоков, проводить расчеты для случаев стального тигля без магния и тигля с металлом. На оси симметрии (граница 1 на рис. 2) задается граничное условие Неймана $dH/dr=0$ (отсутствие тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля), на внешних границах (границы 2,3,4) – нулевое граничное условие Дирихле (полагается равным нулю значение магнитного потенциала, т.е. поле локализовано в пределах расчетной области).

В качестве примера на рис. 3а показаны зависимости активного сопротивления системы «индуктор – загрузка» R от t и индуктивности системы «индуктор – загрузка» L от t при разных частотах f , полученные в пакете *ELCUT* при токе индуктора $I_1 = 50$ А и среднем значении H на внешней поверхности тигля $H=7,7$ кА/м.

В ходе теоретического исследования было установлено, что после достижения точки Кюри, когда тигель теряет свои магнитные свойства, и магний становится расплавленным, происходит значительное снижение мощности тепловыделения в тигле при одинаковом токе индуктора и частоте из-за резкого снижения активного сопротивления R . Это объясняется тем, что после точки Кюри глубина проникновения в проводящий

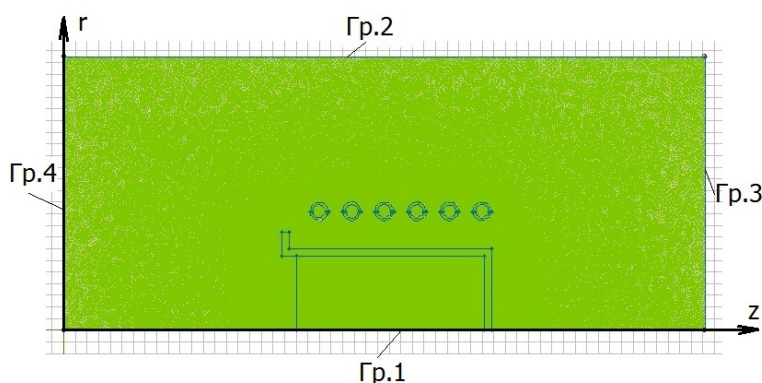


Рисунок 2 – Расчетная область в пакете ELCUT

тигель существенно увеличивается, и загрузка становится двухслойной. Например, глубина проникновения электромагнитной волны (ЭМВ) в стенку тигля толщиной 3 мм на частоте тока индуктора 22 кГц составляет около 3,2 мм и поэтому это приводит к тому, что появляется обратная ЭМВ, отраженная от границы раздела сред с различными значениями ρ и μ , и снижется активное сопротивление системы «индуктор – загрузка» R .

Заключение

По результатам исследований процесса плавки магния в стальном ферромагнитном тигле были получены следующие зависимости:

1. При неизменной частоте f активное сопротивление R увеличивается с ростом температуры до точки Кюри. Однако при частоте $f=10$ кГц, снижение активного сопротивления начинается при 200°C. При этом частота влияет на скорость роста активного сопротивления. При прохождении точки Кюри происходит резкое снижение сопротивления, например, для $f=22$ кГц в 10 раз.

2. При изменении частоты f с 10 кГц до 100 кГц, при одинаковой температуре, активное сопротивление растет. Например, для $t=200$ °C на 0,14 Ом (в 2,5 раза).

3. При неизменной частоте f , индуктивность L увеличивается с ростом температуры, до точки Кюри. При этом частота влияет на скорость роста индуктивности (чем меньше частота, тем быстрее рост). При прохождении точки Кюри происходит резко снижение индуктивности. Например, для частоты 22 кГц в 2,2 раза.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (инициативный научный проект 8.9608.2017/БЧ).

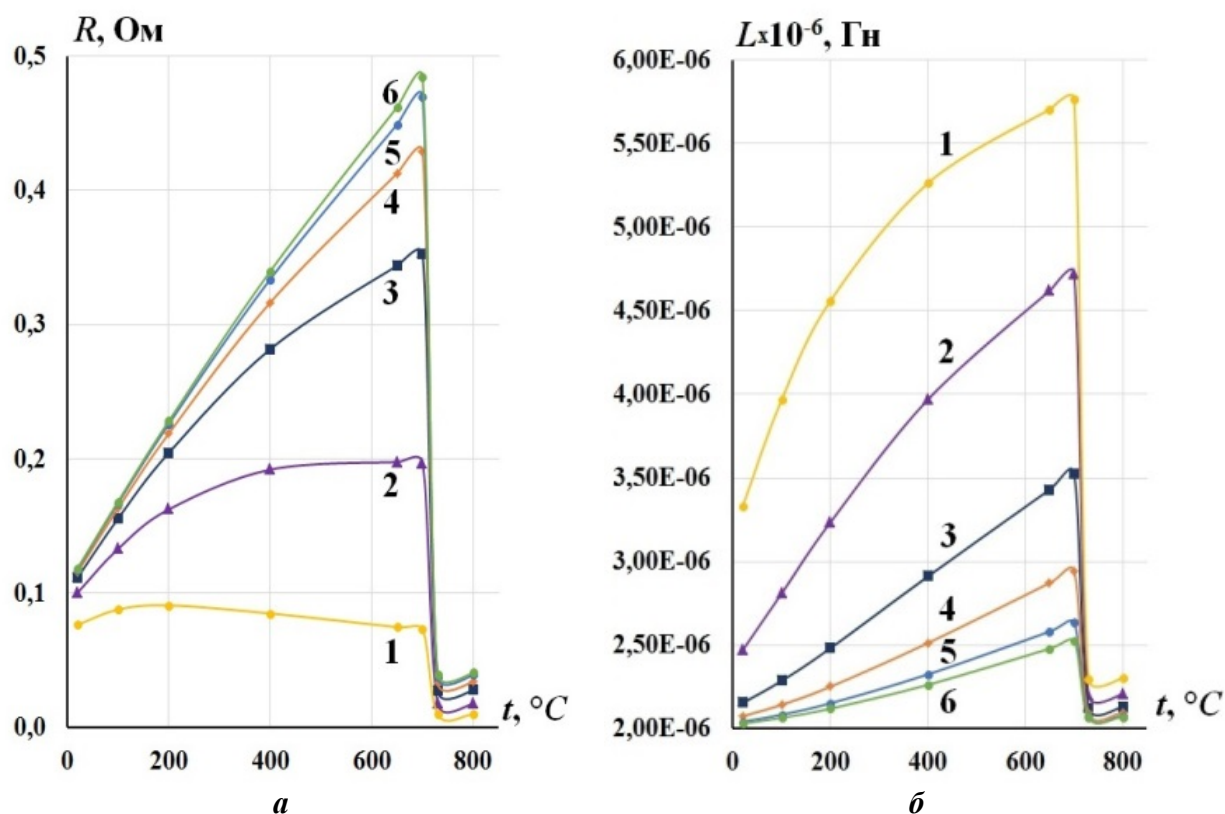


Рисунок 3 – График зависимостей активного сопротивления R (а) и индуктивности L (б) от температуры t , при токе $I=50$ А для следующих частот f :

1 – 10 кГц, 2 – 22 кГц, 3 – 44 кГц, 4 – 66 кГц, 5 – 88 кГц, 6 – 100 кГц

Список литературы

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали [Текст] / А.Б. Кувалдин– М.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с.

Федин Максим Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: fedinma@mail.ru.

Кувалдин Александр Борисович, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: a.kuvaldin2013@yandex.ru.

Кулешов Алексей Олегович, аспирант кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: AOKuleschov@yandex.ru.

Ахметьянов Святослав Владимирович, магистр кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ»; e-mail: ahmetyanov91@yandex.ru.

CALCULATION OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF INDUCTIVE TIGEROUS OVENS WITH A CONDUCTING FERROMAGNETIC TYGLE WITH TWO-LAYER LOADING

Fedin M. A., Kuvaldin A. B., Generalov I. M., Akhmetyanov S.V.
Russia, Moscow, MPEI

A mathematical model is developed for the electric calculation of induction crucible furnaces with a conductive crucible in the ELCUT package. Electrical and power characteristics of the furnace were obtained depending on the frequency, temperature and current of the inductor.

Keywords: Induction crucible furnace, ferromagnetic crucible, electrical characteristics.

Bibliography

1. Kuvaldin A.B. Induction heating of ferromagnetic steel [Tekst] / A.B. Kuvaldin – Moscow: Energoatomizdat, 1988. – pp. 39-41

Fedin Maxim Andreevich, Ph. D., Department of electrotechnology, MPEI; e-mail: fedinma@mail.ru.

Kuvaldin Alexandr Borisovich, doctor of science, Professor of the Department of electrotechnology, MPEI; e-mail: a.kuvaldin2013@yandex.ru.

Kuleshov Aleksey Olegovich, postgraduate, Department of electrotechnology, MPEI, e-mail: AOKuleschov@yandex.ru.

Akhmetyanov Svyatoslav Vladimirovich, master's degree, Department of electrotechnology, MPEI, e-mail: ahmetyanov91@yandex.ru.

УДК 621.3:536.7:678

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ЭКОНОМИКИ

Халин М.В., Востриков Е.И., Дорош А.Б., Сологубов А.В., Часовщиков Д.Г.
Российская Федерация, г.Барнаул, АлтГТУ

В работе приводится сравнительный анализ различных систем локального обогрева объектов сельско-хозяйственного и промышленного назначения, определены достоинства и недостатки различных способов и средств обогрева, приведены достоинства и технические характеристики многоэлектродных композиционных электрообогревателей.

Ключевые слова: энергоэффективный электрообогрев, поверхностно-распределённая теплопередача, агрессивная и влажная среда, многоэлектродный композиционный электрообогреватель.

Проблема создания энергоэффективных технологий и технических средств локального обогрева в АПК, когда цена электроэнергии потребителей достигает 4-5 руб за 1 кВт·ч, приобретает в современных условиях особую актуальность.

Выбор рационального способа локального обогрева заданного объекта представляет собой сложную задачу, включающую составление энергетического баланса

зоны обогрева, анализ условий и способов теплопереноса, выбор и расчет первичного энергоносителя и ряда других конкретных технических вопросов [1,2].

Области применения современных электрообогревателей достаточно разнообразны: объекты АПК, ЖКХ, энергетики, строительства, быта, и т.д.

Наиболее широкий спектр применения инфракрасного обогрева представляют электронагреватели на основе углеродных волокон Светлогорского производственного объединения «Химволокно» г. (г. Светлогорск, Беларусь) [3].

Разнообразные виды этих электронагревателей обладают целым рядом достоинств: стабильным электрическим сопротивлением, химической и биологической инертностью, высокой адгезией к любым полимерным покрытиям, устойчивостью к электрохимической коррозии.

Существенным недостатком данных электронагревателей является, то что они являются чисто резистивными элементами и не могут обладать свойствами саморегулирования и, кроме того, не защищены от механических воздействий.

Тонкопленочные ИК - электрообогреватели с наноразмерным проводящим слоем, предлагаемые для производства ООО «Нанотерм» (г. Челябинск, РФ). Обладая несомненными достоинствами ИК - нагрева, как и известные электронагреватели подобного типа («ПЛЭН» г.Челябинск, РФ, «Галео», Южная Корея; «Алсон», Финляндия, ООО «Квадро», Кострома, РФ [4]), например, энергоэффективностью, простотой обслуживания и монтажа, тем не менее, их существенными недостатками являются: неэффективность локального обогрева, слабая защищенность от механических воздействий и влияния агрессивных сред.

Системы обогрева молодняка свиноводческих комплексов производства УЧПТП «КАДЭКС» (Беларусь) включают нагревательные плиты НП. Нагревательные плиты представляют собой изделие из термопласткомпозиата, внутри которого расположены нагревательный кабель и терморегулятор, осуществляющий управление температурным режимом по заданной программе [5].

К достоинствам плит можно отнести износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред, так как внешняя оболочка выполнена из композитного материала, к недостаткам - использование греющего кабеля без саморегулирования, что требует дополнительных затрат на терморегулирование; неремонтопригодность при повреждении кабеля в любой точке изделия; значительный вес конструкции.

Предприятием ООО «ЭнергоЭффектТехнология» (Барнаул, РФ) разработаны и осуществляется промышленный выпуск многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ), которые предназначены для локального поверхностно-распределенного обогрева и поддержания диапазона заданных температур при эксплуатации устройств, установок и предметов промышленного и сельскохозяйственного назначения. МКЭ работает от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц [6]. Основными достоинствами МКЭ являются: высокие диэлектрические характеристики (сопротивление изоляции составляет более 1000 МОм, ток утечки - 0,05 мА), в т.ч. при эксплуатации во влажных и агрессивных средах по ГОСТ 9.030; стойкость к механическим воздействиям и солнечной радиации.

Разработанные энергоэффективные технологии обогрева на основе МКЭ позволяют снизить энергозатраты по сравнению с известными средствами обогрева, например, индукционных счетчиков в ЩУ электроэнергии в $2,5 \div 3$ раза, контейнеров для размещения оборудования электронной связи более, чем на 10 тыс. руб. в год на один объект, местный обогрев молодняка животных до 35%, для антиобледенительных систем на 10-15%[7].

Таблица 1 – Технические средства локального обогрева

№ п/п	Тип обогревателя	Основное назначение	Диапазон мощностей, Вт/м ²	Площадь нагревателя, м ²
1	Тонкопленочные	Монтируются под покрытие (подогрев полов)	150÷500	От 0,005 до 3,0
2	Пленочные ИК- нагреватели	Обогрев зон содержания с/х животных, спец. назначение	100÷300	От 0,05 до 3,0
3	Резистивные монолитные	Обогрев с/х животных	200÷400	От 0,4 до 1,0
4	Саморегулирующиеся на основе кабелей	Универсальные	200÷500	От 0,005 до 1,0
5	Саморегулирующиеся композиционные (МКЭ)	Универсальное, включая агрессивные среды	200÷500	От 0,025 до 1,5

№ п/п	Достоинства использования	Недостатки использования	Стоимость эффективно обогреваемой площади, руб/м ²
1	Стабильное электрическое сопротивление, химическая и биологическая инертность	Отсутствует саморегулирования	5000÷8000
2	Простота обслуживания и монтажа	Незащищенность от механических воздействий и агрессивных сред	8000÷12000
3	Износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред	Отсутствует саморегулирования, значительный вес	8000÷10000
4	Саморегулирование, энерго-эффективность, простота монтажа и обслуживания	Небольшая площадь теплоотдачи	10000÷15000
5	Саморегулирование изно-состойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред	Сложность изготовления электрообог-ревателей площадью более 1 м ²	6000÷9000

МКЭ характеризуется следующими показателями: средняя наработка на отказ, часов, не менее – 15000; срок службы, лет, не менее – 10; при эксплуатации должен выдерживать воздействие климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15150 (температура окружающей среды от +40°C до -40°C); должен выдерживать воздействие механических факторов по ГОСТ 17516.1 по группе условий эксплуатации – М1.

Выполненный анализ локального обогрева определил разнообразие устройств и установок, которые достаточно полно охватывают значительный сегмент рынка. В

Таблице 1 приведены результаты обзора исследований в области технологий и технических средств локального обогрева, которые разделены на пять характерных групп.

Список литературы

1. Герасимович, Л.С. Низкотемпературные электрообогреватели в сельском хозяйстве [Текст] / Л.С. Герасимович, В.П. Степанцов, В.А. Коротинский и др.; под общ. ред. Л.С. Герасимовича / Минск: Ураджай, 1984. - 118 с.
2. Низкотемпературные поверхностно-распределенные электронагреватели в сельском хозяйстве [Текст] / под ред. Л.С. Герасимовича: - Минск: Белорус. сельхозакадемия, 1985. - 84 с.
3. Использование углеродного волокна в электронагреве [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: http://www.so-him.by/_modules/_cfiles/files/electro%20ru.pdf.
4. Пат. на пол. мод. № 35562 РФ, МПК F24F1/00. Теплообменная поверхность/ Э.Д. Сергиевский, В. С.Травкин, Л.Н. Говорухин - 2003131801/20; заявл. 10.11.2003; опубл. 20.01.2004. - С. 6.
5. Унитарное частное производственно – торговое предприятие «КАДЭКС» [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <http://kadex.org>.
6. Компания ООО «ЭнергоЭффектТехнология» (Россия, Барнаул) [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <http://www.enefftech.ru>
7. Разработка энергоэффективных технологий обогрева и опытных образцов изделий на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей: отчет о НИОКР / Т.М. Халина, М.В. Халин, А.Б. Дорош, и др. // ЭнергоЭффектТехнология - ГР № 01201164482, ГК №8796р/6815. - Барнаул, 2012. - 123 с.

Халин Михаил Васильевич, д-р техн.наук, профессор кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ, Российская Федерация, г. Барнаул, temf@yandex.ru;

Востриков Евгений Иванович, аспирант, кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ, Российская Федерация, г. Барнаул, temf@yandex.ru;

Дорош Александр Борисович, ассистент, аспирант кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ, Российская Федерация, г. Барнаул, temf@yandex.ru;

Сологубов Андрей Владимирович, магистрант кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ, Российская Федерация, г. Барнаул, temf@yandex.ru;

Часовщиков Дмитрий Георгиевич, аспирант кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ, Российская Федерация, г. Барнаул, temf@yandex.ru

COMPOSITE ENERGY EFFICIENT ELECTRIC HEATERS FOR LOCAL HEATING IN VARIOUS AREAS OF THE ECONOMY

Khalin M.V., Vostrikov E.I., Dorosh A.B., Sologubov A.V., Chasovshikov D.G.
Russian Federation, Barnaul, AltSTU

In work the comparative analysis of different systems of local heating of objects of agricultural and industrial use, identified the advantages and disadvantages of the various means and heating means, the advantages and technical characteristics of multi-electrode composite electric heaters.

Keywords: energy efficient electric heating, surface-distributed heat transfer, aggressive and damp environments, multi-electrode composite electric heater.

Bibliography

1. Gerasimovich, L.S. Nizkotemperaturnyye elektroobogrevateli v selskom hozyaystve [Tekst] / L.S. Gerasimovich, V.P. Stepantsov, V.A. Korotinskiy i dr.; pod obsch. red. L.S. Gerasimovicha / Minsk: Uradzhay, 1984. - 118 s.
2. Nizkotemperaturnyye poverhnostno-raspredelennyye elektronagrevateli v selskom hozyaystve [Tekst] / pod red. L.S. Gerasimovicha: - Minsk: Belarus. selhozakademiya, 1985. - 84 s.
3. Ispolzovanie uglerodnogo volokna v elektronagreve [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa URL: http://www.so-him.by/_modules/_cfiles/files/electro ru.pdf.
4. Pat. na pol. mod. # 35562 RF, MPK F24F1/00. Teploobmennaya poverhnost/ E.D. Sergievskiy, V. S.Travkin, L.N. Govoruhin - 2003131801/20; zayavl. 10.11.2003; opubl. 20.01.2004. - S. 6.
5. Unitarnoe chastnoe proizvodstvenno – torgovoe predpriyatie «KADEKS» [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa URL: <http://kadex.org>.
6. Kompaniya OOO «EnergoEffektTehnologiya» (Rossiya, Barnaul) [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa URL: <http://www.enefftech.ru>
7. Razrabotka energoeffektivnykh tekhnologiy obogreva i opyitnykh obraztsov izdeliy na osnove mnogoelektroodnykh kompozitsionnykh elektroobogrevateley: otchet o NIOKR / T.M. Halina, M.V. Halin, A.B. Dorosh, i dr. // EnergoEffektTehnologiya - GR # 01201164482, GK #8796r/6815. - Barnaul, 2012. - 123 s.

Khalin Mikhail Vasilyevich, DoES, Professor of the Department "Electrical engineering and automatic electric drive" Altai state technical University, Russian Federation, Barnaul, temf@yandex.ru;
Vostrikov Evgeny Ivanovich, post-graduate student of the Department "Electrical engineering and automatic electric drive" Altai state technical University, Russian Federation, Barnaul, temf@yandex.ru;
Dorosh Alexander Borisovich, assistant, postgraduate student of the Department "Electrical engineering and automatic electric drive" Altai state technical University, Russian Federation, Barnaul, temf@yandex.ru;
Sologubov Andrey Vladimirovich, postgraduate of the Department "Electrical engineering and automatic electric drive" Altai state technical University, Russian Federation, Barnaul, temf@yandex.ru;
Chasovshikov Dmitry Georgievich, postgraduate student of the Department "Electrical engineering and automatic electric drive" Altai state technical University, Russian Federation, Barnaul, temf@yandex.ru

УДК 669.187.22:621.365.2

РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО ОБЪЕМА В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Макаров А.Н.

Россия, г. Тверь, Тверской государственный технический университет

На основе научного открытия законов теплового излучения газовых объемов решена крупная научная проблема, получены аналитические выражения, формулы для расчета теплового излучения факелов на поверхности нагрева. Научное открытие позволит конструкторам во многих странах мира создавать новые и совершенствовать действующие электродуговые и факельные металлургические печи, точки паровых котлов, камеры сгорания газотурбинных установок электростанций.

Ключевые слова: тепловое излучение, газовые объемы, научное открытие, факел.

Рассмотрим излучение части факела, одного из его цилиндрических газовых объемов. Цилиндрический изотермический газовый объем V_r излучает на расчетную площадку F_2 (рис.1). Размер площадки $0,5 \times 0,5$ м.

Диаметр цилиндрического объема 3 м, высота 3 м. Допустим в газовом объеме одновременно излучает $15 \cdot 10^{15}$ атомов, равномерно заполняющих объем. Атомы, составляющие газовый объем, моделируем шарами (рис.1). Перпендикуляр N_2 в центр A площадки F_2 проходит через центр симметрии объема и ось симметрии цилиндрического газового объема (точка O) и делит ось O_1O_2 пополам между верхним и нижним основаниями объема. Расстояние между точкой O и центром симметрии площадки F_2 3 м.

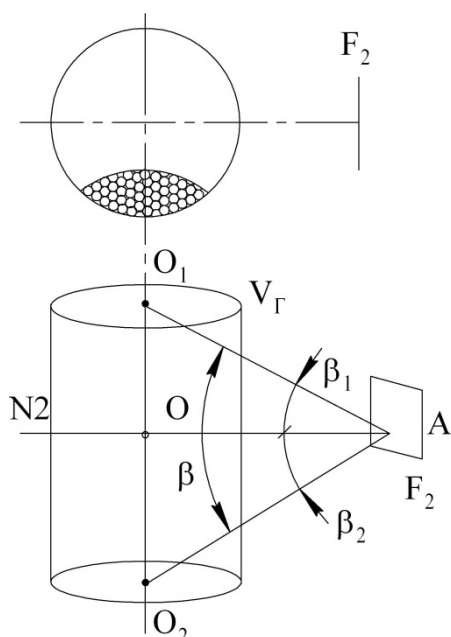


Рисунок 1 - Излучение цилиндрического газового объема на расчетную площадку F2

Мощность, выделяющаяся в цилиндрическом газовом объеме $P_{ц}$, факеле при сгорании топлива определяется как произведение теплоты сгорания на расход топлива [1-3]. Допустим для расчетного случая $P_{ц}=42\text{МВт}$, коэффициент поглощения газовой среды $k=0,162$ [3]. В работах [3-7] доказана ошибочность использования закона Стефана-Больцмана для расчета теплообмена газовых объемов с поверхностями нагрева. Излучение газовых объемов, факелов не подчиняется закону Стефана-Больцмана, закону пропорциональности падающего от газового объема на расчетную площадку потока излучения температуре газа в 4-й степени. Например, при подогреве воздуха, подаваемого в горелку, от 20°C до 600°C мощность факела увеличилась на 17%, а температура факела возросла от 1300°C до 2100°C [3,7]. Плотность потока излучения, падающего на расчетную площадку при подогреве воздуха, рассчитанная по закону Стефана-Больцмана, увеличилась в 5 раз, что противоречит закону сохранения энергии. В реальных условиях

эксплуатации печи плотность потока излучения от факела и скорость нагрева изделия увеличилось на 17%, то есть прямо пропорционально увеличению мощности факела [7]. В [3-7] доказано, что в качестве параметра, наиболее полно характеризующего излучение газового объема факела необходимо использовать мощность газового объема, факела. Формула для расчета плотности потока излучения $q_{Г2}$, падающего от газового объема $V_{Г}$ на расчетную площадку F_2 (рис.1) имеет следующий вид:

$$q_{Г2} = \phi_{Г2} P_{ц} F_2^{-1} e^{-k \cdot l_{cp}}, \quad (1)$$

где $\phi_{Г2}$ – локальный угловой коэффициент излучения газового объема $V_{Г}$ на площадку F_2 , площадью поверхности F_2 ; k – коэффициент поглощения газового объема; l_{cp} – средняя длина пути лучей излучающих частиц, атомов до расчетной площадки.

Согласно научному открытию, законам Макарова [3-7], средняя длина пути лучей от $15 \cdot 10^{15}$ атомов до расчетной площадки F_2 равна среднеарифметическому расстоянию от отрезка O_1O_2 до F_2 . Согласно законам Макарова локальный угловой коэффициент излучения газового объема $V_{Г}$ на расчетную площадку F_2 равен локальному угловому коэффициенту излучения цилиндра малого диаметра O_1O_2 на площадку F_2 .

Ось симметрии цилиндрического газового объема, цилиндр бесконечно малого диаметра O_1O_2 разделим на 5 отрезков и определим расстояние от середины каждого отрезков до площадки F_2 , затем среднюю длину пути лучей от $15 \cdot 10^{15}$ излучающих атомов до расчетной площадки F_2 :

$$l_{cp} = \left(\sum_{i=1}^5 l_i \right) / 5 = (3,2 + 3,1 + 3,0 + 3,1 + 3,2) / 5 = 3,12 \text{ м}. \quad (2)$$

Локальный угловой коэффициент излучения газового объема $V_{Г}$ на единицу площади площадки F_2 определим по выражению [3]:

$$\phi_{Г2} = \frac{F_2}{F_2 2\pi^2 r l_{cp}} [\beta + \sin \beta \cos(\beta_1 - \beta_2)] \quad (3)$$

$$\phi_{r2} = \frac{0,25}{0,25 \cdot 2 \cdot 3,14^2 \cdot 3 \cdot 3} \left[\frac{52}{57} + \sin 52^\circ \cos 0^\circ \right] = 0,0086 \cdot$$

Подставим (2) и (3) в (1) и определим плотность падающего на расчетную площадку потока теплового излучения от газового объема:

$$q_{r2} = \phi_{r2} P_{\text{ц}} F_2^{-1} e^{-kl_{cp}} = 0,0086 \cdot 42 \cdot 10^3 \cdot e^{-0,162 \cdot 3,12} = 217,1 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \quad (4)$$

Таким образом, рассчитали плотность потока, падающего на расчетную площадку от газового объема. Аналогичным образом определяются плотности потоков излучений, падающих на расчетную площадку от других газовых объемов, составляющих факел и суммарную плотность потоков излучений газовых объемов факела. В [3] выведены аналитические выражения для определения локальных угловых коэффициентов излучения цилиндрических газовых объемов малого диаметра при произвольном пространственном положении газового объема и расчетной поверхности. Аналогично (4) определяется плотность падающего от факела потока излучения на любую расчетную площадку при их произвольном расположении в пространстве.

В разработанную автором и изложенную в [3-7] вычислительную процедуру расчета теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания входят расчеты следующих тепловых потоков. Для каждой расчетной площадки определяются плотности тепловых потоков: потока излучения факела; потока факела, отраженного от поверхностей нагрева; потоков излучений твердых поверхностей; потоков излучений одних поверхностей отраженных на расчетную площадку от других поверхностей; лучистых и конвективных потоков продуктов горения факела. Для автоматизации вычислений разработаны и используется программа расчета на компьютере теплообмена в факельных печах, топках, камерах сгорания. В [3-7] приведены результаты расчета теплообмена в факельных печах, топках, камерах сгорания. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментальных измерений тепловых потоков, температур в нагревательных печах, топках паровых котлов, камерах сгорания газотурбинных установок. Расхождение в расчетных и экспериментальных данных не превышает 10%.

Таким образом, трудности, существовавшие в 20-м столетии в расчете средней длины пути лучей от множества излучающих частиц газовых объемов, факелов, и определении угловых коэффициентов излучения газовых объемов на расчетные поверхности с открытием законов излучения цилиндрических газовых объемов преодолены. В [3-7] изложены результаты расчетов теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках паровых котлов, камерах сгорания газотурбинных установок. Расчеты показали, что существующие конструкции электродуговых и факельных печей, поток, камер сгорания несовершенны по теплообмену. С целью экономии энергии, топлива необходимо создавать новые конструкции электродуговых и факельных печей, топков, камер сгорания и рационального расположения горелок в них. Ряд новых конструкций печей, топков, камер сгорания, в которых снижается расход электроэнергии, топлива, выравниваются тепловые нагрузки, разработаны автором с учениками и на них получены патенты на изобретения. Открытые законы излучения газовых объемов, законы Макарова, и разработанный на их основе метод расчеты теплообмена позволяют ученым, конструкторам во многих странах мира создавать новые и совершенствовать действующие электродуговые и факельные печи, топки паровых котлов, камеры сгорания газотурбинных установок электростанций, сэкономить млн кВт·ч электроэнергии и млн. тонн газотурбинного, жидкого, пылевидного топлива. Законы и теория теплового излучения газовых объемов изложены в учебнике [3] и используются для подготовки студентов университетов.

Список литературы

2. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник [Текст] / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Зигель, Р. Теплообмен излучением [Текст] / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
4. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установок: учебное пособие [Текст] / А.Н. Макаров. – СПб.: Лань, 2014. – 384 с.
5. Makarov, A.N. Theory of radiative heat exchange in furnaces, fire boxes, combustion chambers is replenished by four new laws // Science Discovery, 2014, №2, pp. 34-42. DOI: 10.11648/j.sd.20140202.12
6. Makarov, A.N. Calculation of Heat Transfer in Torch Furnaces by Gas Volume Radiation Laws // World Journal of Engineering and Technology, 2016, №4, pp. 488-503. DOI: 10.4236/wjet. 2016. 43049
7. Makarov, A.N. Radiation from Large Gas Volumes and Heat Exchange in Steam Boiler Furnaces // Power Technology and Engineering, 2015, Vol. 49, №3, pp. 196-201. DOI: 10.1007/S10749-015-5598-y
8. Makarov, A.N. Regularities pertinent to heat transfer between torch gas layers and steam boiler firebox water walls. Part I. Geometrical and physical torch model as a source of heat radiation // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, №9, pp. 642-648. DOI: 10.1134/S004060151406007x

Макаров Анатолий Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электротехника» Тверского государственного технического университета; адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22. Тел: 8(4822)78-83-17, e-mail: tgту_kafedra_ese@mail.ru

CALCULATION OF THERMAL RADIATION OF CYLINDRICAL GAS VOLUMES IN ELECTRIC-ARC AND FILM INSTALLATIONS

Makarov A.N.

Russia, Tver, Tver State Technical University

On the basis of scientific discovery of the laws of thermal radiation of gas volumes, a major scientific problem was solved, analytical expressions, formulas for calculating the thermal radiation of torches on the heating surface were obtained. The scientific discovery will allow designers in many countries of the world to create new and improve existing electric arc and flare metallurgical furnaces, furnaces of steam boilers, combustion chambers of gas turbine plants of power plants.

Key words: thermal radiation, gas volumes, scientific discovery, torch.

Bibliography

1. Blokh, A.G. Heat transfer by radiation: reference book [Text] / AG. Blok, Yu.A. Zhuravlev, L.N. Ryzhkov. - Moscow: Energoatomizdat, 1991. - 432 p.
2. Siegel, R. Heat exchange by radiation [Text] / R. Siegel, J. Howell. - Moscow: Mir, 1975.- 934 p.
3. Makarov, A.N. Heat exchange in electric arc and flare metallurgical furnaces and power plants: textbook [Text] / A.N. Makarov. - St. Petersburg: Lan, 2014. - 384 p.
4. Makarov, A.N. Theory of radiative heat exchange in furnaces, fire boxes, combustion chambers is replenished by four new laws // Science Discovery, 2014, №2, pp. 34-42. DOI: 10.11648/j.sd.20140202.12
5. Makarov, A.N. Calculation of Heat Transfer in Torch Furnaces by Gas Volume Radiation Laws // World Journal of Engineering and Technology, 2016, №4, pp. 488-503. DOI: 10.4236/wjet. 2016. 43049
6. Makarov, A.N. Radiation from Large Gas Volumes and Heat Exchange in Steam Boiler Furnaces // Power Technology and Engineering, 2015, Vol. 49, №3, pp. 196-201. DOI: 10.1007/S10749-015-5598-y

7. Makarov, A.N. Regularities pertinent to heat transfer between torch gas layers and steam boiler firebox water walls. Part I. Geometrical and physical torch model as a source of heat radiation // Thermal Engineering, 2014, Vol. 61, №9, pp. 642-648. DOI: 10.1134/S004060151406007x

Makarov Anatoly Nikolaevich - Dr. of Tech. Sci., Professor, Head. Department of Electric Power and Electrical Engineering of Tver State Technical University; Address: Russia, 170026, the city of Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22. Tel: 8 (4822) 78-83-17, e-mail: .

УДК 669.187.22:621.365.2

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Макаров А.Н., Асина О.А., Соколова Ю.М.

Россия, г. Тверь, Тверской государственный технический университет

Законы теплового излучения абсолютно черного тела (АЧТ), законы Стефана-Больцмана, Планка, Вина относятся к фундаментальным законам физики. Показано их влияние на развитие энергетической техники, экономию топливно-энергетических ресурсов.

Ключевые слова: тепловое излучение, законы, печи, научное открытие, факел.

В электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания (установках) излучают тепло поверхности нагрева: огнеупорная футеровка, ванна металла, твердое и газообразное топливо. В XIX – начале XX веков в топках на решетках сжигали твердое топливо: уголь, торф, сланцы, дрова. Энергия, выделяющаяся при сгорании топлива, на 90-95% состоит из энергии теплового излучения. Нагретые излучающие поверхности, твердое топливо в печах, топках как источники теплового излучения до 1879-84 годов представляли собой «черный ящик», неисследованные излучающие твердые тела. Не было аналитических выражений, формул для расчета теплового потока, излучаемого топливом и другими поверхностям на поверхности нагрева. Печи, топки создавали эмпирическим, опытным путем не имея возможности рассчитать теплообмен между топливом, нагретыми поверхностями и поверхностями нагрева. Ввиду отсутствия формул, аналитических выражений и невозможности рассчитать и организовать рациональный теплообмен КПД печей и топок был небольшой. Например, КПД топок паровых котлов в 1860-1870 годы составлял около 20%.

В 1879 году Й. Стефан экспериментально, в 1884 году Л. Больцман теоретически сформулировали закон теплового излучения абсолютно черного тела (АЧТ), твердого тела. В 1893 году В. Вин установил зависимость между длиной волны и температурой АЧТ (закон смещения Вина) [1,2]. В 1900 году М. Планк вывел закон распределения спектральной плотности излучения АЧТ по длинам волн в зависимости от температуры тела (закон Планка). После открытия законов теплового излучения АЧТ расчет теплообмена в печах, топках при сжигании топлива на решетках осуществляется с помощью закона Стефана-Больцмана [1,2]:

$$q = \frac{\varphi_{12} \varepsilon_1 c_s}{F_2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где q – плотность результирующего потока излучения топлива на поверхность нагрева, площадью F_2 ; φ_{12} – локальный угловой коэффициент излучения поверхности твердого топлива, площадью F_1 , на поверхность нагрева F_2 , показывает долю излучения F_1 на F_2 от всего излучения F_1 в окружающее пространство; T_1 , T_2 – температура, соответственно

слоя топлива и поверхности нагрева; c_s – постоянная Стефана-Больцмана; ε_1 – коэффициент излучения поверхности топлива.

Открытие законов теплового излучения твердого топлива, законов Стефана-Больцмана, Планка, Вина позволило создать геометрическую, физическую, математическую модель твердого топлива как источника теплового излучения и разработать аналитический метод расчета теплообмена в печах и топках. Твердое топливо как источник теплового излучения с открытием законов становится исследованным физическим телом, а не «черным ящиком». Используя законы теплового излучения АЧТ, твердых тел исследователи, конструкторы осуществляют расчеты теплообмена в топках, совершенствуют паровые котлы, что позволило повысить КПД паровых котлов с 20-25 до 90-95%, то есть в 3-4 раза, сократить в 3-4 раза расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на электростанциях, сэкономить млн. тонн топлива. За открытие законов теплового излучения АЧТ В. Вин в 1911 году, М. Планк в 1918 году были удостоены Нобелевской премии по физике. Законы теплового излучения АЧТ, твердых тел относятся к фундаментальным законам физики [1-3]. Фундаментальные законы физики изучают учащиеся школ и студенты университетов всех стран мира.

Рассмотрим излучение твердого топлива излучающей поверхностью F_1 на расчетную площадку F_2 , расположенную на поверхности нагрева (рис. 1). Окружающая среда лучепрозрачная.

Излучение твердого топлива осуществляется поверхностным слоем атомов, так как излучение глубинных, внутренних слоев атомов поглощается соседними слоями. Множество атомов, составляющих верхний слой, поверхность F_1 моделируется множеством площадок dF_i малых размеров. На рис. 1 используются следующие обозначения. $N1$, $N2$ – перпендикуляры в центры симметрии, соответственно, поверхности F_1 и площадки F_2 ; l – расстояние между центрами симметрии F_1 и F_2 ; dF_i – элементарная площадка на поверхности F_1 ; $N3$ – перпендикуляр в центр симметрии dF_i ; l_i – расстояние между центрами симметрии dF_i и F_2 ; α_i , β_i – углы между лучом l_i и перпендикулярами, соответственно, $N3$ и $N2$. Температура поверхности F_1 и площадки F_2 , соответственно, T_1 , T_2 .

Плотность падающего потока излучения q_{12} поверхности F_1 на расчетную площадку F_2 в лучепрозрачной среде определяется по закону Стефана-Больцмана:

$$q_{12} = \frac{\varphi_{12} q_1}{F_2} = \frac{\varphi_{12} \varepsilon_1 c_s T_1^4}{F_2}, \quad (2)$$

где φ_{12} – локальный угловой коэффициент излучения поверхности F_1 на площадку F_2 , показывают долю излучения F_1 на F_2 от всего излучения F_1 в окружающее пространство; q_1 – плотность потока теплового излучения с единицы поверхности F_1 ; F_1 , F_2 – площади поверхностей, соответственно, F_1 и F_2 ; c_s – коэффициент излучения АЧТ; ε_1 – коэффициент излучения поверхности F_1 .

Температура T_1 , площади поверхностей F_1 , F_2 , коэффициенты излучения c_s , ε_1 в расчетах известны. В расчетах сложность представляет определение локального углового коэффициента φ_{12} . Допустим, размеры поверхности F_1 следующие: длина a , ширина b . Поверхность F_1 разбивается на несколько сотен элементарных площадок dF_i и локальный угловой коэффициент излучения определяется по выражению:

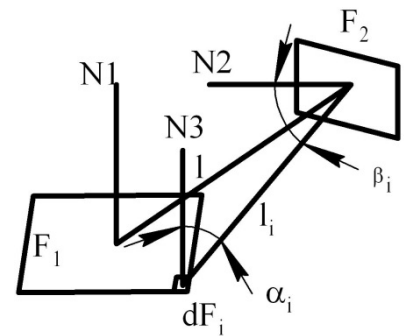


Рисунок 1 - Излучение твердого топлива, поверхности F_1 на расчетную площадку F_2

$$q_1 = \iint_{ab} \frac{\cos \alpha_i \cos \beta_i}{\pi l_i^2} da db, \quad (3)$$

Двойные интегралы (2) решены в 20 столетии при расположении поверхности и расчетной площадки в взаимопараллельных, взаимоперпендикулярных и произвольных плоскостях. Аналитические выражения, полученные при решении двойных интегралов приведены в справочных данных, например [2].

Результат теплообмена излучением между поверхностями F_1 и F_2 зависит от температур T_1 и T_2 и характеризуется плотностью результирующего потока излучений $q_{рез12}$, который определяется по следующему выражению:

$$q_{рез12} = \varphi_{12} \varepsilon_1 c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_2^{-1}, \quad (4)$$

где c_0 – коэффициент АЧТ.

Плотность результирующего потока излучения также может быть определена через разность плотность падающего потока излучения и собственного потока излучения площадки F_2 . При известной плотности падающего потока излучения расчет результирующего потока не представляет трудностей, поэтому: осуществим расчет плотностей падающих потоков излучений.

В процессе горения твердого топлива топка заполняется поглощающим газом и часть излучения поверхности F_1 поглощается газом (рис.1). Плотность падающего потока излучения q_{12} поверхности F_1 на расчетную площадку F_2 в поглощающей среде определяется по выражению:

$$q_{12} = \varphi_{12} \varepsilon_1 c_s T_1^4 F^{-1} e^{-kl_{cp}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент поглощения газовой среды; l_{cp} – эффективная, средняя длина пути лучей.

Средняя длина пути лучей определяется как среднеарифметическое расстояние от элементарных площадок dF_i до центра симметрии площадки F_2 . Например при разбиении поверхности F_1 на 500 элементарных площадок dF_i средняя длина пути лучей определяется следующим образом:

$$l_{cp} = \left(\sum_{i=1}^{500} l_i \right) / 500 \quad (6)$$

Для определения средней длины пути лучей от нескольких сотен излучающих площадок dF_i до расчетной площадок F_2 необходимо решение двойные интеграла, аналогичного (2) относительно неизвестного l_i в пределах размеров площадки F_1 .

Открытие законов Стефаном, Больцманом, Планком, Вином в конце XIX, начале XX столетий, и разработка на их основе расчетных процедур учеными в середине и конце XX столетия и их использование в практике позволило повысить коэффициент полезного использования топлива в твердотопливных печах, топках с 25-35% в начале до 70-95% в конце XX столетия. Продолжением развития теории теплообмена излучением является открытие одним из авторов – Макаровым А.Н. – законов теплового излучения газовых объем, которые изложены в следующей статье данного сборника.

Список литературы

1. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник [Текст] / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
2. Зигель, Р. Теплообмен излучением [Текст] / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.

3. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установок: учебное пособие [Текст] / А.Н. Макаров. – СПб.: Лань, 2014. – 384 с.

Макаров Анатолий Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электротехника» Тверского государственного технического университета; адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22. Тел: 8(4822)78-83-17, e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

Асина Оксана Александровна – аспирант кафедры «Электроснабжение и электротехника» Тверского государственного технического университета; адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22. Тел: 8(4822)78-83-17, e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

Соколова Юлия Михайлова – аспирант кафедры «Электроснабжение и электротехника» Тверского государственного технического университета; адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22. Тел: 8(4822)78-83-17, e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

CALCULATION OF THERMAL RADIATION OF SURFACES IN ELECTRIC-ARC AND FILM INSTALLATIONS

Makarov A.N., Asina O.A., Sokolova Yu.M.
Russia, Tver, Tver State Technical University

The laws of thermal radiation of an absolutely black body (ACT), the laws of Stefan-Boltzmann, Planck, Wines refer to the fundamental laws of physics. Their influence on the development of power engineering, the economy of fuel and energy resources is shown.

Key words: thermal radiation, laws, furnaces, scientific discovery, torch.

Bibliography

1. Blokh, A.G. Heat transfer by radiation: reference book [Text] / AG. Blok, Yu.A. Zhuravlev, L.N. Ryzhkov. - Moscow: Energoatomizdat, 1991. - 432 p.
2. Siegel, R. Heat exchange by radiation [Text] / R. Siegel, J. Howell. - Moscow: Mir, 1975.- 934 p.
3. Makarov, A.N. Heat exchange in electric arc and flare metallurgical furnaces and power plants: textbook [Text] / A.N. Makarov. - St. Petersburg: Lan, 2014. - 384 p.

Makarov Anatoly Nikolaevich - Dr. of Tech. Sci., Professor, Head. Department of Electric Power and Electrical Engineering of Tver State Technical University; Address: Russia, 170026, the city of Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22. Tel: 8 (4822) 78-83-17, e-mail: ru.

Asina Oksana Aleksandrovna - post-graduate student of the Department of Electric Power and Electrical Engineering of Tver State Technical University; Address: Russia, 170026, the city of Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22. Tel: 8 (4822) 78-83-17, e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru.

Sokolova Yuliya Mikhilovna - post-graduate student of the Department of Electric Power and Electrical Engineering of the Tver State Technical University; Address: Russia, 170026, the city of Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22. Tel: 8 (4822) 78-83-17, e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru.

УДК 669.187.22:621.365.2

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИОНИЗИРОВАННЫХ И НЕИОНИЗИРОВАННЫХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Макаров А.Н.

Россия, г. Тверь, Тверской государственной технический университет

В конце XX столетия автором были открыты законы теплового излучения цилиндрических ионизированных и неионизированных газовых объемов. На основе научного открытия была решена проблема вывода аналитических выражений, формул для расчета теплового излучения ионизированных и

неионизированных газовых объемов в электродугowych и факельных установках.

Ключевые слова: тепловое излучение, газовые объемы, законы, научное открытие.

Ионизированные излучающие газовые объемы – электрические дуги – используются в электродугowych печах для плавки стали. Неионизированные излучающие газовые объемы – факелы – образуются при сжигании в горелках жидкого, пылевидного, газообразного топлива и используются при плавлении лома в электрических печах, нагрева изделий в нагревательных печах, парообразования в топках паровых котлов, получения высокотемпературного газа в камерах сгорания газотурбинных установок.

В XX-XXI веках широкое распространение получило факельное сжигание в печах, топках, камерах сгорания газообразного, жидкого, пылевидного топлива. Для факельного сжигания топлива характерно объемное излучение, трехмерная модель излучения [1-3]. В факеле, газовом объеме излучают квадриллионы, 10^{15} - 10^{30} , частиц, атомов. Излучение каждой частицы, атома на расчетную площадку необходимо учесть. Для расчета теплового излучения на расчетную площадку всех атомов, составляющих газовый объем, факел необходимо решение трехкратных интегральных уравнений. Решения трехкратных интегральных уравнений для определения средней длины пути лучей от излучающих частиц, атомов, угловых коэффициентов излучения газовых объемов на расчетную площадку в XX-XXI столетиях не было найдено. Законы излучения газовых объемов не были открыты.

Считается, что проблема расчета теплообмена в факельных печах, топках, камерах сгорания была решена с появлением компьютеров и использованием численного моделирования интегральных уравнений теплообмена. Однако многолетние аналитические и экспериментальные исследования теплообмена показали, что результаты численного решения интегральных уравнений теплообмена на компьютерах являются не корректными. В данном методе используются законы теплового излучения АЧТ, твердых тел, закон Стефана-Больцмана, однако излучение газовых объемов не подчиняется закону Стефана-Больцмана [3]. В данном методе используется закон Стефана-Больцмана и большой массив приближенных значений температур и оптических коэффициентов поверхностных и объемных зон, и погрешность расчетов составляет 20-40% [3].

В XX веке факелы, излучающие газовые объемы, несмотря на приложенные для решения проблемы колоссальные интеллектуальные ресурсы, оставались «черным ящиком». Не было формул для определения основных параметров теплового излучения газовых объемов, факелов, формул для определения от квадриллионов излучающих атомов средней длины пути лучей, локальных угловых коэффициентов излучения, плотностей потоков излучения на расчетную площадку. Решение проблемы зашло в тупик.

Рассмотрим излучение части объема факела, представляющего изотермический газовый объем в форме прямоугольного параллелепипеда, размером $a \times b \times h = 3 \times 3 \times 3$ метра, на расчетную площадку F_2 (рис.1). Допустим в газовом объеме одновременно излучают $15 \cdot 10^{15}$ атомов, равномерно заполняющих объем V_{Γ} .

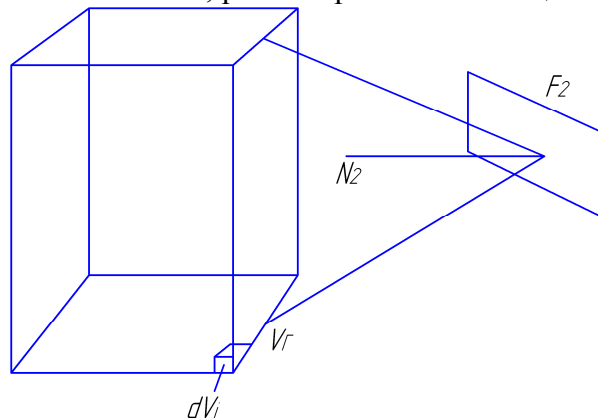


Рисунок 1 - Излучение газового объема V_T на расчетную площадку F_2

Газовый объем заполнен излучающими частицами и в расчетах моделируется множеством элементарных прямоугольных параллелепипедов бесконечно малой высоты dV_i , заполняющих объем V_T от нижнего до верхнего оснований.

Плотность падающего потока излучения q_{V2} газового объема V_T на расчетную площадку F_2 в поглощающей среде определяется по выражению:

$$q_{V2} = \varphi_{V2} \varepsilon_{\Gamma} c_s T_{\Gamma}^4 F_2^{-1} e^{-kl_{cp}}, \quad (1)$$

где φ_{V2} – локальный угловой коэффициент излучения газового объема V_T на площадку F_2 ; c_s , T_{Γ} – соответственно, коэффициент излучения и температура газового объема.

Локальный угловой коэффициент излучения газового объема V_T на площадку F_2 определяется по выражению [3]:

$$\varphi_{V2} = \iiint_{ab h} \frac{\cos \alpha_i \cos \beta_i}{2\pi l_i^2} da db dh, \quad (2)$$

В выражении (2) приведены обозначения, определяемые по результатам геометрических построений [3]. Решения выражения (2) в 20 столетии не было найдено как не было найдено решение выражения (1). Для определения средней длины пути лучей от множества бесконечно малых объемов, элементарных прямоугольных параллелепипедов, заполняющих газовый объем необходимо решение тройного интеграла с интегрированием в пределах газового объема. Задача определения средней длины пути лучей с помощью тройного интегрирования не решена.

Для приближенного решения задачи определения среднего углового коэффициента излучения, средней длины пути лучей, плотности падающего потока излучения от газового объема предложен и используется на протяжении 20 столетия зональный метод [1-3]. Было предложено моделировать излучение газового объема излучением его поверхности. Неизотермический газ и замыкающая его оболочка разделяются на ряд объемов и площадей, которые считаются изотермическими. Для поверхностей, ограничивающих газовый объем, определена средняя длина пути лучей до расчетной площадки, данные расчетов сведены в таблицу [2]. Для каждого объема и площади записывается уравнение баланса энергии. Получают систему уравнений относительно неизвестных тепловых потоков и температур, которая решается численным методом на компьютере. Расчеты основаны на законах излучения твердых тел, излучение объемов моделируется излучением поверхностей, при расчетах используется большой массив приближенных значений температур, коэффициентов излучения, поглощения. Погрешность расчетов составляет 20-40%. Невысокую точность зонального метода признают Siegel R. и Howell Y. [2].

Задача расчета средних угловых коэффициентов излучения газовых объемов на расчетные площадки и определения средней длины пути лучей решена с открытием законов излучения изотермических изохорных коаксиальных цилиндрических газовых объемов [4].

Впишем в газовый объем, представляющий прямоугольный параллелепипед, размером $3 \times 3 \times 3$ м (рис. 1) цилиндр 1, диаметром 3 м (рис. 3).

Допустим, в газовом объеме 1 одновременно излучают $15 \cdot 10^{15}$ атомов, равномерно заполняющих объем V_1 . Впишем в цилиндр 1 цилиндры 2 и 3, причем объем излучающего газа между цилиндрами 1 и 2, 2 и 3, а также цилиндра 3, одинаковы. Имеем три изотермических изохорных коаксиальных цилиндрических излучающих газовых объема 1-3, в каждом из которых расположено $5 \cdot 10^{15}$ атомов (рис. 2). Обозначим цифрой 4 цилиндрический газовый объем бесконечно малого диаметра высотой 3 м, расположенный на оси симметрии коаксиальных цилиндрических газовых объемов. Автором установлены четыре закона теплового излучения изотермических изохорных коаксиальных цилиндрических газовых объемов [4]. Для компактности записи законов и используя авторское право, автор объединил четыре закона теплового излучения газовых объемов в один закон следующего содержания:

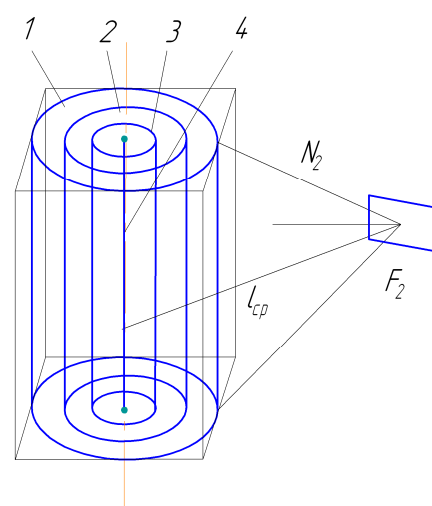


Рисунок 2 - Излучение коаксиальных цилиндрических газовых объемов на расчетную площадку F_2

«Средняя длина пути лучей от квадриллионов излучающих частиц каждого из изохорных изотермических коаксиальных цилиндрических газовых объемов до расчетной площадки равна среднеарифметическому расстоянию от оси симметрии объемов до расчетной площадки, а угловые коэффициенты излучений, плотности потоков излучений газовых объемов на расчетную площадку равны.

Плотность потока теплового излучения центрального коаксиального цилиндрического объема малого диаметра на расчетную площадку равна сумме плотностей потоков излучений всех газовых объемов при выделяющейся в объеме малого диаметра мощности излучения равной сумме мощности всех излучений, выделяющихся во всех коаксиальных цилиндрических газовых объемах, излучающих на расчетную площадку».

Теоретическое обоснование научного открытия и его экспериментальное подтверждение изложены в [3]. Открыто физическое явление согласно которому тепловое излучение трех изотермических изохорных коаксиальных цилиндрических газовых объемов 1-3 может быть эквивалентно заменено излучением коаксиального цилиндрического газового объема 4 малого диаметра при выделяющейся в нем мощности излучения, равной сумме мощности излучений цилиндрических газовых объемов 1-3. Установлено, что при этом условии плотности потоков излучений на расчетную площадку коаксиальных цилиндрических газовых объемов 1-3 и газового объема 4 бесконечно малого диаметра равны. Также равны локальные угловые коэффициенты излучения и средняя длина пути лучей коаксиальных цилиндрических газовых объемов 1-4 на расчетную площадку.

Научным открытием установлено, что средняя длина пути лучей от квадриллионов излучающих частиц, атомов коаксиальных цилиндрических газовых объемов до расчетной площадки равна среднеарифметическому расстоянию от оси симметрии коаксиальных объемов до расчетной площадки. Уникальность научного открытия в том, что для определения средней длины пути лучей от квадриллионов излучающих частиц не надо выполнять сложное тройное интегрирование в пределах газового объема с переменной длиной пути лучей от каждой излучающей частицы в подынтегральном выражении. Для определения средней длины пути лучей от квадриллионов излучающих частиц достаточно разделить высоту цилиндрического объема 4 малого диаметра,

например, на 10 отрезков и определить среднюю длину пути лучей от середины данных отрезков до расчетной площадки:

$$l_{cp} = \left(\sum_{i=1}^{10} l_i \right) / 10, \quad (3)$$

где l_i – расстояние от середины i -го отрезка до площадки F2.

Уникальность научного открытия также в том, что при эквивалентном излучении коаксиальных цилиндрических газовых объемов 1-4 для определения локальных угловых коэффициентов излучения газовых объемов на расчетную площадку достаточно проводить однократное интегрирование изменяющихся геометрических параметров в пределах высоты коаксиального цилиндрического газового объема 4 малого диаметра. Однократное интегрирование переменных функций исследовано, получило широкое распространение, имеются таблицы решения алгебраических, показательных, тригонометрических и логарифмических функций. Решение однократных интегралов с тригонометрическими функциями, аналогичными с используемыми в (2), в подынтегральных выражениях автором найдено [3].

Таким образом, с научным открытием законов теплового излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов, которые с целью соблюдения многовековых научных традиций и авторского права названы законами Макарова [3,4] появилась возможность определять среднюю длину пути лучей от квадриллионов излучающих частиц, локальные и средние угловые коэффициенты излучения газовых объемов при моделировании их цилиндрическими газовыми объемами [5].

Таким образом, в выражениях (1,2) не осталось неопределяемых сомножителей и плотности потоков излучений, средняя длина пути лучей, локальные угловые коэффициенты излучения газовых объемов на расчетные площадки могут быть рассчитаны. Научное открытие создало возможности рассчитывать теплообмен излучением в факельных печах, топках паровых котлов, камерах сгорания газотурбинных установок электростанций с высокой точностью [3,5]. Законы излучения газовых объемов, законы Макарова, аналогично законам излучения абсолютно черного тела, законам Стефана-Больцмана, Планка, Вина, относятся к фундаментальным законам физики и вошли в учебник по теплообмену в электродуговых и факельных установках [3], используемый для обучения студентов университетов.

Список литературы

1. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник [Текст] / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
2. Зигель, Р. Теплообмен излучением [Текст] / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
3. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установок: учебное пособие [Текст] / А.Н. Макаров. – СПб.: Лань, 2014. – 384 с.
4. Makarov, A.N. Theory of radiative heat exchange in furnaces, fire boxes, combustion chambers is replenished by four new laws // Science Discovery, 2014, №2, pp. 34-42, DOI:10.11648/j.sd.20140202.12
5. Makarov, A.N. Calculation of Heat Transfer in Torch Furnaces by Gas Volume Radiation Laws // World Journal of Engineering and Technology, 2016, №4, pp. 488-503. DOI:10.4236/wjet. 2016. 43049

Макаров Анатолий Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электротехника» Тверского государственного технического университета; адрес: Россия, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22. Тел: 8(4822)78-83-17, e-mail: tgту_kafedra_ese@mail.ru.

CALCULATION OF THERMAL RADIATION OF IONIZED AND NON-IONIZED GAS VOLUMES IN ELECTRIC-ARC AND FILM INSTALLATIONS

Makarov A.N.

Russia, Tver, Tver State Technical University

At the end of the 20th century, the author discovered the laws of thermal radiation of cylindrical ionized and non-ionized gas volumes. On the basis of scientific discovery, the problem of derivation of analytical expressions, formulas for calculating the thermal radiation of ionized and non-ionized gas volumes in electric arc and flare units was solved.

Key words: thermal radiation, gas volumes, laws, scientific discovery.

Bibliography

1. Blokh, A.G. Heat transfer by radiation: reference book [text] / AG. Blok, Yu.A. Zhuravlev, L.N. Ryzhkov. - Moscow: Energoatomizdat, 1991. - 432 p.
2. Siegel, R. Heat exchange by radiation [Text] / R. Siegel, J. Howell. - Moscow: Mir, 1975. - 934 p.
3. Makarov, A.N. Heat exchange in electric arc and flare metallurgical furnaces and power plants: textbook [Text] / A.N. Makarov. - St. Petersburg: Lan, 2014. - 384 p.
4. Makarov, A.N. Theory of radiative heat exchange in furnaces, fire boxes, combustion chambers is replenished by four new laws. Science Discovery, 2014, №2, pp. 34-42, DOI:10.11648/j.sd.20140202.12
5. Makarov, A.N. Calculation of Heat Transfer in Torch Furnaces by Gas Volume Radiation Laws. World Journal of Engineering and Technology 2016, №4, pp. 488-503. DOI:10.4236/wjet.2016.43049

Makarov Anatoly Nikolaevich - Dr. of Tech. Sci., Professor, Head. Department of Electric Power and Electrical Engineering of Tver State Technical University; Address: Russia, 170026, the city of Tver, nab. Afanasy Nikitin, 22. Tel: 8 (4822) 78-83-17, e-mail: ru.

УДК 674.038.3:674.047

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ШПОНА

Качанов А.Н., Ховрин О.И., Селиверстова О.С.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье приведены результаты технических предложений, направленных на повышение энергоэффективности установки для сушки шпона по патенту № 7227.

Ключевые слова: модернизация, индукционная установка, бегущее электромагнитное поле, сушка шпона.

Как следует из проведенного патентного поиска и анализа литературных источников в деревообрабатывающей промышленности для сушки шпона используют различные способы и конструкции электротермического оборудования. Установки по способу сушки подразделяют на: конвективный, кондуктивный, радиационный и диэлектрический.

На практике широкое применение нашла сушилка СУР-3 [1]. Данная установка наряду с хорошими технико-экономическими показателями имеет и ряд недостатков, в частности, большие габаритные размеры и энергозатраты.

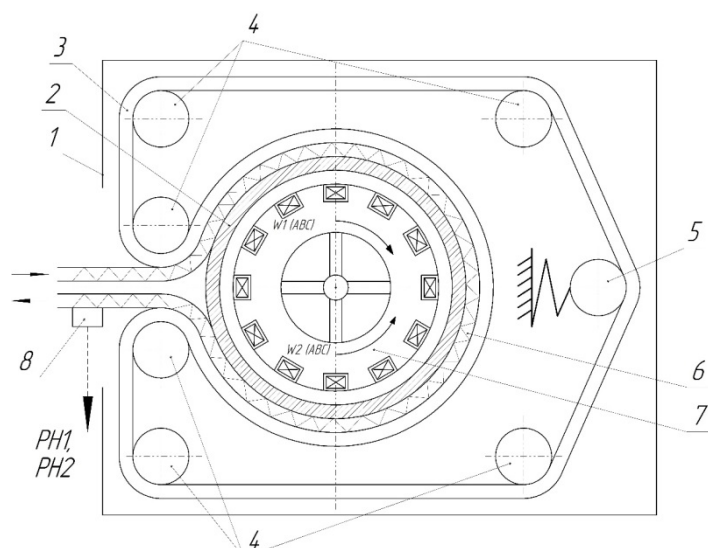


Рисунок 1 – Общий вид установки для сушки шпона:

1 – камера; 2 – перфорированный барабан; 3 – газопроницаемая бесконечная лента; 4 – направляющие валики; 5 – натяжной валик; 6 – высушиваемый материал (шпон); 7 – индуктор; 8 – датчик

счет взаимодействия бегущего электромагнитного поля [3] с перфорированным стальным барабаном, который нагревается вихревыми токами и вращается аналогично короткозамкнутому ротору асинхронного двигателя.

Используя результаты проведенных теплотехнических и электротехнических расчетов были рассчитаны технические характеристики сушилки для шпона, эквивалентной по производительности базовому варианту сушилке СУР-3. Расчетная мощность сушилки для шпона составила 67,5 кВт, КПД – 87,5%, а естественный коэффициент мощности равен 0,7. С целью дальнейшего повышения энергетических показателей модернизируемой сушилки и повышения качества выпускаемой продукции были предложены два технических решения. Первое, для исключения соприкосновения шпона с ржавчиной, образующейся на стальном перфорированном барабане, его поверхность покрыта тонким листом из нержавеющей стали. Второе предложение направлено на повышение коэффициента мощности установки для сушки шпона. Увеличение коэффициента мощности до 0,9 достигнуто путем нанесения на внутреннюю поверхность стального барабана тонкого слоя теплоизоляционной краски TSM Ceramic [4]. Тонкая пленка TSM Ceramic уменьшает непроизводительные потери тепла на 20 % при этом также исчезает необходимость дополнительных затрат энергии на охлаждение обмоток индуктора, находящегося внутри стального барабана.

На заключительном этапе были выполнены технико-экономические расчеты и проведен анализ, который подтвердил преимущество технических характеристик модернизируемой установки для сушки шпона по сравнению с характеристиками установки СУР-3.

Свободна от указанных недостатков установка «Сушилка для шпона и длинномерных волокнистых материалов» [2], общий вид которой представлен на рисунке 1. По сравнению с сопоставимой по производительности установкой СУР-3 данная установка имеет ряд технических преимуществ, обусловленных принципом её действия.

В частности, конструкция позволяет одновременно совмещать две функции: нагрев обрабатываемого материала и его перемещение. Перемещение и нагрев материала обеспечивается за

счет взаимодействия бегущего электромагнитного поля [3] с перфорированным стальным барабаном, который нагревается вихревыми токами и вращается аналогично короткозамкнутому ротору асинхронного двигателя.

Используя результаты проведенных теплотехнических и электротехнических расчетов были рассчитаны технические характеристики сушилки для шпона, эквивалентной по производительности базовому варианту сушилке СУР-3. Расчетная мощность сушилки для шпона составила 67,5 кВт, КПД – 87,5%, а естественный коэффициент мощности равен 0,7. С целью дальнейшего повышения энергетических показателей модернизируемой сушилки и повышения качества выпускаемой продукции были предложены два технических решения. Первое, для исключения соприкосновения шпона с ржавчиной, образующейся на стальном перфорированном барабане, его поверхность покрыта тонким листом из нержавеющей стали. Второе предложение направлено на повышение коэффициента мощности установки для сушки шпона. Увеличение коэффициента мощности до 0,9 достигнуто путем нанесения на внутреннюю поверхность стального барабана тонкого слоя теплоизоляционной краски TSM Ceramic [4]. Тонкая пленка TSM Ceramic уменьшает непроизводительные потери тепла на 20 % при этом также исчезает необходимость дополнительных затрат энергии на охлаждение обмоток индуктора, находящегося внутри стального барабана.

На заключительном этапе были выполнены технико-экономические расчеты и проведен анализ, который подтвердил преимущество технических характеристик модернизируемой установки для сушки шпона по сравнению с характеристиками установки СУР-3.

1. Расев, А.И. Сушка древесины [Текст] // Высш. школа, 1980. – 181 с., ил.
2. А.с. 970305.1 Казахстан, МКП F 26 B 13/08, 3/34. Сушилка для шпона и длинномерных волокнистых материалов [Текст] / А.Н. Качанов, М.Н. Чукумов, Т.Г. Королева, Н.А. Качанов, В.В. Ивашенко. – № 7227; заявл. 01.04.1997; опубл. 15.02.1999, Бюл. № 2.
3. Качанов, А.Н. Индукционный нагрев плоских металлических изделий в бегущем магнитном поле [Текст] / А.Н. Качанов, Н.А. Качанов // В сб.: Труды АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - Барнаул, 2000.
4. Жидкое керамическое теплоизоляционное покрытие [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.assystems.eu/ee/teploizoljacionie-i-teploenergoberegaju-shie-kraski/tsm-ceramic>.

Качанов Александр Николаевич, д-р техн.наук, профессор, академик АЭН РФ, заведующий кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, тел. 8 (4862) 41 98 53. mail: kan@ostu.ru.

Ховрин Олег Иванович, студент гр. 41 – ЭО ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; адрес: Россия, 302020 г. Орел, ул. Наугорское шоссе, д. 29; e-mail: oleg_chovrin@mail.ru.

Селиверстова Оксана Сергеевна, студент гр. 61ЭЭ ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; адрес: Россия, 302020 г. Орел, ул. Наугорское шоссе, д. 29; e-mail: Ks_1111@mail.ru.

MODERNIZATION OF INDUCTION PLANT FOR DRYING VESCRIBE

Kachanov A.N., Chovrin O.I.

Russia, Orel, FGBOU VO "Orlovsky State University name by I.S. Turgenev"

The article presents the results of technical proposals aimed at increasing the energy efficiency of the veneer drying plant under patent No. 7227.

Key words: modernization, induction installation, running electromagnetic field, veneer drying.

Bibliography

1. Rasev, A.I. Drying of wood [Text] // Superior. School, 1980. - 181 p., Ill.
2. А.с. 970305.1 Kz, МРК F 26 B 13/08, 3/34. Drier for veneer and long fibrous materials [Text] / A.N. Kachanov, M.N. Chukumov, T.G. Koroleva, N.A. Kachanov, V.V. Ivashchenko. – No. 7227; claimed. 01.04.1997; ; publ. 15.02.1999, Bul. № 2.
3. Kachanov, A.N. Induction heating of flat metal products in a running magnetic field [Text] / A.N. Kachanov, N.A. Kachanov // In: Proceedings of AltGTU them. I.I. Polzunova. - Barnaul, 2000.
4. Liquid ceramic thermal insulation coating [Electronic resource] - Access mode: <http://www.assystems.eu/ee/teploizoljacionie-i-teploenergoberegaju-shie-kraski/tsm-ceramic>

Kachanov Alexander Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor, head of department "Electrical and energy saving" FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev"; Tel.: 8-(4862)-41-98-53.

Chovrin Oleg Ivanovich – student gr. 41 – EO, FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev".

Seliverstova Oksana Sergeevna – student gr. 61EE, FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev".

УДК 621.318.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СИСТЕМЕ «ИНДУКТОР – ПЛОСКАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ЗАГРУЗКА»

Качанов А.Н., Герасименко Е.С.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрены результаты исследований характера распределения электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора при нагреве плоских металлических загрузок в поперечном электромагнитном поле в программной среде ELCUT.

Ключевые слова: электромагнитное поле, индуктор, плоская металлическая загрузка, программный продукт ELCUT.

Установки для нагрева плоских металлических изделий в поперечном электромагнитном поле нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Например, при проведении ряда технологических операций, таких как сушка лакокрасочных покрытий, нанесенных на поверхность металлических изделий, нагрев заготовок в кузнечнопрессовом производстве и др. Для обеспечения качества выпускаемой продукции требуется создание однородного электромагнитного и теплового полей в системе «индуктор - плоская металлическая загрузка». Известны различные решения данной инженерно-технической задачи, направленные на получение однородного электромагнитного поля. Наиболее часто применяемые на практике решения - это использование многополюсных устройств и перемещение плоских изделий относительно полюсов магнитопровода в процессе их нагрева. Таким образом, техническими мероприятиями можно решить поставленную задачу, однако, требуется дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение энергоэффективности индукционных устройств для нагрева плоских металлических изделий в поперечном электромагнитном поле.

В работах [1,2] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований распределения основных параметров электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора с С-образным магнитопроводом. Доказано, что в режиме работы индуктора без нагрузки (холостой ход) можно считать, что при выполнении следующего условия поле в рабочем зазоре индуктора однородно:

$$\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \leq 0,2. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что величина воздушного зазора δ_3 должна быть меньше или равна 20% от величины геометрического размера полюса магнитопровода $2R_1$. Аналогичные формулы были получены для полюсов прямоугольной и квадратной формы. На графике, приведенном на рисунке 1, приведены зависимости коэффициента, используемого при пересчете реальных размеров полюсов магнитопровода на фиктивные, с учетом значения индукции в магнитопроводе.

В программной среде ELCUT были проведены экспериментальные исследования распределения электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора для двух режимов его работы: в режиме холостого хода и при наличии нагрузки. На рисунках 2 и 3 представлены картины распределения силовых линий магнитного поля в режиме холостого хода для случая, когда условие (1) выполняется и для случая, когда данное условие не выполняется.

При исследовании рабочего режима индуктора, были рассмотрены случаи, интересующие практику инженерных расчетов, а именно, для загрузок из магнитных и немагнитных материалов в форме дисков, радиусы которых больше и меньше радиусов магнитопроводов.

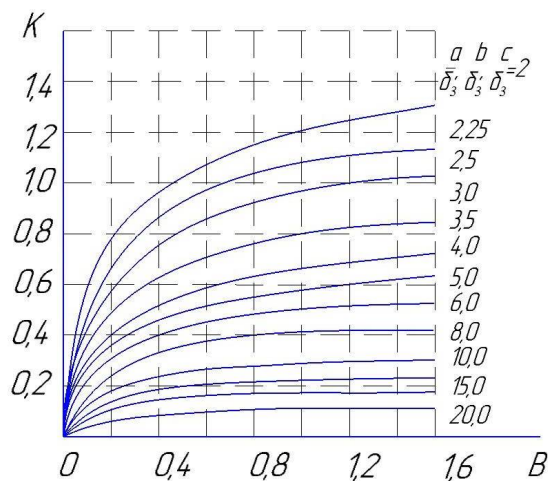


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента пересчета размера полюсов магнитопровода от величины индукции в магнитопроводе

На рисунках 4-7 приведены картины распределения силовых линий магнитного поля и плотности вихревых токов.

Анализируя картины распределения силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в нагрузках, толщиной меньше или равной глубине проникновения тока в металл, можно сделать следующие выводы:

- наличие загрузки в рабочем зазоре индуктора приводит к нарушению однородности магнитного поля;

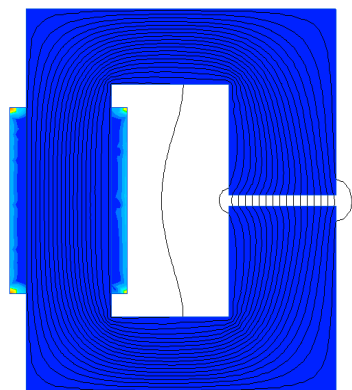


Рисунок 2 - Картина магнитного поля для

случая $\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \leq 0,2$

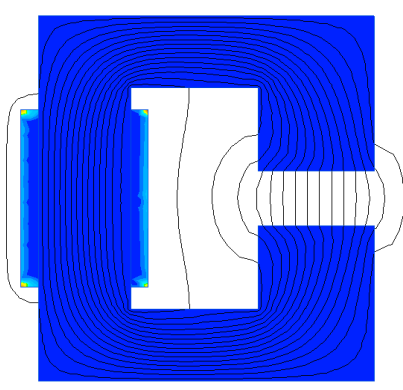


Рисунок 3 - Картина магнитного поля для случая

$\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \geq 0,2$

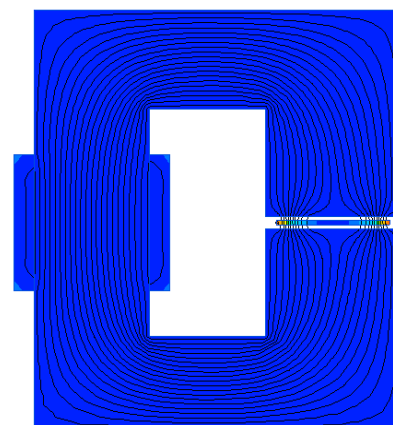


Рисунок 4 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в медной загрузке для $R_3 \leq R_{мп}$

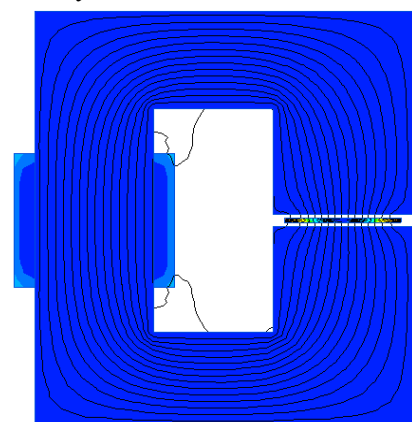


Рисунок 5 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в стальной загрузке для $R_3 \leq R_{мп}$

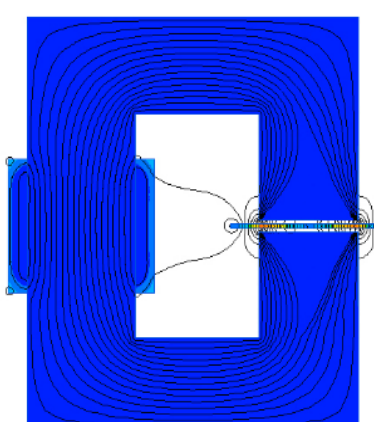


Рисунок 6 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в медной загрузке для $R_3 \geq R_{мп}$

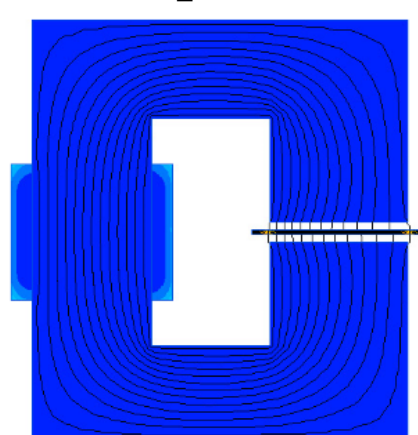


Рисунок 7 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в стальной загрузке для $R_3 \geq R_{мп}$

- в результате взаимодействия силовых линий внешнего магнитного поля с силовыми линиями магнитного поля, создаваемого вихревыми токами, происходит вытеснение результирующего магнитного поля от центра полюсов магнитопровода к периферии. При этом, в случае нагрева немагнитных заготовок, эффект вытеснения проявляется более интенсивно;

- требуется проведение дополнительных исследований распределения магнитных полей в системе «индуктор - плоская металлическая загрузка» с использованием

программы ELCUT для случая, когда толщина загрузки больше глубины проникновения тока в металл, и с учетом изменения электрофизических свойств загрузки в процессе нагрева.

Список литературы

1. Kacanov, A.N. , Schulze, D. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Quersfeld. Im Buch: 31 IWK. TH Ilmenau. Vortragsreihen. A-5, DDR/ 1986, s. 121 – 125.
2. Kacanov, A.N. Untersuchung des Magnetfeldes im Arbeitsplatz eines Induktors für die Erwärmung ebener Einsätze. Im Wissenschaftliche Zeitschrift der TH, Heft 1. 1986, s. 107 -111.
3. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя [Текст] / Санкт-Петербург: Производственный кооператив TOP, 2010. – 345 с.
4. Дубицкий, С.Д. ELCUT. Универсальная программа расчета магнитных, электрических, тепловых и упругих полей методом конечных элементов// Горный информационно – аналитический бюллетень - №12 / том 12 – 2007.

Качанов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, академик АЭН РФ, заведующий кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29, тел. 8-(4862)-41-98-53. mail: kan@ostu.ru

Герасименко Екатерина Сергеевна, студент гр. 41-ЭО ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; адрес: Россия, 302020 г. Орёл, ул. Наугорское шоссе, д. 29; e-mail: Dina.storm@mail.ru.

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE SYSTEM «INDUCTOR - FLAT METALLIC LOAD»

Kachanov A.N., Gerasimenko E.S.

Russia, Oryol, FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev »

In the article the results of researches of character of distribution of an electromagnetic field in a working backlash of an inductor at heating of flat metal loadings in a transverse electromagnetic field in the program environment ELCUT are considered.

Key words: electromagnetic field, inductor, flat metal loading, software product ELCUT.

Bibliography

1. Kacanov, A.N. , Schulze, D. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Quersfeld. Im Buch: 31 IWK. TH Ilmenau. Vortragsreihen. A-5, DDR / 1986, s. 121-125.
2. Kacanov, A.N. Untersuchung des Magnetfeldes im Arbeitsplatz eines Induktors für die Erwärmung ebener Einsätze. Im Wissenschaftliche Zeitschrift der TH, Heft 1. 1986, s. 107 -111.
3. ELCUT. Simulation of two-dimensional fields by the finite element method. User's Guide [Текст] / Saint-Petersburg: Production cooperative TOP, 2010. - 345 с.
4. Dubitsky, S.D. ELCUT. Universal program for calculating magnetic, electric, thermal and elastic fields by the finite element method // Mining Information Analytical Bulletin - №12 / volume 12 - 2007.

Kachanov Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the AEC of Russia, Head of the Department of Electroequipment and Energy Saving, FGBOU VO "OSU named after IS. Turgenev ". 302020, Oryol, Naugorskoe shosse, 29, tel. 8- (4862) -41-98-53. Mail: kan@ostu.ru.
Gerasimenko Ekaterina Sergeevna, student gr. 41-EE FGBOU IN "OSU named after I.S. Turgenev "; Address: Russia, 302020, the Oryol, ul. Naugorskoe shosse, 29; E-mail: Dina.storm@mail.ru.

СЕКЦИЯ №4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Руководитель:

Барсуков Геннадий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой КТО МП, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева», awj@list.ru

УДК 621.311

МОДЕЛЬ ПОГРУЖНОЙ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Загрядцкий В.И., Алехин В.С., Мионов Е.А., Шведов С.А.
Россия, г. Орел, ОГУ им. С.И. Тургенева

Рассматривается модель автономной погружной свободнопоточной микрогидроэлектростанции используемой в качестве источника электроэнергии для различных объектов, расположенных вдали от централизованного электроснабжения.

Ключевые слова: электрическая энергия, генератор, мультипликатор, гидромеханический преобразователь.

Погружные свободнопоточные микрогидроэлектростанции (мкГЭС), использующие кинетическую энергию потока реки, обладают рядом преимуществ по сравнению с плотинными, наплавными, деривационными безнапорными мкГЭС[1]. Характерная черта станции – отсутствие плотины и водохранилища. МкГЭС могут применяться на малых и сверхмалых реках, родниках, ручьях, технических и технологических водоводах, естественных водоемах и т.д. МкГЭС не разрушают природный речной ландшафт, не влияют на ухудшение поверхностных и грунтовых вод.

Однако их достоинства в настоящее время в отечественном гидроэлектростроении практически не реализованы. Широкому внедрению мкГЭС на малых относительно тихих водных источниках, по нашему мнению, препятствует ряд факторов, главными среди которых можно считать следующие:

1. Недостаток перспективных проектно-конструкторских решений, ибо освоение промышленного производства мкГЭС требует иного подхода, чем освоение традиционных ГЭС. Требуется простые технические решения.

2. Недостаточно полное развитие расчетно-теоретических основ проектирования машин этого типа с оптимальными техническими характеристиками.

3. Отсутствует опыт создания мкГЭС для малых и сверхмалых рек.

4. Не изучены вопросы, связанные с особенностями самих мкГЭС.

5. Развитие мкГЭС не сопровождается параллельным изучением характеристик малых и сверхмалых рек с целью выяснения условий выбора участка реки для расположения электростанции.

6. Не разработаны шкала мощностей, оптимальные частоты вращения индуктора генератора и рабочего колеса турбины, вопросы надежности, охлаждения, работы изоляции водонаполненного генератора, электробезопасности.

Отмеченные и другие факторы указывают на определенные трудности, возникающие при внедрении мкГЭС. Области применения каждой мкГЭС определяется особенностью ландшафта реки, назначением мкГЭС и условиями ее работы.

Рассматриваемые в статье мкГЭС предлагаются авторами для работы на водных источниках, имеющих скорость течения $0,3 \dots 3 \text{ м/с}$. Данная скорость течения является

недостаточной для приведения во вращение рабочего колеса турбины. Поэтому она должна быть увеличена.

Для того чтобы повысить скорость протекания потока воды реки до требуемой величины скорости воды на лопатках колеса гидравлической турбины авторами [2,3] предложен гидромеханический преобразователь скорости. Он образован двумя соосными концентрическими оболочками, отделенными друг от друга продольно ориентированными ребрами жесткости, которые образуют осевые каналы. Средняя скорость в канале V_k определяется как

$$V_k = Q_0 / n F_k, \quad (1)$$

где Q_0 – секундный расход воды в сечении на входе, n – число каналов, F_k – площадь поперечного сечения одного канала.

Все величины, входящие в вышеприведенную формулу, можно принимать исходя из конструктивных соображений.

Если значение скорости в канале V_k , установленная мощность станции N , радиус рабочего колеса турбины r известны, то угловая частота вращения рабочего колеса турбины находится из следующего приближенного уравнения [2]:

$$\omega = 2N / Q_0 V_k r \sin 2\beta, \quad (2)$$

где ρ – массовая плотность жидкости, β – угол наклона лопасти турбины к оси канала.

Окружная сила давления на одну лопасть рабочего колеса турбины:

$$P_t = 0,5 \rho V_k^2 F_k \sin 2\beta. \quad (3)$$

Вращающий момент на рабочем колесе турбины:

$$M = P_t r n. \quad (4)$$

Развиваемая мощность:

$$N = M \omega. \quad (5)$$

На кафедре «Электрооборудование и энергосбережение» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева на протяжении нескольких лет ведутся работы по созданию проточных погружных мкГЭС.

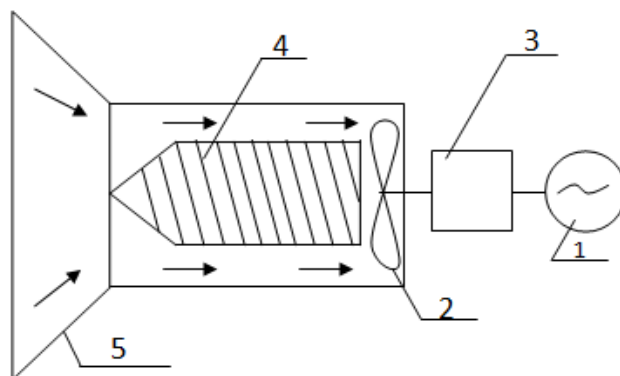


Рисунок 1 - Принципиальная схема мкГЭС

Целью настоящей работы была проверка вышеприведенной формулы для определения угловой частот вращения рабочего колеса турбины и работоспособности одной из возможных конструкций мкГЭС.

С этой целью была построена физическая модель, имитирующая работу станции. На рис.1 изображена ее принципиальная схема. Ее основными компонентами являются: электрический генератор 1, ротор которого связан с рабочим колесом гидротурбины 2 посредством мультипликатора 3, гидромеханический преобразователь скоростей 4, конфузор 5. Использование мультипликатора позволяет применить генератор на $500 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$.

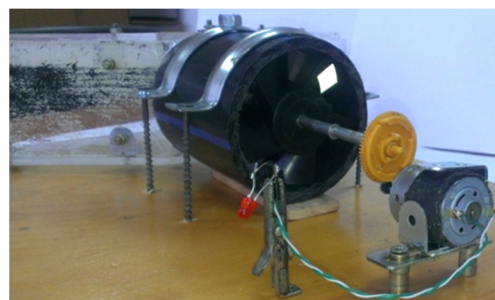


Рисунок 2 –Общий вид модели мкГЭС

Принцип работы модели основан на взаимодействии между потоком воды после гидромеханического преобразователя и лопастями рабочего колеса гидротурбины.

Данные модели: максимальная площадь сечения конфузора – $254,5 \text{ мм}^2$, площадь сечения турбины – $33,43 \text{ мм}^2$, скорость течения реки – $0,5 \text{ м/с}$,

диаметр рабочего колеса турбины – 73 мм , число лопастей осевого рабочего колеса турбины – 5, число каналов гидромеханического преобразователя – 5, диаметр наружной оболочки преобразователя – 75 мм , диаметр внутренней оболочки преобразователя – 37 мм , аксиальная длина модели – 100 мм , длина конфузора – 90 мм , число пазов мультипликатора $Z_1 = 57$, $Z_2 = 14$. На рис.2 приведен общий вид модели мкГЭС. В результате измерений было установлено, что при заданной геометрии гидромеханического преобразователя и скорости течения реки Ока $0,5 \text{ м/с}$, была получена частота вращения колеса турбины 100 мин^{-1} , частота вращения генератора составила 410 мин^{-1} .

Испытания физической модели позволили сделать следующие выводы:

1. Подтвержден принцип работы свободнопоточной погружной мкГЭС, предназначенной для работы на малых и сверхмалых реках с небольшой скоростью течения.

2. Применение гидромеханического преобразователя скорости потока воды реки в повышенную скорость потока воды на рабочем колесе турбины совместно с мультипликатором позволяет применять быстроходный электрический генератор с оптимальным числом пар полюсов.

3. Свободнопоточные мкГЭС рассмотренной конструкции мощностью до 100 кВт могут применяться на реках со скоростью течения $0,3$ и более метров в секунду.

Список литературы

1. Загрядцкий В.И. Микрогидроэлектростанция для малых рек [Текст] / В.И. Загрядцкий, Е.Т. Кобяков // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век – Орел: Изд-во Госуниверситета – УНПК, 2014.

2. Загрядцкий В.И. Проектирование гидромеханического преобразователя микрогидроэлектростанции для низкоскоростных водных источников [Текст] / В.И. Загрядцкий, Е.Т. Кобяков, Л.Г. Харитонов. – М.: Промышленная энергетика, 2015. №2. – С. 55 – 58.

3. Пат. 2603882F038 13/10, F038 17/05 Направляющий аппарат микрогидроэлектростанции / В.И. Загрядцкий, Е.Т.Кобяков. Оpub.10.12.2016.Бюл. №34.

Загрядцкий Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»; тел. 8-(4862)-41-98-30.

Алехин Виталий Сергеевич – студент гр. 31-ЭО ОГУ им.И.С.Тургенева.

Миронов Евгений Андреевич – студент гр. 31-ЭО ОГУ им.И.С.Тургенева.
Шведов Сергей Алексеевич – студент гр. 31-ЭО ОГУ им.И.С.Тургенева.

MODEL OF SUBMERSIBLE MICRO-HYDRO-ELECTRIC POWER STATION

Zagriadckiy V.I., Alekhin V.S., Mironov E.A., Shvedov S.A.
OSU name by Turgenyev, Oryol, Russia

The article is devoted to autonomous model of free-threaded micro-hydro-electric power station, which can be used as an energy source for objects, located far from centralized power supply.

Keywords: electric energy, generator, multiplier, hydromechanical convertor.

Bibliography

1. Zagriadckiy V.I. Micro-hydro-electro-station dlya malich rek [Tekst] / V.I. Zagriadckiy E.T. Kobyakov // Energo – i resursosberezbnie – XXI vek - Oryol: izd. Gosuniversitet – UNPK, 2014.
2. Zagriadckiy V.I. Projectirovanie hydromechanical convertor micro-hydro-electro-station dlya nizskoskorostnach vodnach istochikov [Tekst] / V.I. Zagriadckiy, E.T. Kobyakov, L.G. Charitonova. – M.: Promashlennaya energetika, 2015. №2. – S.55-58.
3. Pat. 2603882 F038 13/10, F038 17/05 Napravlyayshiy apparat micro-hydro-electro-station/ V.I. Zagriadckiy, E.T.Kobyakov/ Opub. 10.12.2016. Bul. №34.

Zagriadckiy Vladimir Ivanovich – doctor of sciences, professor department «Electrical and energy saving» FGBOU VO «OSU name by Turgenyev», Tel.: 8-(4862)-41-98-30.

Alekhin Vitaly Sergeevich – student gr. EO 31 FGBOU VO «OSU name by Turgenyev».

Mironov Evgeniy Andreevich– student gr. EO 31 FGBOU VO «OSU name by Turgenyev».

Shvedov Sergey Alexeevich– student gr. EO 31 FGBOU VO «OSU name by Turgenyev».

УДК 338.012+

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАКОСМИЧЕСКОМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Степанова Е.Ю., Бурнашов М.А., Степанов Ю.С.
Россия, г. Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева

Инновационные технологии аддитивного производства являются мировым трендом. Показаны важность и примеры их применения в авиакосмическом и энергетическом машиностроении, тактика крупных зарубежных компаний. Отмечается необходимость консолидации усилий всех разработчиков и потребителей аддитивных технологий.

Ключевые слова: инновации, аддитивные лазерные технологии, селективное лазерное сплавление, лазерная наплавка, лопаткатурины.

Ученые и практики многих стран постоянно ищут новые инновационные технологические решения изготовления машин и механизмов, которые бы обеспечивали конкурентные преимущества их продукции на мировых рынках [1]. Для отечественной промышленности это тем более важно, так как приходится развиваться в условиях санкций, низких цен на углеводороды и ограниченных финансовых ограничениях [2].

Аддитивные технологии (АМ-технологии), суть которых заключается в послойном изготовлении (выращивании) изделий по цифровой трехмерной модели из порошка, проволоки, жидкости с последующим энергетическим воздействием на них, находят все большее применение в различных отраслях промышленности и видах деятельности человека [3-7]. Этому способствуют их уникальные возможности [7, 8]: проектирование деталей без ограничений трехмерной геометрии; использование бионического дизайна; консолидация отдельных элементов в одну деталь; снижение веса деталей; изготовление

деталей без оснастки, сокращение сроков изготовления и затрат на производство нового изделия и изготовление прототипов, изготовление изделия в месте эксплуатации и др.

Реализация таких свойств особенно важно для авиационной и космической техники. Жесткая конкуренция на рынках авиационных перевозок, продажи авиационной техники, космических услугах, рост цен на авиатопливо вынуждают искать пути снижения издержек, как при изготовлении изделий, так и в процессе эксплуатации. Одними из них является снижение собственного веса летательных аппаратов: самолетов, вертолетов, спутников, ракет, беспилотников. Чем меньше вес аппарата, тем меньше расходы на горючее, тем выше полезная нагрузка и больше возможное время полета.

Каждый процент снижения веса обеспечивает 0,75% экономии топлива. При этом основная часть веса самолета с топливом составляет 80% (без веса пассажиров и багажа [9]. Поэтому основными резервами его снижения, в первую очередь, является использование облегченных конструктивных элементов, особенно, используя бионический дизайн.

В [10] приводятся данные, что уменьшение массы пассажирского лайнера на 1 кг, дает экономию топлива до 100 кг при налете 2500 ч. Существенно можно снизить взлетный вес самолета за счет веса кресел. Например, уменьшение их веса на 1 кг дает в годовом исчислении для борта со 100 креслами снижение расхода топлива порядка 10 000 кг.

Одна из крупнейших авиастроительных компаний мира Airbus S.A.S., которая вместе с Boeing занимает более 90% мирового рынка гражданских самолетов, планирует снизить вес каждого самолета более чем на 1000 кг с помощью 3D-печати. Только замена одной переборки, отделяющей пассажирский салон от служебного, на сетчатую структуру с помощью 3D-печати из специального сплава снизило ее вес с 65 до 30 кг при сохранении высокой прочности и упругости. Массовое производство различных элементов самолета по этой технологии запланировано на 2018 год [11]. Напомним, что в проекте A380-1000 спроектировано уже 1073 места с одним экономклассом или 757 мест в трех классах.

По этому же пути идет и компания Boeing. Она начинает 3D-печать титановых деталей самолета Boeing 787 Dreamliner, что обеспечит ей \$340 млн. экономии при годовой программе выпуска 114 шт. В планах корпорации и печать новых космических спутников [12].

В мировом энергетическом машиностроении также все чаще используются аддитивные технологии.

Немецкие исследователи на основе сравнений лазерного сплавления - Laser Metal Fusion (LMF) и лазерной наплавки металлического порошка – Laser Metal Deposition (LMD) [13] установили, что для LMF характерна низкая скорость процесса, небольшие размеры изготавливаемых деталей, существенные ограничения в использовании различных материалов порошков в процессе изготовления детали, а LMD работает с более высокими скоростями, позволяет менять металлический порошок во время выращивания деталей, но имеет существенные ограничения по сложности их геометрической формы. На основании этого они предложили использовать одновременно обе технологии, но для различных участков детали: елочный замок выращивать по LMD, а рабочую часть лопатки – по LMF технологии. Применение такой комбинированной обработки позволило сократить время обработки на 60% - с 13,8 ч до 5,3 ч.

AM-технологии позволяют выполнять изготавливать лопатки с каналами для охлаждения ячеистой структуры, что значительно повышает их эксплуатационные свойства.

Siemens AG (Германия) - глобальная технологическая компания, одна из крупнейших мировых производителей энергосберегающих и ресурсосберегающих

технологий, производитель и ведущий поставщик газовых и паровых турбин от 4 до 425 МВт, ветрогенераторов, крупный поставщик решений по передаче энергии, приобрела 85% акций в компании Materials Solutions Ltd., одного из мировых лидеров в области АМ-производства, пионера использования технологии селективного лазерного плавления (SLM) для производства высокоэффективных металлических деталей, чтобы обеспечить себе конкурентные преимущества на мировом рынке. Первые трехмерные изделия компании - печатные горелки для сверхмощной газовой турбины Siemens успешно эксплуатируются на электростанции в Брно, Чешская Республика [14]. Другим примером успешного применения АМ-технологий в компании служит трехмерная печать лопаток, которые были установлены в промышленной газовой турбине типа SGT-400 мощностью 13 МВт. Лопатки турбины были изготовлены из высокотемпературного, порошкообразного поликристаллического суперсплава на основе никеля и способны выдерживать высокие давления, экстремальные температуры и центробежные силы, возникающие во время работы турбины. Время разработки прототипа сократилось при этом на 90 %, а время от проектирования нового газотурбинного лезвия до его выпуска - с двух лет до двух месяцев. Ныне Siemens уже использует АМ технологии для изготовления многих запасных частей для своих железнодорожных транспортных средств [15].

Компания GE (General Electric) высоко оценила возможности трехмерной печати, считая, что она может дать наибольший экономический эффект в производстве критически нагруженных частей реактивных двигателей и газотурбинных установок. Для этого она приобрела две компании, обладающими ноу-хау, компетенциями и опытом в области АМ-производства и цифровых технологий. Планируется, что она будет ежегодно выпускать по 25000 сопел (по 10-20 сопел на двигатель) в течение 3 лет. При этом происходит экономия металла, сокращение издержек производства, облегчение деталей, а, в конечном счете, значительную экономию топлива для авиакомпаний и повышение их конкурентоспособности.

Другие ее дочерние компании: GE Power & Water, производящая большие газовые и ветровые турбины, и GE Healthcare подготовила перечень деталей и узлов для использования 3D-печати преобразователей - дорогих керамических зондов, используемых в ультразвуковых машинах. Такой подход обеспечил гибкость компании, возможность отказа от литья и механической обработки, разрабатывать совершенно новые формы без учета существующих производственных ограничений. Инженеры GE изучают возможности изготовления лопаток турбин из разных материалов так, что один конец оптимизирован по прочности, а другой - по термостойкости [16].

MCMachinerySystemsInc., полностью принадлежащая MitsubishiCorporation, в которую входит 28 компаний, сообщила о разработке в партнерстве с MatsuuraMachineryCorp., FukuiCity, Japan нового гибридного фрезерного станка LUMEXAvance-25 и металлического лазерного спекания (3DSLS) и выводе его на североамериканский рынок [17]. Он считается единственным в мире, сочетающий традиционные высокоскоростные и аддитивные методы обработки на одном станке за одну установку. Обеспечивается не только сокращение времени обработки, но и наивысшая точность размеров.

Оригинальное решение нашли томские ученые. Они создали специализированное наноструктурное покрытие магниевых сплавов и технологию его нанесения, которое значительно увеличивает прочность планера летательного аппарата и обеспечивает возможность уменьшить его вес на 30% [18].

Лидером в области развития аддитивных технологий в России является ВИАМ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПбГПУ, МГТУ «СТАНКИН», МИФИ, МАИ, СамГАУ, УрФУ, Росатом, предприятия ОПК, входящие в Ростех и др. Однако пока доля отечественной АМ-продукции на мировом рынке не превышает 1,5 %.

Выводы.

Аддитивные технологии являются технологическими приоритетами мировой и отечественной экономик, ключевым фактором обеспечения конкурентоспособности инновационной наукоемкой продукции, ярким воплощением новых энерго- и ресурсосберегающих концепций, катализатором новой технологической революции 21 века.

Энергетическая и авиационная промышленность представляет собой драйвер развития трехмерной печати деталей сложной геометрической формы, так как здесь проявляется наибольший технический и экономический эффекты.

Крупнейшие зарубежные компании интегрируют в свои структуры ведущие компании, обладающие компетенциями в области аддитивных технологий. Для того, чтобы не отстать от лидеров в этой области необходимо, на наш взгляд, консолидация материального, научного и человеческого потенциалов, объединение усилий РАН, вузов и предприятий в области создания АМ-техники, технологий, материалов и подготовки кадров.

Список литературы

1. Степанова, Е.Ю. Высокие технологии в инновационной экономике / Е.Ю. Степанова, Л.И. Поландова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. – № 3. – С. 156-167.
2. Степанова, Е.Ю. Экспортные ограничения США и ЕС как стимул к развитию наукоемких и высокотехнологичных секторов экономики / Е.Ю. Степанова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 3 (305). – С. 96-103.
3. Степанова, Е.Ю. Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века / Е.Ю. Степанова // Энерго- и ресурсосбережение-XXI век: XIII междунар. науч.-практ. Интернет-конф. (15 марта-30 июня 2015 г., г. Орел). Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. – С. 124-128.
4. Степанова, Е.Ю. Перспективы применения 3D-инноваций в автомобильной промышленности / Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков, Е.А. Збинякова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – №1(49). – С. 60-66.
5. Степанова, Е.Ю. Аддитивные технологии - технологические приоритеты мировой и отечественной экономики / Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. – 2016. – С. 291-294.
6. Степанова, Е.Ю. Прорывные технологии нового поколения формообразования пространственно-сложных поверхностей наукоемких изделий / Е.Ю. Степанова, Г.В. Барсуков, Ю.С. Степанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. – № 8-2. – С. 243-249.
7. Степанова, Е.Ю. Влияние аддитивных технологий на экономику наукоемких отраслей промышленности: роль многоуровневых интегрированных компаний / Е.Ю. Степанова // Экономические и гуманитарные науки. 2016. – №1 (288). – С. 54-64.
8. Довбыш, В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П.В. Забеднов, М.А. Зленко. - Режим доступа: http://nami.ru/upload/AT_metall.pdf (дата обращения 04.05.2017).
9. <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2014/passazhiry-samoletov-budushchego-budut-naslazhdatsya-panoramnymi-vidami> (дата обращения 05.05.2017).
10. Белкин, В.А. К проблеме повышения топливной эффективности гражданских самолетов / В.А. Белкин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. № 219. С. 121-126.
11. <http://proektoria.online/projects/snizhenie-obshhej-massy-samoleta> (дата обращения 05.05.2017).
12. Boeing начнет печать титановых деталей для самолетов на 3D принтере. <http://incrussia.ru/news/boeing-nachnet-pechat-titanovykh-detaley-dlya-samoletov-na-3d-printere>.

13. Комбинированные лазерные аддитивные технологии производства лопаток турбин сложной геометрической формы / Б. Граф, С.Э. Гок, А.В. Гуменюк, М. Ретмайер // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – №3(20). – С. 34–42.
14. Siemens strengthens footprint in Additive Manufacturing. - <https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/2016/power-gas/pr2016080358pgen.htm> (дата обращения 05.05.2017).
15. Breakthrough with 3D printed Gas Turbine Blades. <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html> (дата обращения 05.05.2017).
16. Martin LaMonica. GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts // MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/s/513716/additive-manufacturing/> (дата обращения 05.05.2017).
17. <http://www.industrial-lasers.com/articles/2014/01/mitsubishi-moves-into-laser-additive-manufacturing-with-matsuura-partnership.html> (дата обращения 05.05.2017).
18. <https://www.aex.ru/news/2017/3/16/167430/> (дата обращения 05.05.2017).

Степанова Елена Юрьевна, канд. эконом. наук, доцент кафедры ГиМУ, Орловский государственный университет, Россия, г. Орел, Комсомольская, 95, тел.: 8 906 660 11 44, e-mail: eco-nauka@yandex.ru.

Бурнашов Михаил Анатольевич, д-р. техн. наук, профессор кафедры КТОМП, Орловский государственный университет, Россия, г. Орел, Комсомольская, 95, тел.: 8 4862 423337, e-mail: arshin721@yandex.ru.

Степанов Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, Орловский государственный университет, 302026, г. Орел, Комсомольская, 95, тел.: 89192093790, e-mail: yury057@yandex.ru.

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN AEROSPACE AND POWER MECHANICAL ENGINEERING

Stepanova E.Yu., Burnashov M.A., Stepanov Yu.S.
Russia, Orel, Orel State University

Innovative additive production technologies are a world trend. The importance and examples of their application in aerospace and power engineering, tactics of large foreign companies are shown. There is a need to consolidate the efforts of all developers and consumers of additive technologies.

Keywords: innovation, additive manufacturing; laser metal fusion; laser metal deposition; turbine blade.

Bibliography

1. Stepanova, E.Ju. Vysokie tehnologii v innovacionnoj jekonomike / E.Ju. Stepanova, L.I. Polandova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2007. – № 3. – S. 156-167.
2. Stepanova, E.Ju. Jeksportnye ogranichenija SSHa i ES kak stimul k razvitiju naukoemkih i vysokotehnologichnyh sektorov jekonomiki / E.Ju. Stepanova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. – № 3 (305). – S. 96-103.
3. Stepanova, E.Ju. Additivnye tehnologii kak proryvnye innovacii resursosberezhenija 21 veka / E.Ju. Stepanova // Jenergo- i resursosberezhenie-XXI vek: XIII mezhdunar. nauch.-prakt. Internet-konf. (15 marta-30 ijunja 2015 g., g. Orel). Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2015. – S. 124-128.
4. Stepanova, E.Ju. Perspektivy primenenija 3D-innovacij v avtomobil'noj promyshlennosti / E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov, E.A. Zbinjakova // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2016. – № 1(49). – S. 60-66.
5. Stepanova, E.Ju. Additivnye tehnologii - tehnologičeskie prioritety mirovoj i oteče-stvennoj jekonomiki / E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov // Novye reshenija v oblasti uprochnjajushhih tehnologij: vzgljad molodyh specialistov: sbornik nauchnyh statej. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii. Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. – 2016. – S. 291-294.
6. Stepanova, E.Ju. Proryvnye tehnologii novogo pokolenija formoobrazovanija prostran-stvenno-slozhnyh poverhnostej naukoemkih izdelij / E.Ju. Stepanova, G.V. Barsukov, Ju.S. Stepanov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehničeskie nauki. – 2016. – № 8-2. – S. 243-249.

7. Stepanova, E.Ju. Vlijanie additivnyh tehnologij na jekonomiku naukoemkih otraslej promyshlennosti: rol' mnogourovnevnyh integrirovannyh kompanij / E.Ju. Stepanova // Jekonomicheskie i gumanitarnye nauki. – 2016. – №1 (288). – S. 54-64.
8. Dovbysh, V.M. Additivnye tehnologii i izdelija iz metalla / V.M. Dovbysh, P.V. Zabed-nov, M.A. Zlenko. - Rezhim dostupa: http://nami.ru/upload/AT_metall.pdf (data obrashhenija 04.05.2017).
9. <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2014/passazhiry-samoletov-budushchego-budut-naslazhdatsya-panoramnymi-vidami> (data obrashhenija 05.05.2017).
10. Belkin, V.A. K probleme povyshenija toplivnoj jeffektivnosti grazhdanskih samoletov /V.A. Belkin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – 2015. – № 219. – S. 121-126.
11. <http://proektoria.online/projects/snizhenie-obshhej-massy-samoleta> (data obrashhenija 05.05.2017).
12. Boeing nachnet pechat' titanovykh detalej dlja samoletov na 3D printere. <http://incruussia.ru/news/boeing-nachnet-pechat-titanovykh-detaley-dlya-samoletov-na-3d-printere>.
- 13 Kombinirovannye lazernye additivnye tehnologii proizvodstva lopatok turbin slozh-noj geometricheskoj formy / B. Graf, S.Je. Gook, A.V. Gumenjuk, M. Retmajer // Global'naja jadernaja bezopasnost'. – 2016. – №3(20). – S. 34–42.
- 14 Siemens strengthens footprint in Additive Manufacturing. - <https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/2016/power-gas/pr2016080358pgen.htm> (data obrashhenija 05.05.2017).
15. Breakthrough with 3D printed Gas Turbine Blades. <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html> (data obrashhenija 05.05.2017).
- 16 Martin LaMonica. GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts // MIT Technology Rewiew. <https://www.technologyreview.com/s/513716/additive-manufacturing/> (data obrashhenija 05.05.2017).
17. <http://www.industrial-lasers.com/articles/2014/01/mitsubishi-moves-into-laser-additive-manufacturing-with-matsuura-partnership.html> (data obrashhenija 05.05.2017).
18. <https://www.aex.ru/news/2017/3/16/167430/> (data obrashhenija 05.05.2017).

Stepanova Elena Yurievna, candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Orel State University 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95, Tel.: 8 906 660 11 44, e-mail: eco-nauka@yandex.ru.

Burnashov Michael Anatolyevich, Doctor of Technical Science, Associate Professor, Orel State University, 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95, Tel.: 8 4862 423337, e-mail: arshin721@yandex.ru.

Stepanov Yury Sergeevich, Doctor of Technical Science, Professor Orel State University, 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95, Tel.: 89192093790, E-mail: yury057@yandex.ru.

УДК 621.787.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫМ ЛОКАЛЬНЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядунов И.М.
Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрен подход к автоматизации проектирования технологических процессов упрочняющей обработки пластическим деформированием в условиях комплексного локального нагружения очага деформации. Показаны преимущества применения излагаемого подхода к решению такого рода задач.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, пластическое деформирование, комплексное локальное нагружение очага деформации, интенсивное пластическое деформирование, наноматериалы.

Разработка и последующее внедрение новых методов упрочняющей обработки сопряжено с определёнными проблемами, такими, как потребность в проведении научных исследований, необходимость испытаний на практике с последующим анализом

полученных данных и возможной корректировкой, а также разработка и оптимизация методики проектирования технологического процесса (ТП).

Одним из таких методов является упрочняющая обработка пластическим деформированием в условиях комплексного локального нагружения очага деформации [1-18]. Он позволяет обрабатывать как простые, так и фасонные изделия сложной формы, а так же выполнять обработку материалов, трудно упрочняемых или неупрочняемых пластическим деформированием. Таким материалом является сплав БрОЦС 5-5-5, применяемый для изготовления вкладышей подшипников скольжения. При этом отдельно следует отметить, что ряд исследований [19-30] показал, что упрочняющая обработка данным методом позволяет не только добиться эффекта наклёпа, как это бывает при упрочнении классическими методами, но также одновременно происходит формирование субмикро- и наноструктуры обрабатываемого изделия с её градиентным изменением при переходе от обработанной к необработанной зоне. Это позволит увеличить ресурс работы и несущую способность изделий, подвергшихся обработки данным методом при сохранении или уменьшении массы и габаритов, что в свою очередь обеспечивает сокращение материальных затрат на производство.

На данный момент имеются данные, подтверждающие наличие положительной динамики эволюции свойств обрабатываемого материала данным методом, однако отсутствует методика проектирования подобных технологических процессов.

Условно проектирование технологических процессов можно разбить на две стадии: выбор технологических параметров и проектирование технологической оснастки. Как правило, на данный момент каждый из указанных этапов выполняется отдельно вручную или же в отдельном специализированном программном обеспечении (ПО). Перспективным является совмещение приведённых этапов в едином программном комплексе.

Учитывая то, что два указанных этапа не связаны между собой, то допускается их параллельная обработка (рисунок 1).



Рисунок 1 – Связь этапов проектирования технологического процесса

Работа на этапе определения технологических параметров возможна по схеме, представленной в работе [31] (рисунок 2). Однако данный способ в условиях действующего производства является малоэффективным и предпочтительнее его

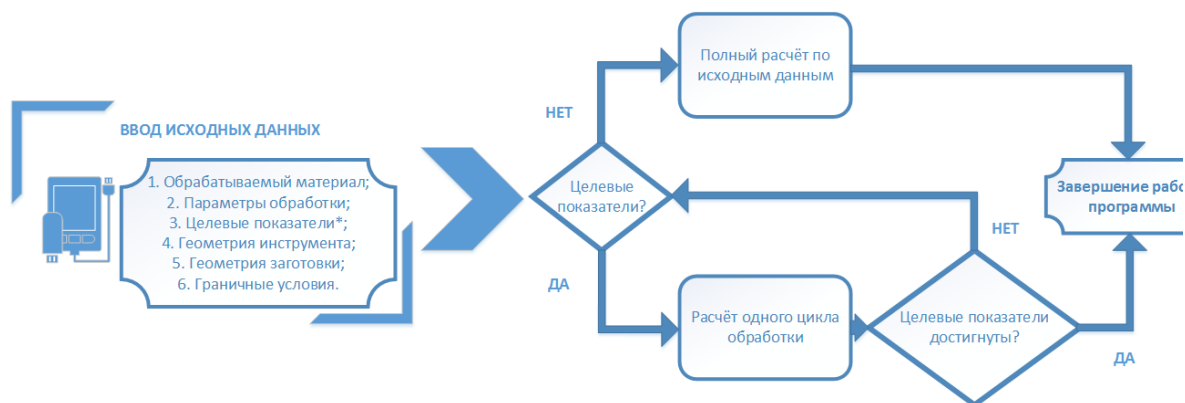


Рисунок 2 – Решение технологической задачи с применением математического моделирования

применять для формирования номограмм, которые можно применить как для ручного, так и для автоматизированного определения технологических параметров. Пример такой номограммы, составленный для сплава БрОЦС 5-5-5 приведён на рисунке 3. Номограмма сочетает в себе два типа графиков: значений микротвёрдости (толстые кривые линии) и графиков количества циклов обработки (пунктирная кривая линия). При этом графики объединены общей ангулярной шкалой.

Кроме этого современные САПР позволяют создавать цифровые информационные модели, обладающие возможностью быстрого изменения в соответствии с новыми требованиями [32].

Используя этот механизм, на основе прототипов [33-42] создана параметрическая модель технологической оснастки (рисунок 4), способной изменяться под требования пользователя без явного вмешательства в геометрию модели. Т.е. пользователь задаёт только основные параметры, такие, как длину заготовки и рабочий диаметр. Остальные размеры рассчитываются на основе введенных данных.

Отметить следйет также и тот момент, что все детали сборки между собой связаны не только числовыми, но и геометрическими зависимостями, что, в значительной степени, упрощает не только процесс перестроения модели, но и её проектирования.

Отдельно следует отметить, что оба рассмотренных процесса – конструкторский и технологический реализованы в едином программном комплексе – системе автоматизированного проектирования T-FLEXCAD. На основе этого можно заключить, что создана мини-САПР, позволяющая эффективно проектировать технологические процессы упрочняющей обработки пластическим деформированием в условиях комплексного локального нагружения очага деформации. Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке молодых российских ученых-кандидатов наук № МК-6156.2016.8 «Разработка научно-

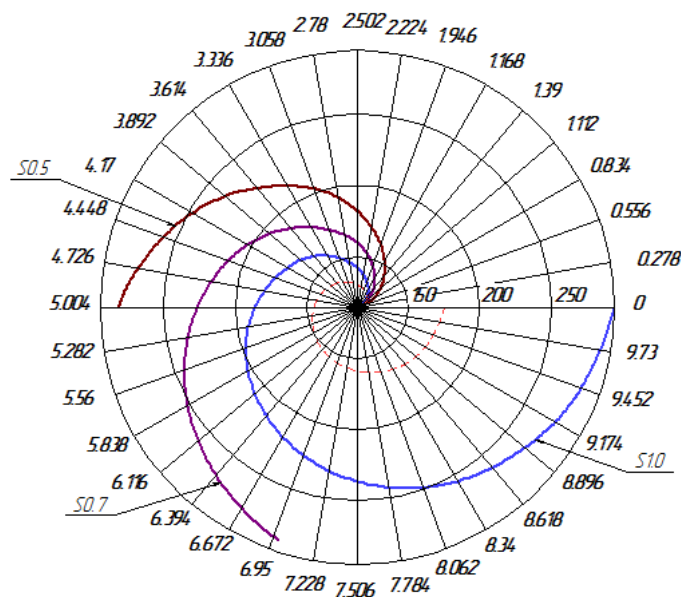


Рисунок 3 – Номограмма выбора параметров технологического процесса

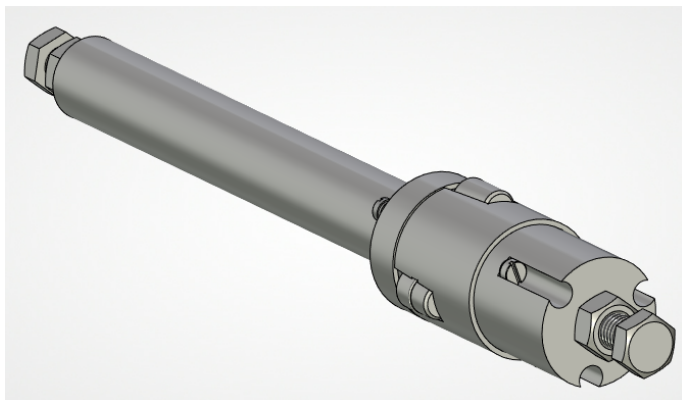


Рисунок 4 – Цифровая модель технологической оснастки

обоснованной методики проектирования технологических процессов упрочняющей обработки комплексным локальным деформированием для формирования заданных механических свойств изделия».

Список литературы

1. Голенков, В.А. Научные основы упрочнения комплексным локальным деформированием [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, Г.П. Короткий. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2013. – 122 с.
2. Голенков, В.А. Классификация процессов комплексного локального деформирования [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. – № 6. – С. 85-89.
3. Голенков, В.А. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2011. – № 1. – С. 59-62.
4. Голенков, В.А. К вопросу о повышении эксплуатационных характеристик полых осесимметричных деталей машин методами интенсивной пластической деформации/ Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядун И.М. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 6. – С. 71-77.
5. Голенков, В.А. Формирование градиентных субмикро- и наноструктурных состояний комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2009. – №3. – С. 54-56.
6. Child D.J. Assessment of Surface Hardening Effects from Shot Peening on a Ni-based Alloy using Electron Backscatter Diffraction Techniques [Text] / D.J. Child, G.D. West, R.C. Thomson // *Acta Mater*. 2011. – №59. – PP. 4825-4834. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2011.04.025>.
7. Cho K.T. Surface Hardening of Aluminum Alloy by Shot Peening Treatment with Zn Based Ball [Text] / K.T. Cho, K. Song, S.H. Oh, Y.K. Lee, K.M. Lim, W.B. Lee // *Mater Sci Eng A*. 2012. – №543. – PP. 44-49. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.02.043>.
8. Bagheri S. Review of Shot Peening Processes to obtain Nanocrystalline Surfaces in Metal Alloys [Text] / S. Bagheri, M. Guagliano // *Surf Eng*. 2009. – №25. – PP. 3-14. URL: <http://dx.doi.org/10.1179/026708408X334087>.
9. Dai K. Comparison between Shot Peening and Surface Nanocrystallization and Hardening Processes [Text] / K. Dai, L. Shaw // *Mater Sci Eng A*. 2007. – №463. – PP. 46-53. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2006.07.159>.
10. Tadic B. Using Specially Designed High-stiffness Burnishing Tool to Achieve High-quality Surface Finish [Text] / P. Todorovic, O. Luzanin, D. Miljanic, B. Jeremic, B. Bogdanovic, D. Vukelic // *Int J. Adv Manuf Technol*. 2013. – №67. – PP. 601-611. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4508-2>.
11. Akkurt A. Comparison of Roller Burnishing Method with Other Hole Surface Finishing Processes Applied on AISI 304 Austenitic Stainless Steel [Text] // *J. Mater Eng Perf*. 2011. – №20. – PP. 960- 968. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11665-010-9718-x>.
12. Hamadache H. Improvement of Surface Conditions of 36 Cr Ni Mo 6 Steel by Ball Burnishing Process [Text] / H. Hamadache, Z. Zemouri, L. Laouar, S. Dominiak // *J. Mech Sci Technol*. 2014. – №28. – PP. 1491-1498. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-014-0135-1>.
13. Akkurt A. Comparison of Roller Burnishing and Other Methods of Finishing Treatment of the Surface of Openings in Parts from Tool Steel d3 for Cold Forming [Text] // *Met Sci Heat Treat*. 2011. – №53. – PP. 145-150. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11041-011-9358-2>.

14. Abrão A.M. Surface and Subsurface Alterations Induced by Deep Rolling of Hardened AISI 1060 Steel [Text] / A.M. Abrão, B. Denkena, B. Breidenstein, T. Mörke // *Prod Eng Res Devel online*. 2014. – №27. – PP. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11740-014-0539-x>.
15. Xie J. Microstructure Characteristics of 30CrMnSiNi2A Steel After Ultrasound-Aided Deep Rolling [Text] / J. Xie, Y. Zhu, Y. Huang, C. Bai, X. Ye // *J Mater Eng Perf*. 2013. – №22. – PP. 1642-1648. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11665-012-0459-x>.
16. Guan R. Microstructure and Properties of A2017 Alloy Strips Processed by a Novel Process by Combining Semisolid Rolling, Deep rolling, and Heat Treatment [Text] / R. Guan, X. Wang, Z. Zhao, W. Wang, F. Cao, C. Liu // *Int. J. Miner Metall. Mater.* 2013. – №20. – PP. 770-778. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12613-013-0795-3>.
17. Nalla R.K. On the Influence of Mechanical Surface Treatments – Deep Rolling and Laser Shock Peening – on the Fatigue Behavior of Ti–6Al–4V at Ambient and Elevated Temperatures [Text] / R.K. Nalla, I. Altenberger, U. Noster, G.Y. Liu, B. Scholtes, R.O. Ritchie // *Mater Sci Eng A*. 2003. – №355. – PP. 216-230. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00069-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00069-8).
18. Juijerm P. Effect of High-Temperature Deep Rolling on Cyclic Deformation Behavior of Solution-Heat-Treated Al–Mg–Si–Cu alloy [Text] / P. Juijerm, I. Altenberger // *J Script Materialia*. 2007. – №56. – PP. 285- 288. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.10.017>.
19. Голенков, В.А. Перспективы применения технологии «валковая штамповка» для получения градиентных субмикро- и наноструктурных материалов [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов. // *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2008. – С.123-128.
20. Голенков, В.А. Создание градиентных структур на основе метода валковой штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»*, № 3/275(561). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С.42-46.
21. Голенков, В.А. Научно-технологическая обработка давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // *Научно-технологические технологии в машиностроении*. 2011. – № 3. – С. 31-37.
22. Дорохов, Д.О. Управляемое формирование механических свойств в изделиях методом комплексного локального деформирования [Текст] / Д.О. Дорохов // *Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»*. – Орел: ОрелГТУ, № 4(288). – Орел, ОрелГТУ – 2011г. – С 31-37.
23. Грядун, Игорь Михайлович. Упрочнение деталей типа втулок интенсивной пластической деформацией в условиях комплексного локального нагружения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.09 / Грядун Игорь Михайлович; [Место защиты: Гос. ун-т - учебно-научно-произв. комплекс].- Орел, 2013.- 149 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-5/300
24. Голенков, В.А. Создание градиентных наноструктур в осесимметричных изделиях [Текст] / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Наноинженерия*. – 2012. – № 5. – С. 18-22.
25. Радченко С.Ю. Новые технологические схемы упрочняющей обработки вкладышей подшипников скольжения в условиях комплексного локального нагружения очага деформации [Текст] / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // *Мир транспорта и технологических машин*. 2014. № 4 (47). С. 47-54.
26. Радченко С.Ю. Перспективы применения технологии комплексного локального деформирования для упрочнения подшипников скольжения коленчатого вала / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, А.А. Кисловский // *Мир транспорта и технологических машин*. 2015. № 3. С. 35-46.
27. Radchenko S.Yu. The volumetric surface hardening of hollow axisymmetric parts by roll stamping method [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2015. – №50. – PP. 104-112.
28. Gryadunov I.M. Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling - Burnishing Process [Text] / I.M. Gryadunov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, P.G. Morrev // *Modern Applied Science*. 2015. – №9. – PP. 251-258.
29. Golenkov V.A. Hardening process by complex local deformation investigation [Text] / V.A. Golenkov, S.J. Radchenko, I.M. Gryadunov // *Material Science Forum*. 2016. – Vol. 870. – PP. 149-158.

30. Golenkov V.A. Microhardness Distribution in the Cross-section in Case of Strain Hardening under Combined Local Load [Text] / V.A. Golenkov, S.J. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Gryadunov // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. – Vol.11. – PP. 10315-10320.

31. Радченко С.Ю. Подход к решению конструкторской задачи проектирования технологического процесса упрочняющей обработки комплексным локальным деформированием [Текст] / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // В сборнике: Проблемы и перспективы развития науки в мире. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 2 частях. – 2017. – С. 144-149.

32. Радченко С.Ю. Подход к построению методики проектирования технологических процессов упрочняющей обработки комплексным локальным деформированием [Текст] / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 2 (322). С. 96-105.

33. Патент РФ 2542210, В24В 39/02. Устройство для деформационного упрочнения внутренней поверхности полых осесимметричных заготовок / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун; Патентообладатель ФГБОУ ВО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». №2013145169/02; заявл. 08.10.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. №5.

34. Патент РФ 2340423 В21Н 1/22, В82В 3/00. Способ получения металлических втулок / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, В.Г. Малинин, Г.П. Короткий, Д.О. Дорохов; Патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». №2007110990/02; заявл. 26.03.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. №34.

35. Патент РФ 2387514, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллической структурой / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; Патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». №2008146756/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.

36. Патент РФ 2389580 В21D 51/02, С21D 7/04, В82В 3/00. Способ получения металлических втулок с градиентным субмикро- и нанокристаллическим состоянием материала / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; Патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». №2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14.

37. Патент РФ 2462327 В21Н 1/22, В24В 39/02, С21D 7/04, В82В 3/00. Способ получения металлических втулок с градиентно-упрочненной структурой / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, И.М. Грядун; Патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». №2010153917/02; заявл. 27.12.2010; опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.

38. Патент РФ 2542210 В24В 39/02. Устройство для деформационного упрочнения внутренней поверхности полых осесимметричных заготовок / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун; Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; №2013145169/02; заявл. 08.10.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. №5

39. Патент РФ 2551745 В21Н 1/22, В82В 3/00. Устройство для упрочнения металлических трубных изделий / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун; Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; №2013146676/02; заявл. 18.10.2013; опубл. 27.05.2015, Бюл. №15.

40. Патент РФ 2551749 В21Н 1/22. Устройство для упрочнения металлических втулок / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун; Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; №2013146677/02; заявл. 18.10.2013; опубл. 27.05.2015, Бюл. №15.

41. Патент РФ 2589959 В24В 39/02. Устройство для деформационного упрочнения внутренней поверхности сквозных отверстий / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун, А.А. Кисловский; Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; №2014144658/02; заявл. 05.11.2014; опубл. 10.07.2016, Бюл. №19.

42. Патент РФ 2584103 В21Н 1/22, В24В 39/00. Способ упрочнения металлических втулок с нагревом / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун, А.А. Кисловский; Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; №2014126788/02; заявл. 01.07.2014; опубл. 20.05.2016, Бюл. №14.

Радченко Сергей Юрьевич, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, д-р техн. наук, профессор, и.о. проректора по научной работе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», e-mail: sur@ostu.ru.

Дорохов Даниил Олегович, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», e-mail: ddostu@mail.ru.

Грядунев Игорь Михайлович, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», e-mail: fry14@yandex.ru.

HARDENING PROCESS BY COMPLEX LOCAL DEFORMATION TECHNOLOGY DESIGN AUTOMATIZATION

Radchenko S.J., Dorokhov D.O., Gryadunov I.M.

Russia, Orel, OSU named after I.S. Turgenev

At the article the approach to hardening process by plastic deformation in complex local loading of deformation zone conditions has reviewed. The advantages of this method application to solve that kind of problems has shown.

Keywords: processing of metals by pressure, plastic deformation, complex local loading of deformation zone, intensive plastic deformation, nanomaterials.

Bibliography

1. Golenkov V.A. Nauchnie osnovi uprochneniya kompleksnim lokalnim deformirovaniem [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, G.P. Korotky. – M.: ООО «Izdatelstvo Mashinostroeniya», Orel: FGBOU VO «Gosudarstvenniy Universitet – Uchebno-Nauchno-Proizvodstvenniy Kompleks». – 2013. – 122 p.
2. Golenkov V.A. Klassifikatsiya processiv kompleksnogo lokalnogo deformirovaniya [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Fundamentalnie i prikladnie problemi tekhniki i tekhnologii. 2010. – №6. – PP. 85-89.
3. Golenkov V.A. Analiz vidov uprochnyayushey obrabotki plasticheskimi deformirovaniem [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Fundamentalnie i prikladnie problemi tekhniki i tekhnologii. 2011. – №1. – PP. 59-62.
4. Golenkov V.A. K voprosu o povyshenii ekspluatatsionnykh harakteristik polih osesimmetrichnykh detaley mashin metodami intensivnoy plasticheskoy deformatsii [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, and I.M. Gryadunov // Fundamentalnie i prikladnie problemi tekhniki i tekhnologii. 2012. – №6. – PP. 71-77.
5. Golenkov V.A. Formirovaniye gradientnykh submikro- i nanostrukturnykh sostoyaniy kompleksnim lokalnim nagruzheniem ochaga deformatsii [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // Uprochnyayuschie tekhnologii i pokritiya. 2009. – №3. – PP. 54-56.
6. Child D.J. Assessment of Surface Hardening Effects from Shot Peening on a Ni-based Alloy using Electron Backscatter Diffraction Techniques [Text] / D.J. Child, G.D. West, R.C. Thomson // Acta Mater. 2011. – №59. – PP. 4825-4834. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2011.04.025>.
7. Cho K.T. Surface Hardening of Aluminum Alloy by Shot Peening Treatment with Zn Based Ball [Text] / K.T. Cho, K. Song, S.H. Oh, Y.K. Lee, K.M. Lim, W.B. Lee // Mater Sci Eng A. 2012. – №543. – PP. 44-49. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.02.043>.
8. Bagheri S. Review of Shot Peening Processes to obtain Nanocrystalline Surfaces in Metal Alloys [Text] / S. Bagheri, M. Guagliano // Surf Eng. 2009. – №25. – PP. 3-14. URL: <http://dx.doi.org/10.1179/026708408X334087>.
9. Dai K. Comparison between Shot Peening and Surface Nanocrystallization and Hardening Processes [Text] / K. Dai, L. Shaw // Mater Sci Eng A. 2007. – №463. – PP. 46-53. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2006.07.159>.
10. Tadic B. Using Specially Designed High-stiffness Burnishing Tool to Achieve High-quality Surface Finish [Text] / P. Todorovic, O. Luzanin, D. Miljanic, B. Jeremic, B. Bogdanovic, D. Vukelic // Int J. Adv Manuf Technol. 2013. – №67. – PP. 601-611. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4508-2>.

11. Akkurt A. Comparison of Roller Burnishing Method with Other Hole Surface Finishing Processes Applied on AISI 304 Austenitic Stainless Steel [Text] // J. Mater Eng Perf. 2011. – №20. – PP. 960-968. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11665-010-9718-x>.
12. Hamadache H. Improvement of Surface Conditions of 36 Cr Ni Mo 6 Steel by Ball Burnishing Process [Text] / H. Hamadache, Z. Zemouri, L. Laouar, S. Dominiak // J. Mech Sci Technol. 2014. – №28. – PP. 1491-1498. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-014-0135-1>.
13. Akkurt A. Comparison of Roller Burnishing and Other Methods of Finishing Treatment of the Surface of Openings in Parts from Tool Steel d3 for Cold Forming [Text] // Met Sci Heat Treat. 2011. – №53. – PP. 145-150. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11041-011-9358-2>.
14. Abrão A.M. Surface and Subsurface Alterations Induced by Deep Rolling of Hardened AISI 1060 Steel [Text] / A.M. Abrão, B. Denkena, B. Breidenstein, T. Mörke // Prod Eng Res Devel online. 2014. – №27. – PP. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11740-014-0539-x>.
15. Xie J. Microstructure Characteristics of 30CrMnSiNi2A Steel After Ultrasound-Aided Deep Rolling [Text] / J. Xie, Y. Zhu, Y. Huang, C. Bai, X. Ye // J Mater Eng Perf. 2013. – №22. – PP. 1642-1648. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11665-012-0459-x>.
16. Guan R. Microstructure and Properties of A2017 Alloy Strips Processed by a Novel Process by Combining Semisolid Rolling, Deep rolling, and Heat Treatment [Text] / R. Guan, X. Wang, Z. Zhao, W. Wang, F. Cao, C. Liu // Int. J. Miner Metall. Mater. 2013. – №20. – PP. 770-778. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12613-013-0795-3>.
17. Nalla R.K. On the Influence of Mechanical Surface Treatments – Deep Rolling and Laser Shock Peening – on the Fatigue Behavior of Ti–6Al–4V at Ambient and Elevated Temperatures [Text] / R.K. Nalla, I. Altenberger, U. Noster, G.Y. Liu, B. Scholtes, R.O. Ritchie // Mater Sci Eng A. 2003. – №355. – PP. 216-230. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00069-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00069-8).
18. Juijerm P. Effect of High-Temperature Deep Rolling on Cyclic Deformation Behavior of Solution-Heat-Treated Al–Mg–Si–Cu alloy [Text] / P. Juijerm, I. Altenberger // J Script Materialia. 2007. – №56. – PP. 285-288. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.10.017>.
19. Golenkov V.A. Perspektivi primeneniya tehnologii «Valkovaya shtampovka» dlya polucheniya gradientnih submikro- i nanostrukturnih materialov [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // Izvestiya TulGU: Tehnicheskie nauki. 2008. – №2. – PP. 123-128.
20. Golenkov V.A. Sozdanie gradientnih struktur na osnove metoda valkovoy shtampovki [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorokhov // Izvestiya OrelGTU: Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii. 2008. – №3. – PP. 42-46.
21. Golenkov V.A. Naukoyomkaya tehnologiya obrabotki davleniem s kompleksnim lokalnim nagruzheniem ochaga deformacii [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov // Naukoyomkie tehnologii v mashinostroenii. 2011. – №3. – PP. 31-37.
22. Dorokhov D.O. Upravlyaemoe formirovanie mehanicheskikh svoystv v izdeliyah metodom kompleksnogo lokalnogo deformirovaniya [Text] // Izvestiya OrelGTU: Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii. 2011. – №4. – PP. 31-37.
23. Gryadunov I.M. Uprochnenie detaley tipa vtulok intensivnoy plasticheskoy deformatsiyey v usloviyah kompleksnogo lokalnogo nagruzheniya : dissertatsiya ... kandidata tehnikeskikh nauk : 05.02.09 / Gryadunov Igor Mihailovich; [Mesto zaschiti: Gos. Un-t – uchebno-nauchno-proizvodstvennyi kompleks]. – Orel, - 149 p.: il. RGB OD, 61 14-5/300.
24. Golenkov V.A. Sozdanie gradientnih nanostruktur v osesimmetrichnih izdeliyah [Text] / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Nanoinzheneriya. 2012. – №5. – PP. 18-21.
25. Radchenko S.Yu. Novie tehnologicheskie shemi uprochnyayushey obrabotki vkladishey podshipnikov skolzheniya v usloviyah kompleksnogo lokalnogo nagruzheniya ochaga deformacii [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Mir transporta I tehnologicheskikh mashin. 2014. – №4. – PP. 47-54.
26. Radchenko S.Yu. Perspektivi primeneniya tehnologii kompleksnogo lokalnogo deformirovaniya dlya uprochneniya podshipnikov skolzheniya kolenchatogo vala [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, A.A. Kislovsky // Mir transporta I tehnologicheskikh mashin. 2015. – №3. – PP. 35-46.
27. Radchenko S.Yu. The volumetric surface hardening of hollow axisymmetric parts by roll stamping method [Text] / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015. – №50. – PP. 104-112.

28. Gryadunov I.M. Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling - Burnishing Process [Text] / I.M. Gryadunov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, P.G. Morrev // *Modern Applied Science*. 2015. – №9. – PP. 251-258.
29. Golenkov V.A. Hardening process by complex local deformation investigation [Text] / V.A. Golenkov, S.J. Radchenko, I.M. Gryadunov // *Material Science Forum*. 2016. – Vol. 870. – PP. 149-158.
30. Golenkov V.A. Microhardness Distribution in the Cross-section in Case of Strain Hardening under Combined Local Load [Text] / V.A. Golenkov, S.J. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. – Vol.11. – PP. 10315-10320.
31. Radchenko S.J. Podhod k resheniyu konstruktorskoj zadachi proektirovaniya technologicheskogo processa uprochnyayushey obrabotki kompleksnim localnim deformirovaniem [Text] / S.J. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // *V sbornike: PROBLEMI I PERSPECTIVI RAZVITIYA NAUKI V ROSSII I MIRE. Sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii: v 2 chastyah*. 2017. PP. 144-149.
32. Radchenko S.J. Podhod k postroeniya metodiki proektirovaniya technologicheskikh processov uprochnyayushey obrabotki kompleksnim localnim deformirovaniem [Text] / S.J. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov // *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki iologii*. 2017. № 2 (322). PP. 96-105.
33. Patent RF 2542210, B24B 39/02. Ustroystvo dlya deformacionnogo uprochneniya vnutrenney poverhnosti polih osesimmetrichnih zagotovok / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov; Patentobladatel FGBOU VO «State University Education-Science-Production Complex». №2013145169/02; zayavl. 08.10.2013; opubl. 20.02.2015, Bul. №5.
34. Patent RF 2340423 B21H 1/22, B82B 3/00. Sposob polucheniya metallicheskih vtulok / V.A. Golenkov, V.G. Malinin, S.Yu. Radchenko, G.P. Korotky, D.O. Dorokhov; Patentobladatel GOU VPO «Orel State Technical University». №2007110990/02; zayavl. 26.03.2007; opubl. 10.12.2008, Bul. №34.
35. Patent RF 2387514, B21D 51/02. Sposob polucheniya metallicheskih vtulok s gradientnoy submikro- i nanokristallicheskoj strukturoy / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov; Patentobladatel GOU VPO «Orel State Technical University». №2008146756/02; zayavl. 26.11.2008; opubl. 27.04.2010, Bul. № 12.
36. Patent RF 2389580 B21D 51/02, C21D 7/04, B82B 3/00. Sposob polucheniya metallicheskih vtulok s gradientnim submikro- i nanokristallicheskim sostoyaniem materiala / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov; Patentobladatel GOU VPO «Orel State Technical University». №2008146754/02; zayavl. 26.11.2008; opubl. 20.05.2010, Bul. №14.
37. Patent RF 2462327 B21H 1/22, B24B 39/02, C21D 7/04, B82B 3/00. Sposob polucheniya metallicheskih vtulok s gradientno-uprochnennoy strukturoy / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, I.M. Gryadunov; Patentobladatel GOU VPO «Orel State Technical University». №2010153917/02; zayavl. 27.12.2010; opubl. 27.09.2012, Bul. №27.
38. Patent RF 2542210 B24B 39/02. Ustroystvo dlya deformacionnogo uprochneniya vnutrenney poverhnosti polih osesimmetrichnih zagotovok / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov; Patentobladatel FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks»; №2013145169/02; zayavl. 08.10.2013; opubl. 20.02.2015, Bul. №5.
39. Patent RF 2551745 B21H 1/22, B82B 3/00. Ustroystvo dlya uprochneniya metallicheskih trubnih izdeliy / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov; Patentobladatel FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks»; №2013146676/02; zayavl. 18.10.2013; opubl. 27.05.2015, Bul. №15.
40. Patent RF 2551749 B21H 1/22. Ustroystvo dlya uprochneniya metallicheskih vtulok / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov; Patentobladatel FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks»; №2013146677/02; zayavl. 18.10.2013; opubl. 27.05.2015, Bul. №15.
41. Patent RF 2589959 B24B 39/02. Ustroystvo dlya deformacionnogo uprochneniya vnutrenney poverhnosti skvoznih otverstiy / S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov, A.A. Kislovsky; Patentobladatel FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks»; №2014144658/02; zayavl. 05.11.2014; opubl. 10.07.2016, Bul. №19.
42. Patent RF 2584103 B21H 1/22, B24B 39/00. Sposob uprochneniya metallicheskih vtulok s nagrevom / V.A. Golenkov, S.Yu. Radchenko, D.O. Dorokhov, I.M. Gryadunov, Kislovsky A.A.; Patentobladatel FGBOU VO «Gosudarstvennyy universitet – uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks»; №2014126788/02; zayavl. 01.07.2014; opubl. 20.05.2016, Bul. №14.

Radchenko Sergey Yurievich, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, doctor of technical sciences, professor, acting Vice-rector on scientific work, E-mail: sur@ostu.ru

Dorokhov Daniil Olegovich, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department «Technology of mechanical engineering» of Orel State University named after I.S. Turgenev, e-mail: ddostu@mail.ru

Gryadunov Igor Mihailovich, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department «Technical mechanics and engineering graphics» of Orel State University named after I.S. Turgenev, e-mail: fry14@yandex.ru

УДК 621.333

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СРЕДСТВАМИ РЕАКТИВНОГО РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В.

Россия, Санкт-Петербург, Институт химии силикатов РАН

Кручинина И.Ю.

Россия, Санкт-Петербург, Институт химии силикатов РАН,

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»*

В докладе обоснованы преимущества перехода подвижного состава городского электротранспорта на новый, более прогрессивный тяговый реактивный регулируемый привод. Принципы блочно-модульного проектирования позволяют сохранить установочно-присоединительные размеры применяемых асинхронных двигателей и минимизировать производственные и финансовые затраты. При использовании реактивного регулируемого привода обеспечивается энергосбережение не только за счет более высокого КПД привода, но и за счет снижения затрат на его производство.

Ключевые слова: вентильно-индукторный электродвигатель, тяговый привод, метро, троллейбус, блочно-модульное проектирование, энергосбережение

Современная тенденция энергосбережения во многих отраслях промышленности обусловила переход на технологии регулируемого электропривода, дающие заметный выигрыш как в энергосбережении, так и в весогабаритных показателях привода. Наряду с традиционным путем перехода – использованием частотно-регулируемого асинхронного электропривода – существует альтернатива в виде применения регулируемого реактивного электропривода (Switched Reluctance Drive, SRD). Перспективы применения реактивного регулируемого электропривода (РРП) на базе вентильно-индукторного двигателя (ВИД), несмотря на оптимистические оценки [1, 2], в нашей стране по-прежнему остаются нереализованными.

Лидером среди электротехнических фирм мира, занятых серийным выпуском ВИД, сегодня является японская компания Nidec Motor Corporation (NMC), которая приобрела американскую фирму Emerson Motor вместе с ее дочерними предприятиями, стоявшими у истоков производства вентильно-индукторного привода [3]. В настоящее время корпорация NMC выпускает различные промышленные ВИД, в том числе и по стандарту NEMA на базовые частоты вращения 1000, 1800, 3600 и 4500 мин⁻¹ мощностью 20–420 л.с.

В России для транспорта Новочеркасским электровозостроительным заводом (НЭВЗ) были изготовлены макетные образцы тяговых ВИД разных мощностей: 340 кВт – для безредукторного привода тепловоза с силовым преобразователем на тиристорах; 720 кВт – для привода тягового агрегата с силовым преобразователем на тиристорах; 350 кВт (тяговый двигатель НТИ-350) – для привода электропоезда на транзисторных IGBT-модулях производства фирмы Hitachi (Япония). Малым предприятием ООО «НПП

«Эмертон» в 2008 г. разработан комплект тягового вентильно-индукторного привода для двухосного троллейбуса мощностью 180 кВт [4].

Реактивный регулируемый привод (РРП) состоит из специальной электрической машины – вентильно-индукторного двигателя, электронного коммутатора на силовых транзисторных модулях, блока микропроцессорного управления и датчика положения ротора. Принципиальные преимущества РРП: высокие энергетические показатели и технологичность, низкая трудоемкость изготовления и себестоимость электродвигателя; более простые и надежные схема и конструкция силового коммутатора по сравнению с преобразователем частоты для асинхронного привода за счет однополярной коммутации; функциональные возможности для работы в широком диапазоне регулирования частоты вращения и для реализации больших моментов в зоне низких скоростей. Кроме того, ВИД имеет естественную механическую характеристику как двигатель постоянного тока последовательного возбуждения, что дает дополнительное преимущество при применении в тяговом электроприводе, для которого такая форма характеристики является оптимальной.

Известны недостатки ВИД: невозможность работы без электронного преобразователя и неприменимость теории вращающегося магнитного поля и хорошо разработанных на ее основе методов расчета вращающихся электрических машин. Многочисленными исследованиями второй недостаток практически преодолен. В России можно отметить коллективы МЭИ, ВЭЛНИИ, ЮРГТУ, НИИЭлектромаш и др., которые обладают необходимым потенциалом для создания РРП. Разработаны также алгоритмы управления, существенно снизившие пульсации электромагнитного момента.

Авторы считают весьма перспективными РРП для тягового привода городского транспорта и, обладая собственными алгоритмами и программами расчета, базирующимися на технологиях EXCEL, ELCUT и MATLAB, провели разработку тяговых вентильно-индукторных двигателей троллейбуса – ВИД-180-1485 (180 кВт, 550 В, 1485 мин⁻¹), вагонов метро – ВИД-160-1500 (160 кВт, 750 В, 1500 мин⁻¹), трамвая – ВИД-50-1500 (50 кВт, 275 В, 1500 мин⁻¹) [5-7]. Расчетные данные двигателей представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные данные ВИД городского транспорта.

		Троллейбус ВИД-180- 1485	Метро ВИД-160- 1500	Трамвай ВИД-50-1500
Мощность, кВт	P	180	160	50
Напряжение, В	U	550	750	275
Частота вращения, мин ⁻¹	n	1485	1500	1500
Номинальный вращающий момент, Нм	M	1157	1018	318
Число фаз обмотки статора	m	3	3	3
Число полюсов статора	N_s	12	12	12
Число зубцов ротора	N_r	8	8	8
Длина пакета статора, мм	L_{stk}	420	420	280
Внешний диаметр статора, мм	D_s	520	520	320
Диаметр расточки статора, мм	D_{sen}	361,2	361,2	220

Разработка выполнена на принципах блочно-модульного проектирования, применение которого обеспечивает минимум производственных и финансовых затрат при переходе на новый, более прогрессивный привод. При блочно-модульном проектировании двигателя выбирается базовый прототип освоенного промышленностью двигателя и сохраняются все необходимые узлы и детали (корпус, вал, подшипники, щиты и т.д.) за

исключением разработанных катушек статора, пакетов статора и ротора, а также небольшой доработки вала. Таким образом, ограничениями притякой разработке являются внешний диаметр пакета статора и внутренний диаметр пакета ротора, размеры которых необходимо сохранить при проектировании листов железа статора и ротора. С точки зрения стоимости преобразователя однозначное предпочтение следует отдать трехфазной схеме, вопрос о выборе числа полюсов статора и ротора рассмотрен в [7], где приведены оценки такого выбора для вентильно-индукторных двигателей вагонов метрополитена и троллейбуса.

Основными областями применения РРП кроме электрической тяги являются: замена электродвигателей постоянного и переменного тока, машин с автономным источником питания, асинхронных электродвигателей с фазным ротором; двигателей подъемно-транспортного оборудования с тяжелым режимом эксплуатации (скребковые, пластинчатые и ленточные конвейеры); безредукторный электропривод; высокоскоростные приводы без мультипликатора. Во всех этих областях при применении реактивного регулируемого привода будет обеспечено энергосбережение не только за счет более высокого КПД привода, но и за счет снижения затрат на его производство.

Список литературы

1. Ильинский, Н.Ф. Перспективы применения вентильно-индукторного электропривода в современных технологиях [Текст] / Н.Ф. Ильинский // Электротехника. – 1997. – №2. – С. 7-9.
2. Ахунов, Т.А. Вентильно-индукторный электропривод – перспективы применения [Текст] / Т.А. Ахунов, Л.Н. Макаров, М.Г. Бычков, Н.Ф. Ильинский // Приводная техника. – 2001. – №2. – С. 14-17.
3. Птах, Г.К. Вентильно-индукторный реактивный электропривод средней и большой мощности: зарубежный и отечественный опыт [Текст] / Г.К. Птах // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 2, №3. – С. 23-33.
4. Коломейцев, В.Л. Вентильно-индукторный электропривод троллейбуса [Текст] / В.Л. Коломейцев, С.А. Пахомин, Д.В. Крайнов, Л.С. Пахомин, А.И. Прокопец, Ф.А. Реднов // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – 2014. – С. 200-205.
5. Антипов, В.Н. Перспективные электромеханические преобразователи энергии для городского транспорта [Текст] / В.Н. Антипов, А.Д. Грозов // Межвуз. тематич. сб. науч. тр. Электромеханические преобразователи энергии. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 6-11.
6. Антипов, В.Н. Разработка базовых вентильно-индукторных электродвигателей тягового привода для городского электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус) [Текст] / В.Н. Антипов, А.Д. Грозов, А.В. Иванова // Сб. докладов научно-технической конференции АЭН РФ «Актуальные вопросы и перспективы развития электромашиностроения», Москва, 2015. – С. 102-109.
7. Антипов, В.Н. Исследование характеристик базовых вентильно-индукторных электродвигателей тягового привода городского электротранспорта [Текст] / В.Н. Антипов, А.Д. Грозов, А.В. Иванова // Электричество. – 2016. – №10. – С. 45-52.

Антипов Виктор Николаевич – д-р техн. наук, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (ИХС РАН), ведущий научный сотрудник. bht@mail.ru. (812)328-16-91.

Кручинина Ирина Юрьевна – д-р техн. наук, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (ИХС РАН), зам. директора; ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», доцент. ikruch@isc.nw.ru. (812)325-40-79.

Грозов Андрей Дмитриевич – Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (ИХС РАН), научный сотрудник. bht@mail.ru. (812)328-16-91.

Иванова Анна Владимировна – канд. физ.-мат. наук, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (ИХС РАН), старший научный сотрудник. iann57@mail.ru. (812)328-16-91.

ENERGY SAVING BY MEANS OF A SWITCHED RELUCTANCE DRIVE

Antipov V.N., Grozov A.D., Ivanova A.V.

Russia, St. Petersburg, Russian Academy of Sciences, Institute of Silicate Chemistry

Kruchinina I.Yu.

Russia, St. Petersburg, Russian Academy of Sciences, Institute of Silicate Chemistry, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The paper substantiates the benefits of a moving rolling stock of urban electric transport on a new, more progressive traction switched reluctance drive implementation. Principles of modular design give the possibility to save the installation-mounting dimensions apply for asynchronous motors and to minimize operational and financial costs. While using switched reluctance drive ensures energy savings, not only due to the higher drive efficiency, but also by reducing the cost of its production.

Key words: switch reluctance motor, traction drive, subway, trolley bus, block-module design, energy saving

Bibliography

1. Il'inskij, N.F. Perspektivy primeneniya ventil'no-indukturnogo ehlektroprivoda v sovremennykh tekhnologiyah [Tekst] / N.F. Il'inskij // EHlektrotekhnika. – 1997. – №2. – S. 7-9.
2. Ahunov, T.A. Ventil'no-indukturnyj ehlektroprivod – perspektivy primeneniya [Tekst] / T.A. Ahunov, L.N. Makarov, M.G. Bychkov, N.F. Il'inskij // Privodnaya tekhnika. – 2001. – №2. – S. 14-17.
3. Ptah, G.K. Ventil'no-indukturnyj reaktivnyj ehlektroprivod srednej i bol'shoj moshchnosti: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt [Tekst] / G.K. Ptah // EHlektrotekhnika: setevoy ehlektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2015. – T. 2, №3. – S. 23-33.
4. Kolomejcev, V.L. Ventil'no-indukturnyj ehlektroprivod trollejbusa [Tekst] / V.L. Kolomejcev, S.A. Pahomin, D.V. Krajnov, L.S. Pahomin, A.I. Prokopec, F.A. Rednov // Trudy VIII mezhdunarodnoj (XIX vserossijskoj) konferencii po avtomatizirovannomu ehlektroprivodu AEHP-2014. – 2014. – S. 200-205.
5. Antipov, V.N. Perspektivnye ehlektromekhanicheskie preobrazovateli ehnergii dlya gorodskogo transporta [Tekst] / V.N. Antipov, A.D. Grozov // Mezhvuz. tematich. sb. nauch. tr. EHlektromekhanicheskie preobrazovateli ehnergii. Omskij gos. un-t putej soobshcheniya. – Omsk, 2014. – S. 6-11.
6. Antipov, V.N. Razrabotka bazovykh ventil'no-indukturnykh ehlektroprivodov tyagovogo privoda dlya gorodskogo ehlektrotransporta (metro, tramvaj, trollejbus) [Tekst] / V.N. Antipov, A.D. Grozov, A.V. Ivanova // Sb. dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferencii AEHN RF «Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya ehlektromashinostroeniya», Moskva, 2015. – S. 102-109.
7. Antipov, V.N. Issledovanie harakteristik bazovykh ventil'no-indukturnykh ehlektroprivodov tyagovogo privoda gorodskogo ehlektrotransporta [Tekst] / V.N. Antipov, A.D. Grozov, A.V. Ivanova // EHlektrichestvo. – 2016. – №10. – S. 45-52.

Antipov Victor Nikolaevich– Dr. of Sciences (Engineering), Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences, Leading Researcher. bht@mail.ru. (812)328-16-91.

Kruchinina Irina Yurievna–Dr. of Sciences (Engineering), Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences, Deputy Director; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Associate Professor. ikruch@isc.nw.ru. (812)325-40-79.

Grozov Andrei Dmitrievich– Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences, Researcher. bht@mail.ru. (812)328-16-91.

Ivanova Anna V. – PhD (Phys.-Math.), Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences, Senior Researcher. iann57@mail.ru. (812)328-16-91.

СЕКЦИЯ №5. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Руководитель:

Ефимов Михаил Александрович кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орел

УДК 621:311

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Сошников А.А., Компанеец Б.С., Каменев А.О.

*Российская Федерация, г. Барнаул,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

Приведены зависимости расчетных значений токов однофазного короткого замыкания от различных параметров внешних и внутренних сетей низкого напряжения в АПК для выбора перспективных мероприятий, повышающих эффективность электрической защиты.

Ключевые слова: ток короткого замыкания, электрическая защита, параметры электрической сети.

В системах сельского электроснабжения существует проблема низкой эффективности защиты от аварийных режимов, обусловленная, прежде всего, низким уровнем токов однофазного короткого замыкания (КЗ) [1, 2].

Для решения этой проблемы может быть использован подход, отличный от настройки параметров защиты под расчетные значения аварийных токов и предусматривающий их увеличение до уровня, при котором зона срабатывания автоматических выключателей смещается к области чувствительности электромагнитных расцепителей (ЭР) [3]. С этой целью в процессе проектирования и реконструкции систем низковольтного электроснабжения могут быть рекомендованы одно или несколько из следующих мероприятий, позволяющих повысить токи КЗ [2, 3]:

- повышение мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использование силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-зигзаг» или «треугольник – звезда»;
- увеличение сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ;
- замена традиционных воздушных линий 0,38 кВ с неизолированными проводами подземными или воздушными кабелями (СИП);
- увеличение сечения алюминиевых проводов на участках внутренних электрических сетей;
- замена алюминиевых проводов на медные на участках внутренних электрических сетей.

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости расчетных значений токов однофазного КЗ в конце воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий внешней сети протяженностью 80 м и 900 м с алюминиевыми проводами сечением 25 мм² и 95 мм² при значениях мощности силового трансформатора 10/0,4 кВ потребительской подстанции от 100 кВА до 630 кВА. Индексом «Y» обозначается схема соединения вторичных обмоток силового трансформатора «звезда-звезда с нулем», а индексом «Z» - «звезда-зигзаг с нулем». В таблице 1 приведены результаты расчета токов удаленного однофазного КЗ во внутренней электрической сети при длине линий 30 м для медных и алюминиевых проводов сечением 4 мм² при различных параметрах внешней сети.

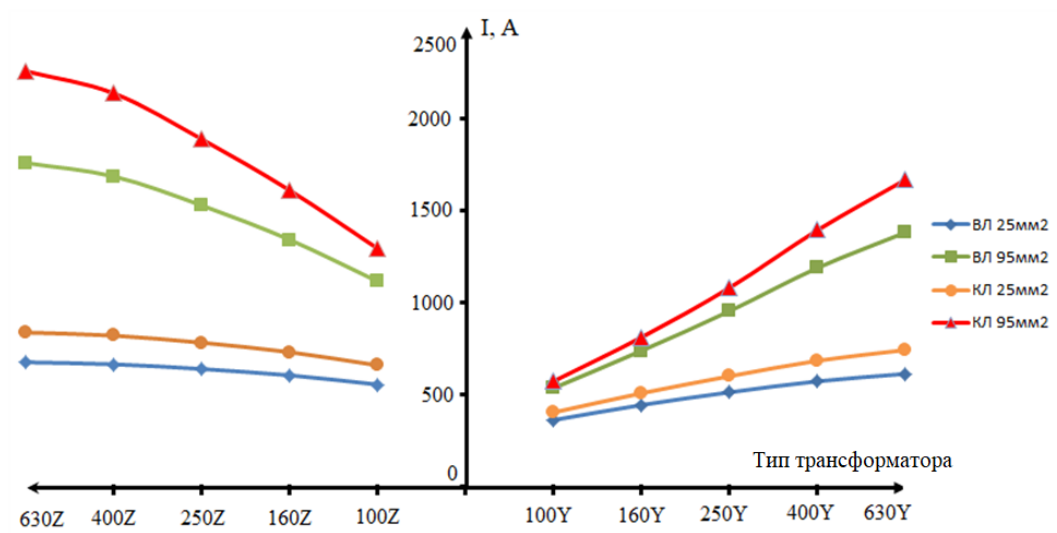


Рисунок 1 – Зависимость токов однофазного КЗ в конце линии 0,38 кВ протяженностью 80 м от параметров внешней сети

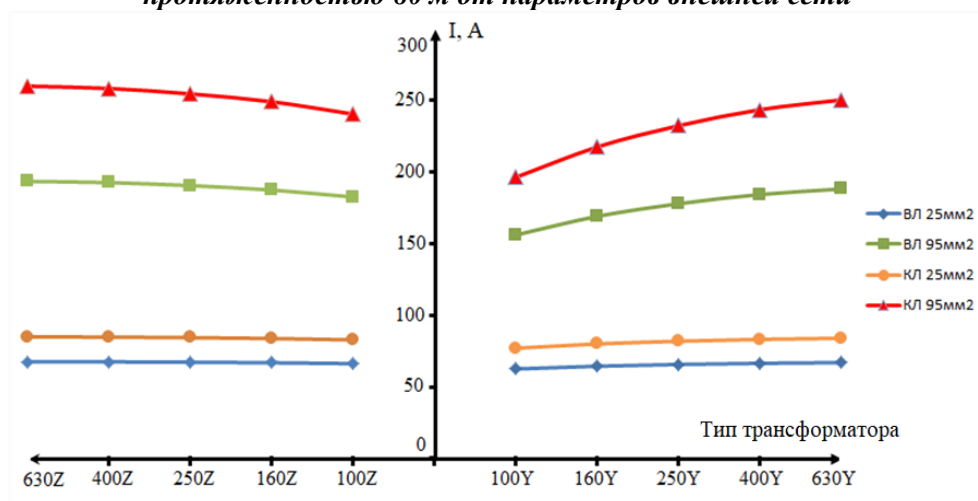


Рисунок 2 – Зависимость токов однофазного КЗ в конце линии 0,38 кВ протяженностью 900 м от параметров внешней сети

Таблица 1 – Результаты расчета токов удаленного однофазного КЗ во внутренней сети

Параметры внешней сети		Величина тока однофазного КЗ во внутренней сети в конце линий длиной 30 м сечением 4 мм ² , А							
		При протяженности ВЛ (КЛ)							
		80 м				900 м			
		Для сечения проводов ВЛ (КЛ)				Для сечения проводов ВЛ (КЛ)			
Тип линии	Мощность трансформатора, кВА/ схема соединения обмоток	25 мм ²		95 мм ²		25 мм ²		95 мм ²	
		Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВЛ	100/Y	193	239	233	303	54	57	113	128
	250/Y	228	295	285	400	56	60	124	142
	630/Y	246	325	313	457	57	61	129	148
ВЛ	100/Z	236	309	298	425	57	60	127	145
	250/Z	250	333	320	472	58	61	131	150
	630/Z	255	342	329	491	58	61	132	152

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КЛ	100/Y	204	256	239	314	65	69	133	153
	250/Y	244	322	295	420	68	73	149	175
	630/Y	264	358	326	484	70	75	156	184
КЛ	100/Z	253	338	309	448	69	74	152	179
	250/Z	268	367	333	500	70	75	158	187
	630/Z	274	378	342	522	70	76	160	190

Приведенные данные позволяют оценить степень влияния параметров внешних и внутренних электрических сетей на величину токов удаленного однофазного КЗ и рекомендовать соответствующие мероприятия для повышения эффективности электрической защиты с учетом экономического обоснования предлагаемых технических решений.

Список литературы

1. Сошников, А. А. Перспективные направления улучшения функциональных показателей систем сельского электроснабжения [Текст] / А. А. Сошников, Б.С. Компанец // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орел / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. – С. 50 -53.

2. Сошников, А. А. Информативные критерии оценки эффективности электрической защиты сельских сетей 0,38 кВ [Текст] / А. А. Сошников, Б.С. Компанец, А.О. Каменев // Материалы четырнадцатой международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта по 30 июня 2016 г. г. Орёл/ Секция № 2 Энергоэффективность систем электроснабжения и направления их развития. 7 с. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2016]. – Режим доступа: http://oreluniver.ru/public/file/science/confs/2016/ee/publ/%D1%81_2_kamenev_A_O.docx - Загл. с экрана.

3. Сошников, А. А. Обеспечение эффективной защиты от коротких замыканий внутренних сетей объектов АПК [Текст] / А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Б.С. Компанец, А.В. Цуканов //Достижения науки и техники АПК. – 2017, № 3, том 31. – С. 54 – 57.

Сошников Александр Андреевич – д-р тех. наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 656002, г. Барнаул, Проезд 9 мая, д. 9, кв. 29; Тел.: (385-2) 36-71-29, E-mail: epb_401@mail.ru.

Компанец Борис Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; Адрес: 656031, г. Барнаул, проспект Комсомольский 44, кв. 130; Тел.: (385-2) 36-71-29, E-mail: kompbs@mail.ru.

Каменев Артем Олегович - магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, адрес: 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина, 46,тел.: (83852) 29-08-82, 36-71-29.

EVALUATION OF THE LOW VOLTAGE NETWORK PARAMETERS EFFECT AT THE SINGLE-PHASE SHORT-CIRCUIT CURRENTS MAGNITUDE

Soshnikov A.A., Kompanec B.S., Kamenev A.O.

Russia, Barnaul,

Altai State Technical University named after I. I. Polzunov

Dependences of calculated values single-phase short circuit currents from various parameters of internal and external low voltage networks in AIC to select promising measures for enhancing the effectiveness of electrical protection was presented.

Keywords: short-circuit current, electrical protection, parameters of the electrical network.

Bibliography

1. Soshnikov, A. A. Perspektivnye napravleniya uluchsheniya funkcional'nyh pokazatelej sistem sel'skogo ehlektrosnabzheniya [Tekst] / A. A. Soshnikov, B.S. Kompaneec // EHnergo- i resursosberezhe-nie – XXI vek.: materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, 15 marta – 30 iyunya 2015 g., g. Orel / Pod redakciej d-ra tekhn. nauk, prof. O.V. Pilipenko, d-ra tekhn. nauk, prof. A.N. Kachanova, d-ra tekhn. nauk, prof. YU.S. Stepanova. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2015. – S. 50 -53.

2. Soshnikov, A. A. Informativnye kriterii ocenki ehffektivnosti ehlektricheskoy zashchity sel'skih setej 0,38 kV [Tekst] / A. A. Soshnikov, B.S. Kompaneec, A.O. Kamenev // Materialy chetyrnadcatoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, 15 marta po 30 iyunya 2016 g. g. Oryol/ Sekciya № 2 EHnergoehffektivnost' sistem ehlektrosnabzheniya i napravleniya ih razvitiya. 7 c. [EHlektronnyj resurs]. – EHlektron. dan. – M., [2016]. – Rezhim dostupa: http://oreluniver.ru/public/file/science/confs/2016/ee/publ/%D1%81_2_kamenev_A_O.docx - Zagl. s ehkrana.

3. Soshnikov, A. A. Obespechenie ehffektivnoj zashchity ot korotkih zamykanij vnutrennih se-tej ob"ektov APK [Tekst] / A.A. Soshnikov, O.N. Drobyazko, B.S. Kompaneec, A.V. Cukanov //Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2017, № 3, tom 31. – S. 54 – 57.

Soshnikov Alexander Andreevich, Ph.D, professor of Altai State Technical University named after I. I. Polsunov; Phone: (385-2) 36-71-29, epb_401@mail.ru.

Kompaneetz Boris Sergeevich, Ph.D, docent of Altai State Technical University named after I. I. Polsunov; Phone: (385-2) 36-71-29, kompbs@mail.ru.

Kamenev Artem Olegovich, undergradof Altai State Technical University named after I. I. Polsunov Phone: (385-2) 36-71-29.

УДК 629.11:631.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК АСПЕКТ СТРАТЕГИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ревякин М.М., Жосан А.А., Головин С.И.

Россия, Орёл,

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Проблема достижения объектом заявленного ресурса является одним из наиболее важных вопросов в области надежности функционирования мобильных энергетических средств, а также энергоресурсосбережения в агропромышленном комплексе. Уменьшение простоя техники, связанного с устранением неисправностей и снижение общего количества отказов в процессе эксплуатации возможно с помощью использования бортовых электронных систем диагностирования. Их правильное функционирование обеспечивается применением определенной диагностической модели, эффективность которой зависит от степени приспособленности объекта к проведению технического диагностирования. Рассмотрены основные этапы и принципы формирования оптимального диагностического поля с учетом изменения информативности и корректности методов оценки прямых и косвенных показателей, характеризующих техническое состояние мобильных энергетических средств. Приведены основные критерии в области оптимальности формирования диагностической модели, а также формирования бортовых систем самодиагностики в целом.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, обеспечение заявленного ресурса, эксплуатационная надежность, диагностическая модель, показатели технического состояния, программа диагностирования, бортовая система самодиагностики.

Одной из актуальных задач в области обеспечения продовольственной безопасности нашей страны, является внедрение перспективных технологий и процессов, способствующих качественному и своевременному выполнению совокупности технических мероприятий, охватывающих отдельные структурные элементы, а также агропромышленный комплекс (АПК) страны в целом. Неотъемлемой частью АПК, как

известно, является машинно-тракторный парк (МТП), [1, 7], а также отдельные мобильные энергетические средства (МЭС), являющиеся зачастую еще и элементами локальных транспортно-логистических систем [6], интенсивная эксплуатация которых негативно сказывается на ресурсе отдельных агрегатов, систем, техническом состоянии объекта.

Проблема повышения эксплуатационной надежности в современном, ориентированном на энерго- и ресурсосбережение сельском хозяйстве как никогда актуальна. Снижение до минимума простоев техники, связанных с ее отказами; увеличение доремонтного пробега (наработки); возможность сполна реализовать ресурс деталей, заложенный заводом-изготовителем – все это возможно осуществить благодаря применению различных электронных систем [5], функционирующих в рамках определенных диагностических моделей.

Эффективность модели во многом зависит от степени приспособленности конструкции МЭС к проведению технического диагностирования, а также применяемых методов и средств технической диагностики, а ее анализ позволит с определенной степенью точности идентифицировать условия работоспособности объекта, определить признаки неисправностей и инициализировать ограниченное множество характеристик, параметров и показателей, подлежащих контролю в процессе диагностирования.

Рассматривая технический объект как «поле» для диагностирования и, преследуя конечную цель – формирование наиболее информативной среды, целесообразно абстрагироваться от внутренней структуры и процессов, происходящих внутри МЭС, и инициализировать его как относительно обособленную структуру, связанную с внешним миром, идентичными объектами, системами или средой посредством внешних связей: входные и выходные параметры, а также оказывающих влияние внешних и внутренних помех, являющихся следствием процессов изнашивания и отказов отдельных элементов и систем МЭС. Причем среди выходных параметров технического объекта отдельно следует выделять параметры, характеризующие базовые функции процессов, для реализации которого создано МЭС.

Важным этапом является оценка степени информативности и последующее формирование диагностического пространства объекта, а также разработка архитектурного [2], аппаратного и диагностического обеспечения с учетом вариации информативности и корректных методов оценки прямых и косвенных показателей, характеризующих состояние МЭС. При переходе из одного состояния в другое множество выходных величин и внутренние параметры изменяются исходя из преобразования входных сигналов и помех. Таким образом, множество внутренних параметров дробится на ряд подмножеств, а диагностическое «поле» (D) можно рассматривать как совокупность элементов, содержащих информацию о неисправностях, над которыми установлены наблюдение и контроль (рисунки 1).

Оптимальная диагностическая модель должна быть обоснована с точки зрения выбора совокупности диагностических показателей, их информативности относительно оценки технического состояния объекта в целом.

Учитывая, что большинство МЭС, активно эксплуатирующихся в АПК, представляют собой энергонасыщенные и технически сложные объекты, при формировании множества D целесообразно выбирать относительно подмножество показателей (d_1) для оценки в процессе диагностирования. Количество показателей d_1 полностью удовлетворяющее комплексной оценке МЭС позволяет в дальнейшем произвести разработку алгоритма и программы диагностирования.

В противном случае возникает необходимость формирования множества косвенных показателей (d_2), полностью компенсирующих недооцениваемые показатели d_1 . После необходимо осуществить комплексную оценку выбранных показателей на «достаточность». Удовлетворительное значение «достаточности» определяет условия

работоспособности и признаки отказов в МЭС, что в свою очередь рассматривается через призму допустимых областей изменений параметров d_1 и d_2 . В завершении осуществляется построение алгоритмов и программы диагностирования. Алгоритмы диагностирования позволяют определить последовательность выполнения проверок отдельных элементов МЭС при оценке отклонений диагностических показателей, характеризующих работоспособность объекта в целом или определенного его блока.

Программа диагностирования как системный элемент представляет собой совокупность алгоритмов по определенному принципу. К основным принципам компоновки алгоритмов относят последовательный, параллельный и смешанный [4]. Причем при создании программы диагностирования по выше указанным признакам ставится задача определения минимально возможного количества логических элементов («ветвей») программы с учетом неперевышения допустимого временного промежутка ее фактического выполнения. Принцип построения программы диагностирования основывается либо на основе теории расписаний, либо комбинаторики.

Теория расписаний определяет программу диагностирования через призму оценки множества показателей, характеризующих состояние МЭС. Для каждого из них формируется определенная последовательность операций, характеризующихся временем выполнения. Программа диагностирования представляется в виде расписания, детально конкретизирующего эту последовательность. При использовании второго принципа задача формирования программы диагностирования рассматривается как выполнение комплекса операций с использованием определенного ограниченного объема технических средств диагностирования. Программа диагностирования представляется в виде маршрута, определяющего последовательность использования технических средств диагностирования. [3]

Фактическая реализация алгоритмов диагностирования с применением соответствующей аппаратно-программной архитектуры и физической среды в совокупности представляется как бортовая (интегрированная) система самодиагностики, для которой целесообразно предъявление таких требований как:

- обеспечение контроля за функционированием сложных систем и узлов МЭС с целью оперативного обнаружения возможных отказов;
- превентивное информирование оператора о неисправностях в отдельных системах;
- хранение информации об отдельных неисправностях, причинах возникновения и способах устранения;
- обеспечение доступа к информационной среде через универсальные интерфейсы и протоколы передачи данных;
- обеспечение стабильности функционирования в условиях меняющейся среды эксплуатации;

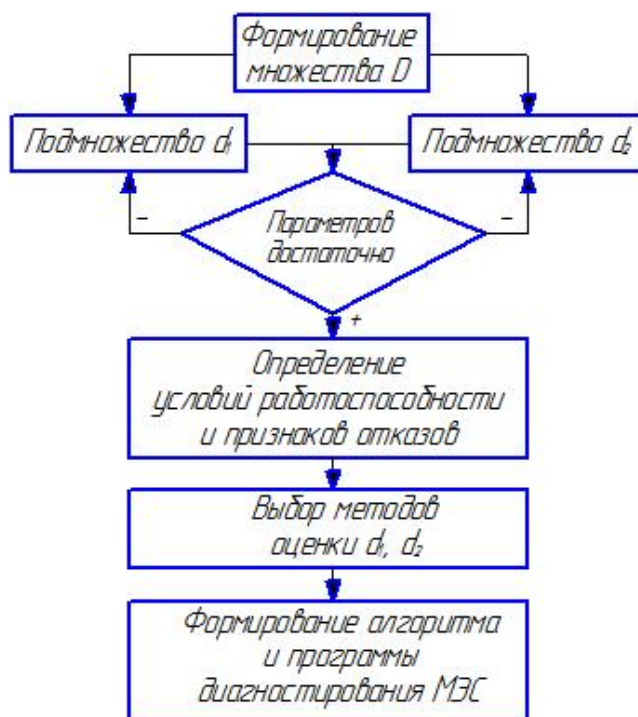


Рисунок 1 – Алгоритм оценки оптимальности при формировании диагностической модели

- компактность реализации при встраивании в МЭС без потери собственной функциональности и нарушения технологических и конструкторских настроек самого технического объекта;
- удобство в обращении посредством применения эргономичных интерфейсов;
- обеспечение стабильности и высокоскоростной обработки данных между компонентами системы;
- возможность дальнейшей модернизации и расширения.

Применение бортовых систем самодиагностики на мобильных энергетических средствах способствует своевременному обнаружению отклонений параметров, характеризующих способность технических объектов выполнять заданные функции в процессе непосредственной эксплуатации, что положительно сказывается на повышении надежности и достижении ресурса, заявленного заводом-изготовителем.

Список литературы

1. Головин С.И. Надежность и безотказность тракторов [Текст] / С.И. Головин, А.А. Жосан // В сборнике: Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства. / Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Орел, 2013. – С. 126-134.
2. Жосан А.А. Топология построения систем самодиагностики: вариативность и оптимальность / А.А. Жосан, М.М. Ревякин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – Орел, 2011. Т. 29. № 2. С. 109-111.
3. Жосан А.А. Система РИКОС как способ обеспечения и поддержания целевой динамичности мобильных энергетических средств / А.А. Жосан, С.И. Головин, М.М. Ревякин // В сборнике: Состояние и перспективы энерго- и ресурсосберегающих технологий в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. – Орел, 2009. С. 52-57.
4. Калашников В.И. Информационно-измерительная техника и технологии / В.И. Калашников, С.В. Нефедов, А.Б. Путилин – М.: Высшая школа, 2002. – 520 с.
5. Куликов С.А. Повышение эксплуатационных характеристик надежности МТА при помощи систем телематического контроля / С.А. Куликов, М.М. Ревякин // В сборнике: Инновационные технологии механизации, автоматизации и технического обслуживания в АПК. Материалы Международной научно-практической интернет-конференции. – Орел, 2008. С. 90-93.
6. Ревякин М.М. Транспортная логистика. Курс лекций для изучения дисциплины в рамках подготовки бакалавра по направлению 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов / М.М. Ревякин, А.А. Жосан. – Орел, 2016. – 155 с.
7. Ревякин М.М. Применение системы эксплуатационной самодиагностики для обеспечения реализации заявленного ресурса дизелей [Текст] / М.М. Ревякин // Технология колесных и гусеничных машин. – Москва, 2014. № 3. С. 35-43.

Ревякин Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы» ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»; 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69. revyakinmm@inbox.ru, 76-18-54.

Жосан Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «ЭМТП и тракторы» ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»; 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69. a-josan@yandex.ru, 76-18-54.

Головин Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы» ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»; 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69. golovinsi@yandex.ru, 76-18-54.

INCREASE OF OPERATIONAL RELIABILITY OF TECHNICAL SYSTEMS AS AN ASPECT OF THE RESOURCE SAVING STRATEGY FOR MOBILE ENERGETIC MEANS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Revyakin M.M., Josan A.A., Golovin S.I.

Russia, Orel, FSBEU of HE "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"

The problem of achieving the claimed resource by the object is one of the most important issues in the field of reliable operation of mobile energy facilities, as well as energy and resource saving in the agro-industrial complex. Reduction of downtime of equipment related to troubleshooting and reduction of the total number of failures during operation is possible by using on-board electronic diagnostic systems. Their correct functioning is ensured by the application of a certain diagnostic model, the effectiveness of which depends on the degree of the object's ability to perform technical diagnostics. The main stages and principles of the optimal diagnostic field formation are considered, taking into account the change in the informativeness and correctness of the methods for estimating the direct and indirect indicators characterizing the technical state of mobile power facilities. The main criteria in the field of optimality of the formation of the diagnostic model, as well as the formation of on-board systems of self-diagnostics in general, are given.

Keywords: mobile energy facility, provision of the claimed resource, operational reliability, diagnostic model, technical condition indicators, diagnostic program, on-board self-diagnosis system.

Bibliography

1. Golovin S.I. Nadezhnost' i bezotkaznost' traktorov / S.I. Golovin, A.A. Zhosan // V sbornike: Osobennosti tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo osnashcheniya sovremennogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. / Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Orel, 2013. – S. 126-134.
2. Zhosan A.A. Topologiya postroyeniya sistem samodiagnostiki: variativnost' i optimal'nost' / A.A. Zhosan, M.M. Revyakin // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Orel, 2011. T. 29. № 2. S. 109-111.
3. Zhosan A.A. Sistema RIKOS kak sposob obespecheniya i podderzhaniya tselevoy dinamichnosti mo-bil'nykh energeticheskikh sredstv / A.A. Zhosan, S.I. Golovin, M.M. Revyakin // V sbornike: Sostoyaniye i perspektivy energo- i resursosberegayushchikh tekhnologiy v APK Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Orel, 2009. S. 52-57.
4. Kalashnikov V.I. Informatsionno-izmeritel'naya tekhnika i tekhnologii / V.I. Kalashnikov, S.V. Nefedov, A.B. Putilin – M.: Vysshaya shkola, 2002. – 520 s.
5. Kulikov S.A. Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik nadezhnosti MTA pri pomoshchi sistem telematicheskogo kontrolya / S.A. Kulikov, M.M. Revyakin // V sbornike: Innovatsionnyye tekhnologii mekhanizatsii, avtomatizatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya v APK Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii. – Orel, 2008. S. 90-93.
6. Revyakin M.M. Transportnaya logistika. Kurs lektsiy dlya izucheniya distsipliny v ramkakh podgotovki bakalavra po napravleniyu 23.03.03 - Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov / M.M. Revyakin, A.A. Zhosan. – Orel, 2016. – 155 s.
7. Revyakin M.M. Primeneniye sistemy ekspluatatsionnoy samodiagnostiki dlya obespecheniya realizatsii zayavlennoogo resursa dizeley [Tekst] / M.M. Revyakin // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. – Moskva, 2014. № 3. S. 35-43.

Revyakin Maxim Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, lecturer; Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"; 302019, Orel, General Rodin St., 69. revyakinmm@inbox.ru; phone: 76-18-54.

Josan Artur Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, lecturer; Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"; 302019, Orel, General Rodin St., 69. a-josan@yandex.ru; phone: 76-18-54.

Golovin Sergey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, lecturer; Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"; 302019, Orel, General Rodin St., 69. golovinsi@yandex.ru; phone: 76-18-54.

УДК 62 - 503.57, 681.5.01

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЛИНИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ И ЭКСТРУЗИИ

Крысанов В.Н.
Россия, г. Воронеж, ВГТУ

В докладе отмечены возможности применения нейро–нечётких систем управления для оптимизации параметров производства масел в ходе технологических циклов гранулирования и экструзии.

Ключевые слова — экономический критерий оптимальности производства, цикл гранулирования и экструзии в производстве масел, система управления, нейро – нечёткие сети

Производство масел (подсолнечного, рапсового, оливкового) является важным звеном переработки сельскохозяйственной продукции и получения важных пищевых ресурсов. Его особенностями являются: непрерывно-поточный характер, высокое значение потоков материала и энергии, сложность процессов массотеплообмена, большая протяженностью производственных линий. Данное производство, как объект управления представляет собой многопараметрическую задачу с высокой размерностью векторов состояния (исчисляется несколькими сотнями векторов) отдельных циклов, объединённых единой конечной целью.

Существующие схемы автоматизации такого технологического процесса (например, МЖУ-90) охватывают все технологические участки производства, для которых спроектированы независимые системы управления, предусматривающие наряду со стабилизацией режимных параметров, оптимизацию отдельных процессов за счет использования серийных средств автоматики [1,2].

Однако, при таком подходе по определению невозможно добиться комплексной оптимизации производства «в целом», что обусловлено высокой степенью локализации систем управления, отрывом технологии производства от экономических факторов.

Для задачи оптимизации производства «в целом». ключевыми факторами, являются экономические параметры, в частности, показатель чистой прибыли производства.

При этом, величина чистой прибыли определяется:

$$Pr = Vr - C/c \quad (1),$$

где Vr — выручка от реализации; C/c — себестоимость (затраты на производство и реализацию) [1,3].

Следовательно, задача технико-экономической оптимизации производства «в целом» в реальном времени сводится к снижению полной себестоимости продукции и корректному прогнозированию и выполнению уровня выручки.

Для достижения второго требования целесообразно применение подходов, подробно описанных в [4-6].

Рассмотрим первое требование. Для достоверного анализа данного положения требуется полноценный учёт всех этапов производства и граничных условий перехода от одного этапа к другому. Однако, без учёта ограничений, можно указать на условие (идеальное) для минимизации себестоимости как функции от технологического процесса:

$$\sum_{i=1}^k F_i \rightarrow \min \quad (2),$$

где F_i - себестоимость отдельного цикла.

Т.е. для каждого элемента производства требуется нахождение минимума затрат на производство единицы продукции требуемого качества. Затем, при взаимном анализе всех элементов определяются граничные условия, и ведётся технологический процесс с учётом критерия (3):

$$F_{C/c} \rightarrow \min \quad (3),$$

где $F_{C/c}$ - себестоимость всего технологического процесса с учётом взаимных ограничений.

При этом, всегда $F_{C/c} \geq \sum_{i=1}^k F_i$. В самом оптимальном случае последнее неравенство будет вырождаться в равенство.

В случае применения существующих систем автоматизации, как правило, не выделяют в явном виде решение задачи (3). Полагается, что частичное выполнение условия (2) доводит величину потерь в себестоимости производства до экономически обоснованного уровня. Применение такого подхода объясняется высокой размерностью процессов, их нелинейностью и сложностью аналитического описания, необходимого для классических методов (в том числе и адаптивных), применяемых в существующих системах управления. Однако, уровень невосполнимых потерь при этом, в значительной мере увеличивает стоимость продукции.

Эффективным решением рассмотренных выше вопросов служат методы нейронечётких сетей (ННС). Их практическое применение позволяет выполнить условие (3) с высокой степенью эффективности и служить в основных, вспомогательных, консультативных системах управления.

Отметим, что в экструзионной установке извлекается масло, содержащееся в зёрнах подсолнечника (подготовленной спрессованной массе). Полученный экструзивный продукт на последующих участках подвергают очистки и обработки в целях получения товарного подсолнечного масла. Эффективность работы экструзивного отделения определяется его производительностью, содержанием масла в отжиме и потерями масла в жоме. На экструзию масла влияют: температурные режимы по зонам аппарата, качество жома, время экструзии, pH среды в аппарате [2].

С учетом специфики объекта управления типовая схема автоматизации предусматривает стабилизацию удельной загрузки аппарата; стабилизацию концентрации экструзионной массы; стабилизацию температурных режимов по зонам диффузионного аппарата; стабилизацию уровня в головной части аппарата.

Температурный режим является средним и уточняется в зависимости от качества сырья, поступающего в переработку, и эффективности отжима зёрен [2].

Составим уравнения основных процессов цикла экструзии:

$$x_1(t) = \alpha \cdot w_{привод}(T, p) + \beta \cdot v_2(T, p) \quad (4);$$

$$x_2(t) = \delta \cdot w_{привод}(T, p) + \iota \cdot v_2(T, p) \quad (5);$$

$$\chi_3(t) \gamma \cdot \omega_{привод} + \mu \cdot v_2 / \kappa \cdot T + l \cdot p + a_0 = \theta \cdot \chi_1(t) + \vartheta \chi_2(t) \quad (6);$$

где $x_1(t) \in [0; (2,0 \div 4,0) \cdot 10^6]$, кг/ч - величина производительности по объёму масла; $x_2(t) \in [0; 1]$, о.е. - показатель качества масла; $x_3(t) \in [a_0; x_{3\max}]$, руб. - величина суммарных затрат на технологический процесс; $w_{привод} \in [0,7; 1,4]$, об/мин - угловая суммарная скорость привода подвижных валов; $v_2 \in [0,5; 1,6]$, м/мин - линейная скорость подачи массы жима с этапа грануляции; $T \in [40; 67]$, $^{\circ}C$ - распределение температуры по зонам диффузионного аппарата; $p \in [0,06; 0,12]$, МПа - распределение давления пара по зонам диффузионного аппарата; $\alpha, \beta, \delta, \iota, \gamma, \mu, \kappa, l$ - коэффициенты технологического процесса в соответствующих нормирующих единицах измерения; a_0 - величина нетехнических затрат на ведение процесса.

$x_2(t)$ выражается в заданных значениях требуемой концентрации масла и количество примесей. Стоит заметить, что величина, $x_1(t)$ в конечном счёте, определяет условную выручку данного цикла, а $x_3(t)$ - величину условной себестоимости в единицу времени. Тогда поставленная задача минимизации себестоимости цикла гранулирования

и экструзии будет сводиться к минимизации величины $x_3(t)$ с совместным нахождением $x_2(t)$ в диапазоне максимально близком к единице при произвольном изменении $x_1(t)$.

Оптимизация слабо формализуемых параметров (качество жома, масла, примесей) и их влияние на процесс «в целом», как правило, оценивается с помощью экспертной системы. Предлагаемая же ННС уточняет решения, принимаемые экспертами с возможностью оценки поли факторной задачи и выработки наилучшего алгоритма с позиций получения наибольшей чистой прибыли. Иными словами, ННС призвана учесть прогнозные сценарии в пространстве многих слабо формализованных переменных и на основании этого выдавать соответствующие управляющие воздействия.

В соответствии с [7] предложена для реализации нейро–нечётких принципов организации цикла экструзии модель, состоящая из взаимосвязанных искусственной нейронной сети (ИНС) – представленной прямой и инверсной моделями объекта управления (ОУ) и нечёткой системы (НС) - формирования обучающих алгоритмов – рис. 1.

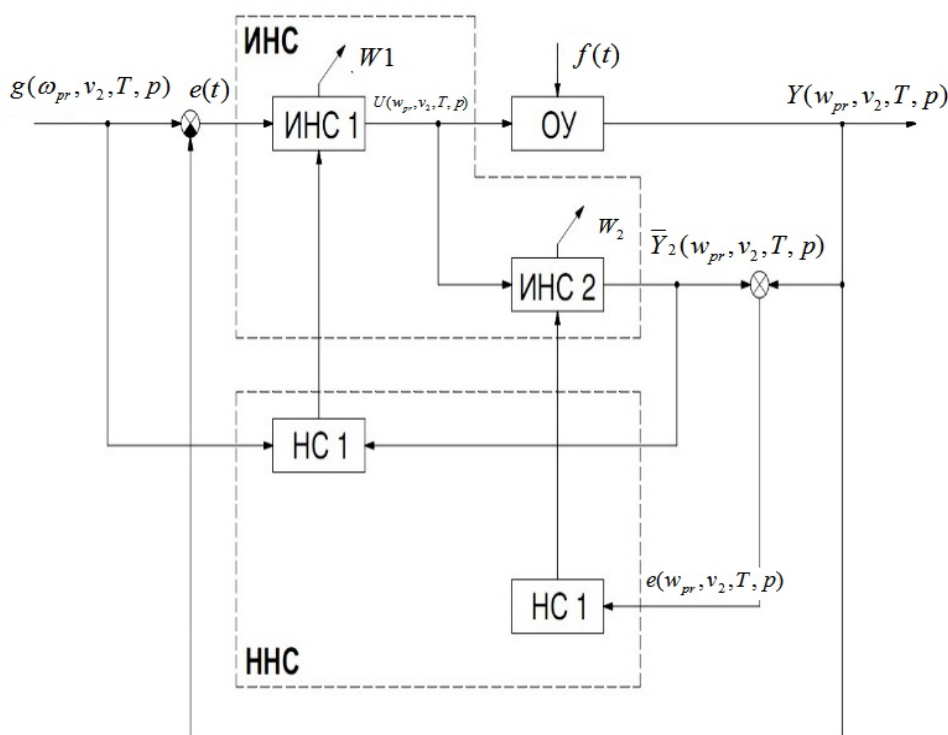


Рисунок 1 – Функциональная схема СУ цикла экструзии

В ходе работы аппарата НС1 использует текущее изменение воспроизводимого вектора управляющих функций – $g(\omega_{pr}, v_2, T, p)$ и выхода прямой модели объекта – $y(\omega_{pr}, v_2, T, p)$. Прямая модель – ИНС 2 обучается по прогнозу ошибки – $e(\omega_{pr}, v_2, T, p)$, формируемому НС 2. В результате подобной настройки сеть ИНС 1, являющаяся управляющим контроллером, реализует инверсную модель ОУ.

При проведении имитационного моделирования процесса экструзии подсолнечного масла с включением в СУ ННС, функции $x_1(t)$ и $x_2(t)$ варьировались в широком диапазоне, а $x_3(t)$ – от нормированной величины затрат $a_0 \approx 0,4$ до 1,0. При этом, следует отметить, что в качестве рабочего режима в настоящее время имеет место ситуация, при которой $x_1(t) \approx 0,85$, $x_2(t) \approx 0,85$, при которых $x_3(t) \approx 0,91$. В тоже время, при реализации подобной оценки (при помощи СУ с ННС) для других этапов производства возможно более точное выполнение условия (3) и, при прогнозировании

величины чистой прибыли предприятия – выражение (1), выработка величин производительности – $x_{li}(t)$, отличных от принятых экспериментальным путём. Так результаты проведённого математического моделирования свидетельствуют о возможности снижения величины затрат – $x_3(t)$ в случае изменения соответствующих уровней аргументов.

Кроме того, данные моделирования демонстрируют возможности нейро – нечётких СУ при оценке затрат на использование потоков тепло – и электроэнергии, что само по себе является важной задачей в работе производственных предприятий. Также с помощью подобной оценки становится возможным анализ уровня амортизации оборудования без применения дополнительных средств [5 – 6].

В рамках решения задачи построения СУ цикла экструзии целесообразным является предложение создания прогнозно – корректирующей (или основной) ННС, сопряжённой с аналогичными системами производства и последующим созданием значительно более адаптивного производства в целом (в сравнении с МЖУ-90), позволяющей добиться лучших результатов оптимизации. Особо стоит отметить сопоставимость затрат на организацию ННС и классических подходов, что обусловлено одинаковой базой измерительной и исполнительной аппаратуры (датчики, заслонки, ключи), применяемой в обоих случаях.

Список литературы

1. Теоретические основы построения эффективных АСУ ТП [Электронный ресурс]. - Учебное пособие написано Литюгой А.В. Оно выполнено в соответствии со стандартом Windows-HTML-справки. Оно представляет собой один файл. Он автоматически распознаётся и запускается операционной системой Windows 98(NT, 2000). 2002. – 66с.
2. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства. / Документы СССР URL: <http://www.bestpravo.ru/sss/eh-gosudarstvo/i2a/page-12.htm> (дата обращения июль 2011г.)
3. Ребрин, Ю.И. Основы экономики и управления производством. Конспект лекций[Текст] / Ю.И.Ребрин. -Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 145 с.
4. Джеффри Оуэн Кац, Донна Л. МакКормик . Энциклопедия торговых стратегий[Текст] / Перевод с английского — М.: Альпина Паблишер. — 400 с. , 2002
5. Крысанов, В.Н. Применение принципов нейро – нечётких (ННС) для прогнозирования потребления электроэнергии в производственной сфере[Текст] / Крысанов В.Н., Руцков А.Л. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т.9 – № 6-3. – С.62-66.
6. Крысанов, В.Н. Применение нейро – нечётких сетей для распределённых объектов[Текст] / В.Н. Крысанов, А.Л.Руцков //Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – № 1. – С.50-57.
7. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления. Кн.8: Учеб. пособие для вузов[Текст] / Терехов В.А., Ефимов Д.В, Тюкин, И.Ю., Галушкина А.И.. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.

Крысанов Валерий Николаевич, канд.техн.наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры электропривода автоматики и управления в технических системах Воронежского государственного технического университета. Адрес: 394068 Воронеж ул. Хользунова д. 10Б кв 86; e-mail: sovteh2000@mail.ru; тел.: +79202285606.

INCREASE IN EFFICIENCY OF CONTROL SYSTEMS OF ELECTRIC DRIVES OF THE LINE OF A GRANULATION AND EXTRUSION.

Krysanov V. N.

Russia. Voronezh. Voronezh State University.

In the report possibilities of application of neuro-indistinct control systems for optimization of parameters of

production of oils are noted during production cycles of a granulation and extrusion.

Keywords — economic criterion of an optimality of production, a cycle of a granulation and extrusion in production of oils, a control system, neuro – indistinct networks.

Bibliography

1. Teoriticheskie osnovy postroeniya effektivnyh sistem ASYTP [Elektronnyresyrs]. – Ychebnoe posobie napisanno Lityugoy A.v. Ono vypolneno v sootvetstvii so standartom Windows-HTML spravki. Ono predstavlyaet soboe odin fael / On avtomaticheskii raspoznaetsya I zapyskaetsz Windows 98(NT, 2000). 2002. – 66 c.
2. Instrykciay po vedenie tehnologicheskogo ghjcessa sveklosahornogo proizvodstva. / DokymentyCCCP URL: //http://www.bestpravo.ru/sss/eh-gosudarstvo/i2a/page-12.htm (датаобращенияиюль 2011г.)
- 3.Rebrin, Y.I. Osnovy ekonomiki I upravleniya proizvodstvom. Konspekt lekcy [Tekst] / Y.I.Rebrin. - Taganrog: Izd-voTPTY, 2000. 145 c.
4. DjeffriOuenKac, DonnaL. MakKormik . Enciklopediya torgovyh stratigii [Tekst] / Perevod s angliskogo — M.: AlpinaPablisher. — 400 c. , 2002
5. Krysanov, V.N. Primenenie principov neuro – nechetkih (HHC) dlya prognazirovaniya elektro energii v proizvodstvennoi sfere [Tekst] / KrysanovV.N., RyckovA.L. // Vestnik Voronezhskogo gosydarstvennogo yuniversiteta. – 2013. – T.9 – № 6-3. – C.62-66.
6. Krysanov, V.N.Primenenie neuro-nechetkih cetei dlya radpredelennyh obektov [Tekst] / V.N. Krysanov, A.L.Ryckov / Elektromechanicheskie komplekxy I sistemy upravleniya. – 2013. – № 1. – C.50-57.
7. TerehovV.A. Neyrosetevye sistemy upravleniya. Kn.8: Echeb. posobiedlya vyzov [Tekst] / TerhovV.A., EfimovD.V, Тюкин ., I.Y., GlyshkinaA.I.. – M.; IPRJR, 2002. – 480 c.

Krysanov Valery Nikolaevich, the candidate technical sciences, the associate professor, the senior research associate of department of the electric drive of automatic equipment and management in technical systems of the Voronezh state technical university. Address: Voronezh, Holzunov St. 10B, kv. 86; e-mail: sovteh2000@mail.ru, ph.: +79202285606.

УДК 621.3.072.6

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

ХалинаТ.М., Стальная М.И., Еремочкин С.Ю., ТитоваА.А., Королёв Д.А.
*Россия, Барнаул, Алтайский государственный технический университет им.
И.И. Ползунова*

Предлагается энергоэффективное устройство регулирования скорости электродвигателя с возможностью реверса. Приведен алгоритм работы данного устройства. Описаны его достоинства.

Ключевые слова: регулирование скорости, асинхронный двигатель, векторно-алгоритмическое управление

В данной статье рассмотрен вопрос разработки энергоэффективного устройства регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя. Рассматриваемое устройство позволяет повысить надежность работы двигателя путем нейтрализации отрицательного действия ЭДС самоиндукции на обмотках статора электродвигателя, а также уменьшить стоимость устройства за счет использования меньшего количества источников питания для управления транзисторами и уменьшить расход электрической энергии на поддержание рабочего состояния транзисторов, при использовании более дешевых транзисторов на меньшее напряжение.

Современный образ жизни очень сложно представить без электроприборов, используемых в быту и в сельскохозяйственном производстве [1]. Обычно в таких

приборах используются однофазные асинхронные двигатели, в силу своей способности преобразовывать энергию из однофазной сети переменного тока.

Известен однофазный конденсаторный электродвигатель [2]. Недостатками данного двигателя являются невозможность регулирования скорости вращения и большие габариты вследствие необходимости использования бумажных конденсаторов большой емкости.

Для устранения вышеуказанных недостатков на кафедре «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ разработано устройство регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя (рисунок 1) [3].

Работа реверсивного полупроводникового устройства регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя происходит следующим образом. В статорные обмотки однофазного асинхронного электродвигателя путем изменения частоты векторно-алгоритмической коммутации полупроводниковых ключей подается переменное напряжение в последовательности, обеспечивающей получение вращающегося магнитного поля статора с требуемыми характеристиками. [4-8].

Для обеспечения вращения вектора магнитного потока вращающегося поля статора однофазного асинхронного электродвигателя в соответствии с векторной диаграммой, представленной на рисунке 2, в последовательности I-II-III-IV-V-VI необходимо подавать управляющие импульсы на базы транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4 и на управляющие выводы тиристоров VS1, VS2, VS3, VS4 в нижеследующем алгоритмическом порядке (рисунок 3).

1. В промежуток времени t_1 подается управляющий импульс на базу транзистора VT1 и управляющий электрод тиристора VS1 (ток протекает по обмотке А статора) – I положение магнитного потока.

2. В промежуток времени t_2 подается управляющий импульс на базы транзисторов VT1 и VT4, управляющие электроды тириستоров VS1 и VS4 (ток протекает по обмоткам А и В статора) – II положение магнитного потока.

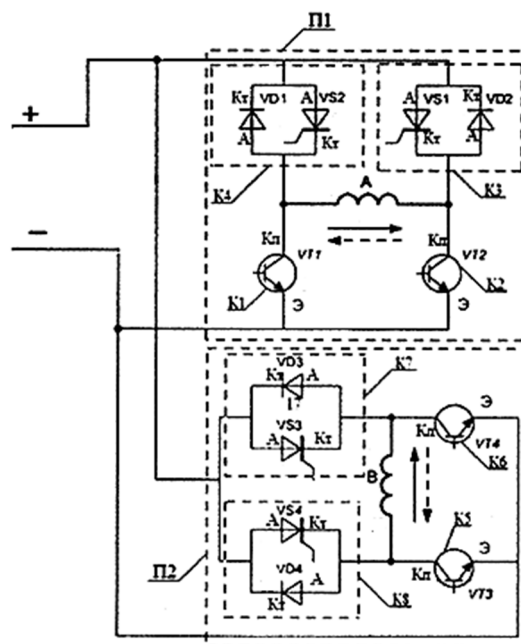


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема

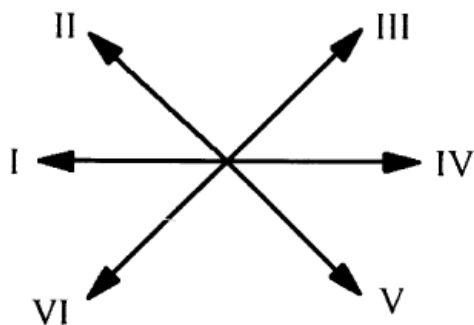


Рисунок 2 - Векторная диаграмма кругового вращающегося поля статора электродвигателя

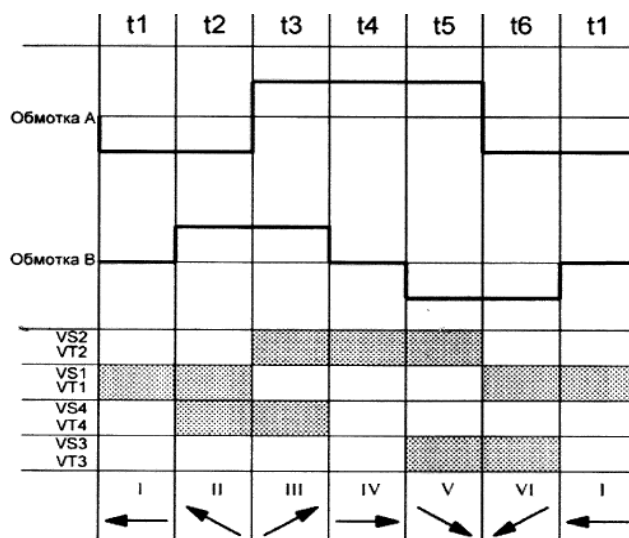


Рисунок 3 – Направления электромагнитного потока и протекающего тока по обмоткам статора электродвигателя

3. В промежуток времени t_3 подается управляющий импульс на базы транзисторов VT4 и VT2, управляющие электроды тириستоров VS4 и VS2 (ток протекает по обмоткам А и В статора) – III положение магнитного потока.

4. В промежуток времени t_4 подается управляющий импульс на базу транзистора VT2 и управляющий электрод тиристора VS2 (ток протекает по обмотке А статора) – IV положение магнитного потока.

5. В промежуток времени t_5 подается управляющий импульс на базы транзисторов VT2 и VT3, управляющие электроды тиристоров VS2 и VS3 (ток протекает по обмоткам А и В статора) – V положение магнитного потока.

6. В промежуток времени t_6 подается управляющий импульс на базы транзисторов VT1 и VT3, управляющие электроды тиристоров VS1 и VS3 (ток протекает по обмоткам А и В статора) – VI положение магнитного потока.

Далее процесс включения транзисторов и тиристоров повторяется, начиная с момента времени t_1 .

Изменяя частоту и порядок коммутации полупроводниковых ключей можно обеспечить плавное регулирование скорости вращения электродвигателя как в направлении вперед, так и в направлении назад. Изменяя степень открытия транзисторных ключей можно изменять напряжение, подводимое к статорным обмоткам электродвигателя.

Таким образом, предлагаемое устройство регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя имеет преимущества по сравнению с известными вследствие обеспечения нейтрализации отрицательного действия ЭДС самоиндукции на обмотках статора электродвигателя, уменьшения стоимости и расхода электрической энергии[9-10].

Список литературы

1. Еремочкин, С.Ю. Однофазно-трехфазный электропривод для сельскохозяйственных электрифицированных машин[Текст]/ С.Ю. Еремочкин // Аграрный вестник Урала.– 2012.– №7.– С. 49-52.
2. Стальная, М. И. Автоматизированный электропривод[Текст]: учебное пособие / М. И. Стальная, А. М. Головачев, С. Ю. Еремочкин, А. С. Ведманкин. –Барнаул: ФБГОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", 2016. – 91 с.
3. Стальная, М.И.Полупроводниковое устройство регулирования скорости однофазного двухобмоточного асинхронного электродвигателя с явно выраженным звеном постоянного тока

[Текст]: патент 2613645 Рос. Федерация. №2015157024; заявл. 29.12.2015; опубл. 16.03.2017, Бюл. №8 / Еремочкин С.Ю., Королёв Д.А., Титова А.А.//. –2017.

4. Стальная, М.И. Моделирование электромеханических характеристик трехфазного электродвигателя с преобразователем, выполненным по схеме однофазная сеть - трехфазная сеть[Текст] / Еремочкин С.Ю. // Электротехника. –2016.– №12.– С. 60-63.

5. Халина, Т. М. Оценка эффективности использования трехфазных асинхронных электродвигателей в однофазной сети при векторно-алгоритмическом управлении[Текст] /Стальная М. И., Еремочкин С. Ю. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – №12. – С. 103-107.

6. Еремочкин, С.Ю. Исследование и расчет механической характеристики трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, запуск и работа которого осуществляется от однофазной сети посредством векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток[Текст]/ С.Ю. Еремочкин // Ползуновский вестник. –2013.– №4–2. С. 72-77.

7. Еремочкин, С. Ю. Алгоритмическая система управления трехфазным асинхронным двигателем[Текст]/ С.Ю. Еремочкин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – №3. – С. 136-139.

8. Еремочкин, С. Ю. Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя векторно-алгоритмическим способом[Текст]/ Королёв Д. А., Титова А. А. // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. – г. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. – С. 154-159.

9. Стальная, М.И. Моделирование электромеханических характеристик трехфазного электродвигателя с преобразователем векторно-алгоритмического типа в среде MATLAB SIMULINK[Текст]/ С.Ю. Еремочкин // Электроприводы переменного тока: Труды шестнадцатой Международной научно-технической конференции – г. Екатеринбург, 05-09 октября 2015 г. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 2015. – С. 145-148.

10. Стальная, М.И. Программное обеспечение для расчета механических характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток[Текст]/ Еремочкин С.Ю., Пивкина Т.Н. // Ползуновский вестник. –2014. –№2. –С. 20-23.

Халина Татьяна Михайловна, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 656049, Барнаул, Пр. Красноармейский, д. 59а, тел.:8(3852)290788.

Стальная Мая Ивановна, к.т.н., проф. кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 656056, Барнаул, Ул. Никитина, д. 59а, тел.: 89619900608, e-mail: vens-1@ya.ru.

Еремочкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доценткафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 658080, Новоалтайск, ул. 8 микрорайон, д. 1/2; тел.: 8-923-166-9110, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Титова Анастасия Андреевна, студент магистратуры кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 658087, Новоалтайск, ул. Октябьская, д. 35; тел.: 8-913-252-1491, e-mail: titova_agtu@mail.ru.

Королёв Дмитрий Анатольевич, студент магистратуры кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 656006, Барнаул, ул. Власихинская д. 87; тел.: 8-960-958-7672, e-mail: 22korolev22@mail.ru.

ENERGY EFFICIENT DEVICE FOR SPEED REGULATION OF THE ONE - PHASE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

TitovaA. A., KorolevD. A., HalinaT.M., StalnayaI.,EremochkinS.

An energy-efficient device for regulating the speed of an electric motor with the possibility of reversing is proposed. An algorithm for the operation of this device is given. Describe its merits.

Keywords: speed control, asynchronous motor, vector-algorithmic control

Bibliography

1. Eremochkin, S.YU. Odnofazno-trekhfaznyj ehlektroprivod dlya sel'skohozyajstvennyh ehlektroficirovannyh mashin [Tekst] / S.YU. Eremochkin // Agrarnyj vestnik Urala. – 2012. – №7. – S. 49-52.
2. Stal'naya, M. I. Avtomatizirovannyj ehlektroprivod [Tekst]: uchebnoe posobie / M. I. Stal'naya, A. M. Golovachev, S. YU. Eremochkin, A. S. Vedmankin. – Barnaul: FBGOU VO "Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. I.I. Polzunova", 2016. – 91 s.
3. Stal'naya, M.I. Poluprovodnikovoe ustrojstvo regulirovaniya skorosti odnofaznogo dvuhobmotochnogo asinhronnogo ehlektrodvigatelya s yavno vyrazhennym zvenom postoyannogo toka [Tekst]: patent 2613645 Ros. Federaciya. №2015157024; zayavl. 29.12.2015; opubl. 16.03.2017, Byul. №8 / Eremochkin S.YU., Korolev D.A., Titova A.A.// . – 2017.
4. Stal'naya, M.I. Modelirovanie ehlektromekhanicheskikh harakteristik trekhfaznogo ehlektrodvigatelya s preobrazovatelem, vypolnennym po skheme odnofaznaya set' - trekhfaznaya set' [Tekst] / Eryomochkin S.YU. // EHlektrotehnika. – 2016. – №12. – S. 60-63.
5. Halina, T. M. Ocenka ehffektivnosti ispol'zovaniya trekhfaznyh asinhronnyh ehlektrodvigatelej v odnofaznoj seti pri vektorno-algoritmicheskom upravlenii [Tekst] / Stal'naya M. I., Eremochkin S. YU. // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – №12. – S. 103-107.
6. Eremochkin, S.YU. Issledovanie i raschet mekhanicheskoy harakteristiki trekhfaznogo asinhronnogo korotkozamknutogo ehlektrodvigatelya, zapusk i rabota kotorogo osushchestvlyayetsya ot odnofaznoj seti posredstvom vektorno-algoritmicheskoy kommutacii statornyh obmotok [Tekst] / S.YU. Eremochkin // Polzunovskij vestnik. – 2013. – №4–2. – S. 72-77.
7. Eremochkin, S. YU. Algoritmicheskaya sistema upravleniya trekhfaznym asinhronnym dvigatelem [Tekst] / S.YU. Eremochkin // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2012. – №3. – S. 136-139.
8. Eremochkin, S. YU. Regulirovanie chastoty vrashcheniya trekhfaznogo asinhronnogo korotkozamknutogo dvigatelya vektorno-algoritmicheskim sposobom [Tekst] / Korolyov D. A., Titova A. A. // EHnergetika. Innovacionnye napravleniya v ehnergetike. CALS-tehnologii v ehnergetike. – g. Perm': Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2015. – S. 154-159.
9. Stal'naya, M.I. Modelirovanie ehlektromekhanicheskikh harakteristik trekhfaznogo ehlektrodvigatelya s preobrazovatelem vektorno-algoritmicheskogo tipa v srede MATLAB SIMULINK [Tekst] / S.YU. Eremochkin // EHlektroprivody peremennogo toka: Trudy shestnadcatoj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii – g. Ekaterinburg, 05-09 oktyabrya 2015 g. Ekaterinburg: FGAOU VPO «UrFU imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N.El'cina», 2015. – S. 145-148.
10. Stal'naya, M.I. Programmnoe obespechenie dlya rascheta mekhanicheskikh harakteristik trekhfaznogo asinhronnogo ehlektrodvigatelya s korotkozamknutym rotorom pri vektorno-algoritmicheskoy kommutacii statornyh obmotok [Tekst] / Eremochkin S.YU., Pivkina T.N. // Polzunovskij vestnik. – 2014. – №2. – S. 20-23.

Halina Tatyana Mikhaelovna, the Dr.Sci.Tech., the prof., the head of the department "Electrical equipment and the automated electric drive" of ALTGTU of I. I. Polzunov (the Russian Federation, Barnaul); postal address: 656049, Barnaul, Krasnoarmeysky Ave., 59a, ph.: 8(3852)290788.

StalnayaMai Iwangovna, PhD in Technological Sciences, prof. of "Electrical Equipment and the Automated Electric Drive" department of ALTGTU of I. I. Polzunov (Russian Federation, Barnaul); postal address: 656056, Barnaul, Nikitin St., 59a, ph.: 89619900608, e - mail: vens-1@ya.ru.

Eremochkin Sergey Yuryevich, PhD in Technological Sciences, the associate professor "Electrical equipment and the automated electric drive" the Altai state technical university of I. I. Polzunov (the Russian Federation, Barnaul); postal address: 658080, Novosibirsk, st. 8th residential district, 1/2; ph.: 8-923-166-9110, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Titova Anastasia Andreevna, student of a magistracy of "Electrical Equipment and the Automated Electric Drive" department Altai state technical university of I. I. Polzunov (Russian Federation,

Barnaul); postal address: 658087, Novoaltaysk, Oktyabrskaya St., 35; ph.: 8-913-252-1491, e-mail: titova_agtu@mail.ru.

KorolevDmitry Anatolyevich, student of a magistracy of "Electrical Equipment and the Automated Electric Drive" department Altai state technical university of I. I. Polzunov (Russian Federation, Barnaul); postal address: 656006, Barnaul, Vlasikhinskaya St. of 87; ph.: 8-960-958-7672, e-mail: 22korolev22@mail.ru.

УДК 621.311 : 631.371: 658.382.3

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Дробязко О.Н.

*Россия, г. Барнаул, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова*

Охарактеризована теория технических систем обеспечения электробезопасности, отмечена необходимость проведение дополнительных исследований физиологического явления отдергивания руки.

Ключевые слова: теория технических систем обеспечения электробезопасности, эффект отдергивания руки.

Проблема обеспечения безопасности людей при эксплуатации электроустановок является неотъемлемой частью проблем электроэнергетики. Средством обеспечения электробезопасности являются специальные организационно-технические системы, действующие в различных сферах жизнедеятельности людей, к которым относятся различные отрасли экономики, а также сфера быта.

Вопросы построения эффективных систем обеспечения электробезопасности рассматриваются в рамках теории обеспечения безопасности электроустановок. Основы такой теории в сельском хозяйстве начали закладываться в конце 70-х годов прошлого века. Работы в этом направлении велись во Всесоюзном НИИ электрификации сельского хозяйства, в его филиалах, а также в некоторых высших учебных заведениях (в частности, в Алтайском государственном техническом университете).

В это же время А.И. Якобсом была сформулирована основная научная задача, решение которой позволит завершить создание современных теоретических основ электробезопасности. Она формулировалась как типичная прогнозно-оптимизационная: разработать метод построения системы электробезопасности, обеспечивающей заданный уровень электробезопасности при наименьших приведенных затратах, или обеспечивающей при заданных затратах наивысший уровень электробезопасности [1,2].

Можно утверждать, что к настоящему времени теоретические основы электробезопасности созданы. В первую очередь, они разработаны для отрасли сельского хозяйства. Однако многие положения теории обеспечения безопасности электроустановок могут быть использованы в других отраслях экономики и сферах жизнедеятельности людей.

Следует также уточнить, что теоретические основы обеспечения электробезопасности в наиболее полной форме разработаны для технических систем обеспечения электробезопасности (ТСОЭБ). Такие системы локализованы в пределах некоторых помещений и состоят из двух подсистем: подсистемы аппаратов защиты, установленной в системе электроснабжения помещения, и подсистемы защитных проводников.

Современная теория обеспечения электробезопасности опирается на несколько подходов и концепций [3].

Объектный подход предусматривает учет состояния электробезопасности некоторых объектах, на которых осуществляется регулярное взаимодействие людей и электроустановок.

Вероятностный подход опирается на положение о том, что электропоражение – случайное явление (событие). Его вероятность может быть подсчитана в виде суммы произведений некоторых элементарных событий. Вероятности части элементарных событий рассчитываются по специальным методикам, опирающимся на более элементарные «вероятностные компоненты» (такие как, распределения токов через тело человека, функцию опасности токов через тело человека и др.).

Системный подход предусматривает выделение различных систем, в рамках которых оценивается состояние электробезопасности людей. В частности, выделяется система «электроустановки - ТСОЭБ - люди».

Концепция оптимальности предусматривает нахождение оптимальной структуры и параметров ТСОЭБ на объекте, а также на множестве объектов.

В рамках теории построены математические структурно-вероятностные модели, позволяющие учесть учитывающие взаимодействие факторов, определяющих состояние электробезопасности людей на объекте. Разработаны программные средства, реализующие алгоритмы моделирования и методы оптимизации систем.

Вместе с тем, имеются отдельные нерешенные вопросы, оказывающие влияние на достоверность результатов, получаемых на основе теории обеспечения электробезопасности.

Теория обеспечения электробезопасности опирается на результаты исследований по электрофизиологии человека. Так, в ней учтены эффект неотпускания, эффект фибрилляции.

В рамках вероятностного подхода в рассматриваемой теории учтены распределения порогового неотпускающего тока, порогового фибрилляционного тока [4]. В [3] введено понятие функции опасности тока. Такая функция описывает зависимость вероятности электропоражения человека (попавшего под напряжение) от двух переменных – величины тока, протекающего по телу человека, и длительности протекания тока.

Представление о численных значениях такой функции может быть составлено на основе материалов, приведенных в [4,5]. Такой учет позволил (с учетом распределений значений токов через тело человека) подсчитывать условные вероятности электропоражений, а затем, на их основе, и вероятности электропоражений людей на объекте за некоторый период времени.

Тем не менее, при моделировании процессов электропоражений людей на объекте приходится учитывать еще один аспект физиологии электропоражений людей. Он касается физиологической реакции руки человека, коснувшейся проводящей части электроустановки. Такая реакция напрямую зависит от формы этой проводящей части.

Если проводящая часть имеет «стержневую» форму (неизолированный провод, шина распределительного устройства и др.), то возможно возникновение эффекта неотпускания, заключающегося в рефлексном обхватывании ладонью ОПЧ электроустановки и невозможности самостоятельного разрыва цепи тока.

Если же проводящая часть имеет другую форму (плоскость, криволинейная поверхность и др.), то при ее касании ладонь не обхватывает ОПЧ. Тогда возникает эффект отдергивания руки. Описание физиологической реакции руки для второго случая было предложено в [6] А.И. Якобсом. Он описывает его следующим образом: «при прикосновении человека к находящемуся под фазным напряжением корпусу прибора и попадании под напряжение прикосновения, действующего по пути рука-рука или рука-ноги, в случае отсутствия или отказа автоматических систем - зануления или (и) защитного отключения – или срабатывания таких систем за время более 0,7 с человек

самопроизвольно импульсивно разрывает электрическую цепь (например, отдергивает руку от корпуса прибора) за время 0,2 - 0,7 с, распределенное по закону равномерной плотности».

Следует подчеркнуть, что описываемый эффект может наблюдаться как при прямом прикосновении, так и при косвенном прикосновении (как при прикосновении к токоведущим частям (ТВЧ), находящимся под напряжением, так и при прикосновении к открытым проводящим частям (ОПЧ), оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции).

В рамках теории ТСОЭБ на объекте предполагается, прежде всего, наличие неизменного по составу неэлектротехнического персонала. Люди, относимые к этой категории, регулярно взаимодействуют с электроустановками, касаясь их ОПЧ в процессе выполнения своих служебных обязанностей. При этом они касаются проводящих частей, имеющих «нестержневую» форму. В принципе, в результате нарушения правил техники безопасности, они также могут коснуться и ТВЧ электроустановок, имеющих «стержневую» форму.

Теория ТСОЭБ может учитывать наличие на объекте и электротехнического персонала. В принципе, в результате нарушения правил техники безопасности, такие люди могут коснуться и ТВЧ электроустановок объекта. Такие части, как правило, имеют «стержневую» форму.

Автором данной статьи были разработаны математические модели, учитывающие эффект отдергивания руки [3]. При этом при моделировании дополнительно предусматривается учет вида проводящих частей, которых могут касаться люди на объекте. Таким образом, в теории ТСОЭБ учтен рассматриваемый вариант физиологической реакции.

Тем не менее, следует иметь в виду, что учет эффекта отдергивания руки в настоящее время не является общепризнанным среди специалистов в области электробезопасности и не имеет нормативной поддержки.

Такое положение должно быть принято (или не принято) учеными, работающими в области электробезопасности. Более обоснованным было бы принятие заключения о наличии эффекта отдергивания руки (и его характеристиках) на основе проведения специальных экспериментов. В принципе, источником информации об этом эффекте мог бы быть и анализ случаев электропоражений. Однако, такой «детализированный» учет особенностей электропоражений, учитывающий длительность воздействия тока, в настоящее время не ведется. Отсутствует также какая-либо документированная информация о случаях отдергивания руки при попадании людей под напряжение, не сопровождавшихся электропоражениями.

Таким образом, для обоснованного применения разработанной теории в случае необходимости учета эффекта отдергивания руки необходимо проведение дополнительных исследований, аналогичных тем, которые предпринимались зарубежными и отечественными электрофизиологами в прошлом веке.

Список литературы

1. Якобс, А.И. Направления научных исследований по электробезопасности в сельском хозяйстве [Текст] / А.И. Якобс // Электробезопасность сельскохозяйственного производства / Науч. тр. ВИЭСХ. -М., -1977. - Т.43. – С.3-15.
2. Якобс, А.И. Развитие научных основ электробезопасности в сельском хозяйстве [Текст] / А.И. Якобс // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1977. - № 9. - С.12 - 15.
3. Дробязко, О.Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса [Текст] : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: / Олег Николаевич Дробязко - Барнаул, 2006. - 44 с.

4. Якобс, А.И. Электробезопасность в сельском хозяйстве [Текст] / А.И. Якобс, А.В. Луковников. -М.: Колос, 1981. - 239 с.
5. Маньков, В.Д. Обеспечение безопасности при работе в ПЭВМ: Практическое руководство [Текст] / А.И. Маньков. – СПб.: Политехника, 2004.-277 с.
6. Якобс, А.И. Анализ электрозащитной эффективности зануления и устройств защитного отключения применительно к бытовым электроприборам, питаемым от однофазных сетей 220 В жилых и общественных зданий [Текст] / А.И. Якобс, М.Е. Вайнберг, А.В. Кузилин // Промышленная энергетика. -1996.-№ 2.- С.35- 43.

Дробязко Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, адрес места работы - 656038, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, домашний телефон (с кодом города); +7(3852) 46-47-62, Адрес e-mail - drolnik@List.ru , моб. тел. - 8-923-004-87-70.

SOME ISSUES OF ELECTRICAL SAFETY TECHNICAL SYSTEMS THEORY

Drobjazko O.N.

Russia, Barnaul, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

The electrical safety technical systems theory was described the necessity to conduct additional studies of withdrawal hand physiological effects was noted.

Keywords: electrical safety technical systems theory, hand withdrawal effect.

Bibliography

1. Yakobs, A.I. Napravleniya nauchnyh issledovaniy po ehlektrobezopasnosti v selskom hozyajstve [Tekst] / A.I. YAkobs // Ehlektrobezopasnost selskohozyajstvennogo proizvodstva / Nauch. tr. VIEHSKH .-М.,-1977.- Т.43. – С.3-15.
2. Yakobs, A.I. Razvitie nauchnyh osnov ehlektrobezopasnosti v selskom hozyajstve [Tekst] / A.I. Yakobs // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya socialisticheskogo selskogo hozyajstva. - 1977. - № 9. - С.12 - 15.
3. Drobjazko, O.N. Optimalnye strategii sozdaniya sistem bezopasnosti ehlektroustanovok agropromyshlennogo kompleksa [Tekst] : avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk: / Oleg Nikolaevich Drobjazko-Barnaul,2006.- 44 s.
4. Yakobs, A.I. Ehlektrobezopasnost v selskom hozyajstve / A.I. Yakobs, A.V. Lukovnikov. -М.: Kolos, 1981. - 239 s.
5. Mankov, V.D. Obespechenie bezopasnosti pri rabote v PEHVM: Prakticheskoe rukovodstvo [Tekst] /A.I. Mankov. – SPb.: Politehnika, 2004.-277 s.
6. Yakobs, A.I. Analiz ehlektrozashchitnoj ehffektivnosti zanuleniya i ustrojstv zashchitnogo otklyucheniya primenitelno k bytovym ehlektropriboram, питаемым от однофазных сетей 220 В жилых и обшchestvennyh zdaniy [Tekst] / A.I. Yakobs, М.Е. Vajnberg, A.V. Kuzilin // Promyshlennaya ehnergetika. -1996. -№ 2. - С.35- 43.

Drobjazko Oleg Nikolaevich, Ph.D, professor, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, workplace address: 656038, The Siberian Federal district, Altai krai, Barnaul, Lenin Avenue, 46; home phone (with city code): +7 (3852) 46-47-62, E-mail address: drolnik@List.ru , mob. phone: 8-923-004-87-70.

СЕКЦИЯ №6. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Руководитель:

Попова Людмила Владимировна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Бухгалтерский учет и налогообложение», ФГБОУ ВО «Орловский

УДК 657.47

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ КАК СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Васильева М.В., Алимов С.А.

Россия, г. Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.Тургенева»

В статье рассмотрены основные направления построения эффективной системы управленческого учета затрат по центрам ответственности в организациях, оказывающих услуги по транспортировке и предоставлению газа потребителям, система формирования себестоимости в управленческом учете по центрам ответственности, что позволит формировать информацию о себестоимости отдельных видов услуг, выручке и финансовом результате по каждой хозяйственной службе, газовому участку и тресту в целом.

Ключевые слова: управленческий учет; центры ответственности; газоснабжение; транспортировка газа, предоставление газа потребителям

Конечный результат финансово-хозяйственной деятельности организации за отдельно взятый период зависит от множества факторов. В частности, для эффективного управления предприятием необходимо знать, где именно возникают затраты и что обеспечивает наибольшую прибыль. Система управленческого учета по центрам ответственности позволяет делегировать ответственность структурным подразделениям организации. При этом каждое подразделение организации вносит свой вклад в конечный финансовый результат и должно нести ответственность за свои действия: осуществлять планирование, отчитываться по результатам. Разделение ответственности между подразделениями, позволяет определить, кто и за что в организации реально отвечает, получить возможность оценить результаты и оперативно скоординировать действия подразделений, создать грамотную систему мотивации сотрудников для выполнения поставленных задач.

Для усиления контроля за формированием себестоимости и целевым использованием ресурсов в организациях газоснабжения целесообразно организовать управленческий учет затрат по центрам ответственности.

Классификация центров затрат в организациях газоснабжения должна способствовать не только выявлению причинно-следственных связей с целью получения учетных данных о том, что было израсходовано, но и определению мест такого потребления на конкретные виды услуг транспортировки и предоставления природного газа потребителям во времени и в количественно-стоимостных измерителях. Таким образом, учет по местам возникновения затрат позволяет получить информацию о том, какие ресурсы и в каком объеме потреблялись структурными подразделениями организации по каждому виду услуг оказываемых организациями газоснабжения.

Представим на рисунке 1 структуру центров затрат в организациях газоснабжения на примере филиала ОАО «Орелоблгаз» Межрайонный газовый трест «Кромымежрайгаз».

Выделение центров затрат в организациях газоснабжения зависит от специфики деятельности организации и прежде всего от двух важнейших факторов: организационной структуры и функциональной структуры (конкретных сфер производственно-хозяйственной деятельности). При этом местами возникновения затрат являются не только производственные, но и непроизводственные подразделения организации.

Мероприятия, которые необходимо провести для организации управленческого учета по центрам затрат и результаты данных мероприятий, представлены на рисунке 2.

Система управленческого учета по центрам затрат позволяет сформировать информационную базу для анализа как финансовых, так и технико-экономических параметров отдельных видов услуг транспортировки и предоставления природного газа потребителям в исследуемой организации, что особенно важно для принятия управленческих решений менеджерами в организациях газоснабжения.

Формирование эффективной системы управленческого учета по центрам ответственности в организациях газоснабжения требует организации системы аналитического учета, в соответствии с выделенными центрами. Так, при разработке системы аналитического учета прямых затрат основного производства по транспортировке и предоставлению природного газа потребителям необходимо обеспечить раздельное кодирование номеров субсчетов к счету 20 «Основное производство» по газовым участкам, входящим в состав организации газоснабжения, хозяйственным службам структурных подразделений и осуществляемым ими видам деятельности.

Аналогичный порядок формирования субсчетов целесообразно применять и при отражении доходов от оказания услуг транспортировки и предоставления природного газа потребителям, оказываемых организациями газоснабжения. В дальнейшем аналитический код необходимо проставлять на первичных учетных документах, что позволяет выявлять прямые доходы и расходы, имеющие отношение к аналитическому объекту.

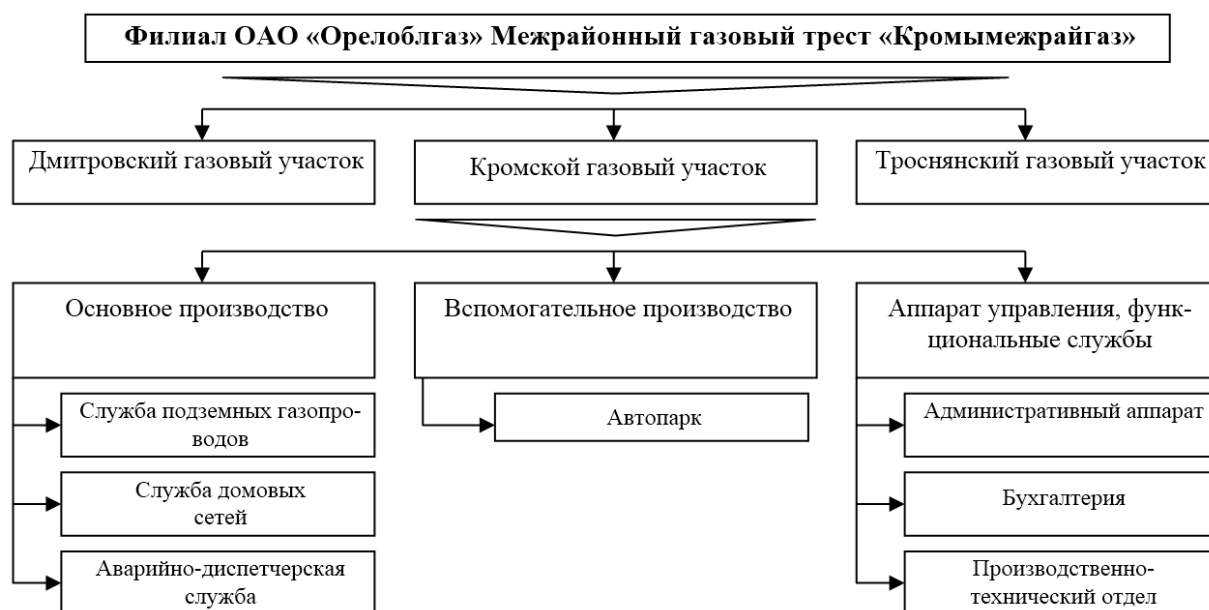


Рисунок 1 – Структура центров затрат филиала ОАО «Орелоблгаз» Межрайонный газовый трест «Кромымежрайгаз»

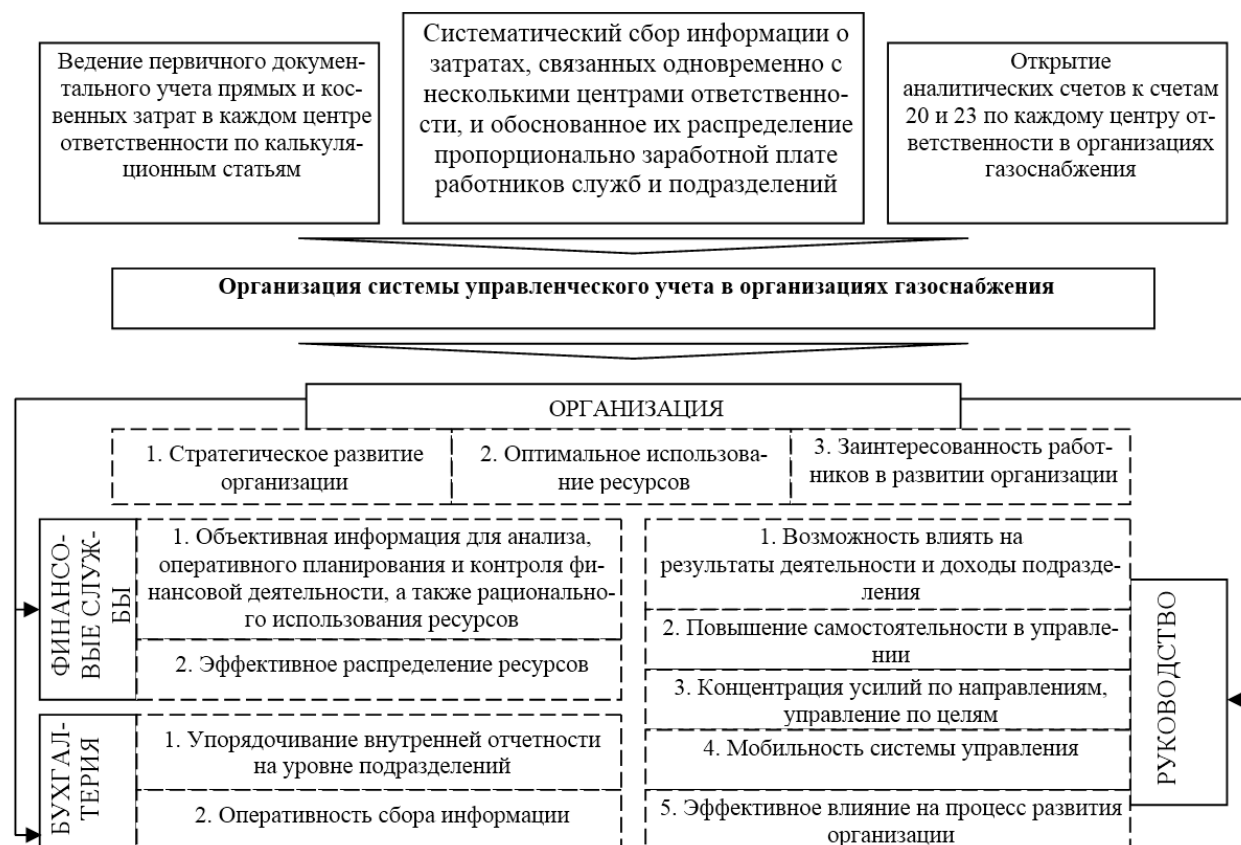


Рисунок 2 – Мероприятия по организации системы управленческого учета по центрам ответственности в организациях газоснабжения и достигаемые результаты от ее внедрения

Расходы на содержание и эксплуатацию автомобильного транспорта (расходы вспомогательного производства) в системе управленческого учета по центрам ответственности целесообразно первоначально формировать по газовым участкам в организациях газоснабжения, так как для осуществления производственно-хозяйственной деятельности каждым структурным подразделением используется свой транспорт. Сформированная за отчетный период сумма расходов вспомогательного производства распределяется между хозяйственными службами организации пропорционально заработной плате работников. Затем, если служба осуществляла несколько видов деятельности, то затраты на содержание и эксплуатацию автомобильного транспорта включаются в себестоимость конкретного вида услуг пропорционально выручке от оказания услуг. Представим на рисунке 3 схему распределения затрат вспомогательного производства в организациях газоснабжения.

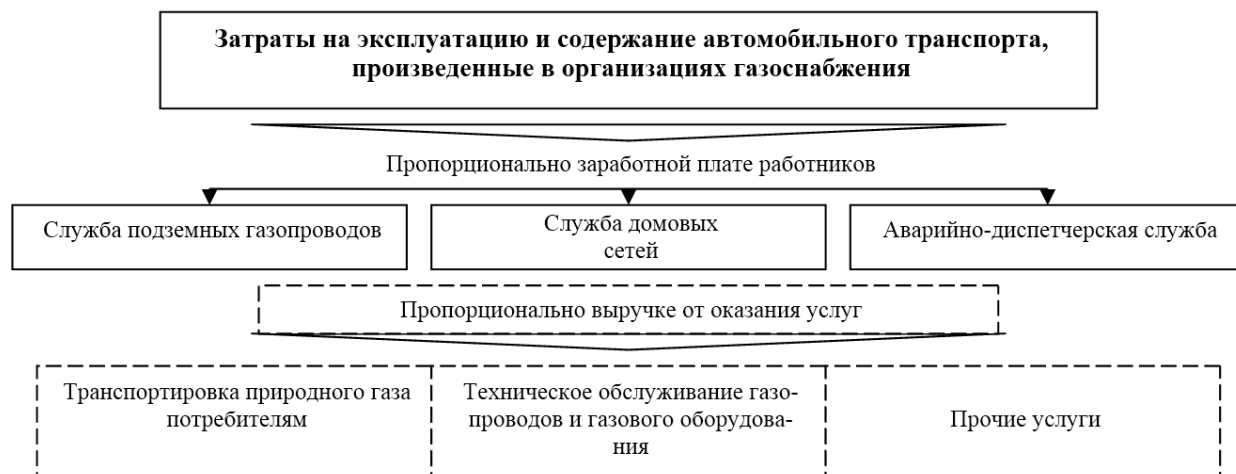


Рисунок 3 - Схема распределения затрат вспомогательного производства в организациях газоснабжения



Рисунок 4 – Система формирования себестоимости в управленческом учете по центрам ответственности филиала ОАО «Орелоблгаз» трест «Кромымежрайгаз»

Рассмотрев порядок управленческого учета прямых затрат основного и вспомогательного производств по центрам ответственности представим графически систему формирования себестоимости в управленческом учете по центрам ответственности на примере филиала ОАО «Орелоблгаз» Межрайонный газовый трест «Кромымежрайгаз» (рисунок 4).

Предложенная система управленческого учета по центрам ответственности в организациях газоснабжения позволяет формировать информацию о себестоимости отдельных видов услуг, выручке и финансовом результате по каждой хозяйственной службе, газовому участку и тресту в целом. Кроме того, предоставляемая информация позволяет проводить глубокий управленческий анализ показателей финансово-хозяйственной деятельности организации. Недостатком данной системы является трудоемкость процесса учета, но современное программное обеспечение по автоматизации управленческого учета в организации предоставляет возможность решить

эту проблему и оперативно получать необходимую управленческому персоналу качественную информацию.

Список литературы

1. Алимов, С.А. Методика управленческого учета формирования финансового результата от оказания услуг по транспортировке и предоставлению природного газа потребителям [Текст] / С.А. Алимов // Управленческий учет. – Москва, 2011. – №2. – С. 3–10.
2. Архипов, Э.Л. Модель интегрированной системы финансового и управленческого сетевого учета [Текст] / Э.Л. Архипов // Управленческий учет, 2008. – №7. – с. 76-81
3. Вахрушина, М.А. Бухгалтерский управленческий учет [Текст]: учеб. для студентов вузов, обучающихся по экон. специальностям / М.А. Вахрушина. – 6-е изд., испр. – М.: Омега-Л, 2007. – 570с.
4. Воронова Е.Ю. Управленческий учет [Текст] / Е.Ю. Воронова. – М.: Юрайт, 2016. – 430 с.

Васильева Марина Владимировна, д-р экон.наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». Тел. (4862) 41-98-60; e-mail: vita_977@mail.ru.

Алимов Сергей Александрович, канд.экон.наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». Тел. (4862) 41-98-60; e-mail: alimov_sergei@mail.ru.

IMPLEMENTATION OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CENTERS OF LIABILITY AS IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF THE MANAGEMENT SYSTEM IN GAS SUPPLIES ORGANIZATIONS

Vasilyeva M.V., Alimov S.A.
Russia, Orel, Oryol State University

In the article the main directions of building an effective system of management accounting of costs by responsibility centers in organizations providing services for transportation and delivery of gas to consumers, the system of cost formation in management accounting by responsibility centers, which will allow to generate information on the cost of certain types of services, revenue and Financial result for each economic service, gas sector and trust in general.

Keywords: management accounting; Responsibility centers; Gas supply; Gas transportation, gas supply to consumers

Bibliography

1. Alimov, S.A. Metodika upravlencheskogo ucheta formirovaniya finansovogo rezul'tata ot okazaniya uslug po transportirovke i predostavleniju prirodnogo gaza potrebiteljam [Tekst] / S.A. Alimov // Upravlencheskij uchet. – Moskva, 2011. – №2. – S. 3–10.
2. Arhipov, Je.L. Model' integrirovannoj sistemy finansovogo i upravlencheskogo setevogo ucheta [Tekst] / Je.L. Arhipov // Upravlencheskij uchet, 2008. – №7. – s. 76-81
3. Vahrushina, M.A. Buhgalterskij upravlencheskij uchet [Tekst]: ucheb. dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po jekon. special'nostjam / M.A. Vahrushina. – 6-e izd., ispr. – M.: Omega-L, 2007. – 570s.
4. Voronova E.Ju. Upravlencheskij uchet [Tekst] / E.Ju. Voronova. – M.: Jurajt, 2016. – 430 s.

Vasilyeva Marina Vladimirovna, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Accounting and Auditing, Orel state University named after I.S. Turgenev. Tel. (4862) 41-98-60 E-mail: vita_977@mail.ru.

Alimov Sergey Aleksandrovich, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the Accounting and Audit Department, Orel state University named after I.S. Turgenev. Tel. 41-98-60 E-mail: alimov_sergei@mail.ru.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Попова Л.В., Дудина К.Э.

Россия, г. Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрены особенности использования функционально-стоимостного анализа в процессе управления ресурсосбережением на промышленном предприятии на примере изготовления окон.

Ключевые слова: управление, функционально-стоимостной анализ, ресурсосбережение, промышленность

Одним из обязательных условий эффективной деятельности современного промышленного предприятия выступает соответствие выпускаемой продукции требованиям потребителя. При этом важнейшей задачей, стоящей перед руководством предприятия, является выбор методов, с помощью которых будет осуществляться управление ресурсосбережением. Используемые методы должны составлять комплексную систему. В этой связи предлагается внедрение системы управленческого анализа, в частности функционально-стоимостного анализа.

В большинстве нормативных материалов, разработанных в разных отраслях промышленности, в литературных источниках по методике и практике применения функционально-стоимостного анализа в Российской Федерации, типовой рабочий план его проведения представлен в форме семи последовательно выполняемых этапов: подготовительный этап, информационный этап, аналитический этап, творческий этап, исследовательский этап, рекомендательный этап, этап внедрения[2]. Таким образом, работа по данному виду анализа строится на алгоритмическом принципе, при котором каждая последующая процедура опирается на результаты предыдущей, позволяя откорректировать ее результаты, и выполняются по определенным правилам.

Рассмотрим процесс управления ресурсосбережением на примере функционально-стоимостного анализа окна. На рисунке 1 представлена структурная модель анализируемого объекта.

Основными элементами окна являются стеклопакет и оконный профиль, следовательно, далее необходимо рассмотреть классификацию оконных профилей (Таблица 1).

На данном этапе получены первые варианты структурно-элементной модели, функциональной модели изучаемой системы, блок-схемы.

Задача следующего, аналитического, этапа состоит в анализе функций и затрат на их осуществление как по объекту функционально-стоимостного анализа в целом, так и по составляющим его элементам (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Структурная модель окна

Таблица 1 – Классификация оконных профилей

Классификационный признак	Виды окон
По материалу изготовления	деревянные; поливинилхлоридные; из алюминиевых сплавов; стальные; стеклопластиковые; комбинированные
По вариантам заполнения светопрозрачной части изделия	с листовым стеклом; со стеклопакетами; с листовым стеклом и стеклопакетами.
По назначению изделия	предназначенные для применения в жилых, общественных, производственных и других видах зданий и сооружений.

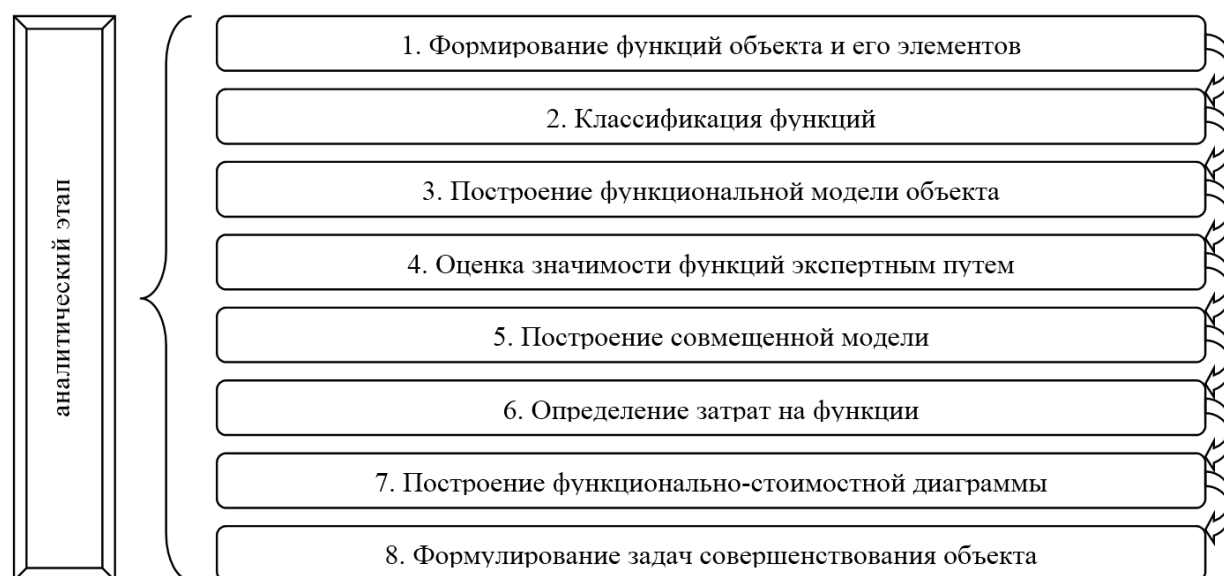


Рисунок 2 – Последовательность выполнения аналитического этапа функционально-стоимостного анализа

Согласно рисунку 2, на этом этапе проводится более глубокое изучение объекта, состоящее в формировании функций объекта и его элементов (Таблица 2).

Данные таблицы 2 свидетельствуют об отсутствии у объекта исследования ненужных функций. Большая доля затрат приходится на функцию Ф2. Следовательно, оптимизации необходимо подвергнуть оконный профиль, так как на его производство приходится наибольшая доля общих издержек производства, 73,92%.

Таблица 2 – Классификация основных функций окна, и его элементов

Наименование структурного элемента	Функция		Классификация функций				Стоимость функции	Доля в общей стоимости изделия, %
			Главная	Основная	Вспомогательная	Ненужная		
Окно	Ф0		+	-	-	-	2030,00	15,76
Стеклопакет	Ф1	Пропускает свет, защищает от воздействия внешней среды	-	+	-	-	320,00	73,92
Оконный профиль	Ф2	Держит стеклопакет	-	+	-	-	1500,52	1,72
Фурнитура	Ф3	Обеспечивает надежное функционирование	-	-	+	-	35,00	0,52
Штапик	Ф4	Плотное соединение всех элементов окна	-	-	+	-	10,48	2,66
Откосы	Ф5	Закрывают торцы стен	-	-	+	-	54,00	5,42
Подоконник	Ф6	Препятствует проникновению холодного воздуха и утечки теплого	-	-	+	-	110,00	15,76

В результате проведенных исследований выявлена зона наибольшей концентрации затрат, на основании чего сформулированы задачи по усовершенствованию объекта с целью сокращения затрат на его производство.

На последнем шаге из общего количества предложений выбирают 2-3 наиболее перспективных, по мнению специалистов, варианта усовершенствования объекта.

Проведем анализ предложенного варианта окна (Таблица 3)

Таблица 3 – Оценка результатов, полученных при проведении ФСА

Наименование структурного элемента	Издержки производств, руб.		Отклонения, руб.
	До проведения ФСА	После проведения ФСА	
Стеклопакет	320,00	320,00	-
Оконный профиль	1500,52	1215,00	-285,52
Фурнитура	35,00	35,00	-
Штапик	10,48	10,48	-
Откосы	54,00	54,00	-
Подоконник	110,00	110,00	-
Итого	2030,00	2030,00	-285,52

Проанализировав данные таблицы 3, видим, что при применении предложенного варианта происходит снижение себестоимости окна на 285,52 руб.

Этап считается законченным, так как все идеи решения данной задачи оценены и из них выбраны те, по которым нет сомнений с точки зрения их осуществимости и экономической целесообразности.

Таким образом, достоинство функционально - стоимостного анализа в процессе управления ресурсосбережением на промышленном предприятии заключается в том, что метод сочетает в себе технику и экономику, оптимизируя соотношения между потребительскими свойствами продуктов труда и затратами на создание этих свойств.

Список литературы

1. Герасимов, В.М. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: Методические рекомендации[Текст] / В.М. Герасимов, В.С. Калиш, М.Г. Карпунин, А.М. Кузьмин, С.С. Литвин. - М.: Информ-ФСА, 1991. - 40 с.

2. Дудина, К.Э. Особенности современной концепции функционально-стоимостного анализа[Текст] / К.Э. Дудина // Концепция формирования налоговой системы на базе интеграции учетных и аналитических процедур: материалы международной научно-практической конференции (19-21 ноября 2013 года). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013.

3. Кузьмина, Е.А. Функционально-стоимостной анализ. Концепции и перспективы[Текст] / Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. - 2002. № 8.- С.8-15.

4. Попова, Л.В. Особенности проведения функционально-стоимостного анализа в России и США[Текст] / Л.В. Попова, К.Э. Дудина // Управленческий учет. – 2013. - № 11. – С. 42-55.

Попова Людмила Владимировна, д-р экон.наук, профессор, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», заведующая кафедрой бухгалтерского учета и аудита, тел. (4862)41-98-60, E-mail: lvp_134@mail.ru.

Дудина Кристина Эдуардовна, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», аспирант, ассистент кафедры бухгалтерского учета и аудита. тел. (4862)41-98-60, e-mail: du-kr@yandex.ru.

FUNKTSIONALNO-COST ANALYSIS AND RESOURCE-SAVING MANAGEMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Popova L.V., Dudina K.E.
Russia, Orel, OrelState University

In the article the peculiarities of the use of value analysis in the process of resource-saving management at the industrial enterprise on the example of the production of Windows.

Key words: management, value analysis, resource conservation, industry

Bibliography

1. Gerasimov, V.M. Osnovnyepolozhenijametodikiprovedenijafunkcional'no-stoimostnogoanaliza: Metodicheskierekomendacii[Текст] / V.M. Gerasimov, V.S. Kalish, M.G. Karpunin, A.M. Kuz'min, S.S. Litvin. - М.: Inform-FSA, 1991. - 40 s.

2. Dudina, K.Je. Osobennosti sovremennoj koncepcii funkcional'no-stoimostnogo analiza [Текст] / K.Je. Dudina // Концепция формирования налоговой системы на базе интеграции учетных и аналитических процедур: материалы международной научно-практической конференции (19-21 ноября 2013 года). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013.

3. Kuz'mina, E.A. Funkcional'no-stoimostnoj analiz. Koncepcii i perspektivy [Текст] / E.A. Kuz'mina, A.M. Kuz'min // Методы менеджмента качества. - 2002. № 8.- С.8-15.

4. Popova, L.V. Osobennosti provedenija funkcional'no-stoimostnogo analiza v Rossii i SShA [Текст] / L.V. Popova, K.Je. Dudina // Управленческий учет. – 2013. - № 11. – С. 42-55.

Popova Ludmila Vladimirovna, Doctor of economic sciences, professor, Orel State University, head of the Department of accounting and auditing, phone(4862)41-98-60, E-mail: lvp_134@mail.ru

Dudin Kristina Eduardovna, Orel State University, postgraduate student, assistant of c the Department of accounting and auditing. phone: (4862)41-98-60, E-mail: du-kr@yandex.ru.

УДК 657.6

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Маслова И.А., Алимова М.С.
Россия, г. Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.Тургенева»

В статье рассмотрены основные элементы экономического анализа и анализа природоохранной деятельности предприятий-природопользователей, особенности финансового учета проведения оценки экологических аспектов деятельности организации при определении эколого-экономической устойчивости,

основные этапы цикла управления и осуществления процесса природоохранных мероприятий в промышленных предприятиях, а также условия снижения достоверности финансовой отчетности и конечного финансового результата от показателей экологизации производства.

Ключевые слова: экологические показатели; природопользование; экологизация производства; экологические затраты

Финансовый учет экологических показателей отражает в учете оценку экологической составляющей в деятельности каждой организации, где важным аспектом является экологическая паспортизация. В рамках экологически ориентированного учетно-аналитического обеспечения влияния экологических показателей на формирование финансовых результатов необходимо провести комплексную оценку экологических аспектов деятельности предприятия и определить эколого-экономическую устойчивость хозяйствующей единицы.

Процесс проведения оценки экологических аспектов деятельности организации включает в себя анализ и изучение природоохранных и экологических аспектов деятельности организации в сравнении с производственными показателями.

Основные элементы экономического анализа и анализа природоохранной деятельности предприятий-природопользователей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные элементы экономического анализа и анализа природоохранной деятельности предприятий-природопользователей

<i>Экономический анализ природоохранной деятельности предприятий природопользователей</i>	
<i>ПРЕДМЕТ</i>	средо-защитные и средо восстановительные мероприятий объекта, в рамках которого реализуются природоохранные мероприятия;
<i>ЦЕЛЬ</i>	исследование источников информации, содержащих сведения о ходе и результатах природоохранных мероприятий.
<i>Анализ природоохранной деятельности предприятий-природопользователей</i>	
<i>ПРЕДМЕТ</i>	осуществляемые ими природоохранные мероприятия, отражаемые в источниках учетной и внеучетной информации;
<i>ЦЕЛЬ</i>	повышение их эффективности

Система эколого-экономических показателей призвана сформировать характеристики производственной и природоохранной деятельности.

Финансовый учет экологических показателей в промышленной деятельности предприятий для целей учетного процесса является исходной базой для принятия решений, определяющих снижение вредного воздействия на окружающую среду, выявления эффективности природоохранных затрат, оказывающих влияние на формирование конечного финансового результата.

Финансовый учет проведения оценки экологических аспектов деятельности организации, при определении эколого-экономической устойчивости представлен на рисунке 2.

Финансовый учет экологических показателей в промышленной деятельности предприятий является неотъемлемым элементом управления деятельности предприятия, исходной базой для выявления внутренних резервов, принятия решений, которые направлены на снижение вредного воздействия на окружающую среду и на выявление улучшения эффективности природоохранных затрат и оказывает влияние на формирование конечного финансового результата.

Реформирование бухгалтерского (финансового) учета под задачи анализа природоохранной деятельности, обоснование методов оценки эффективности природоохранных мероприятий позволят определить степень влияния экологических показателей на формирование финансового результата в деятельности промышленных

предприятий. Цикл управления и осуществления природоохранных мероприятий в промышленных предприятиях представлен на рисунке 2.

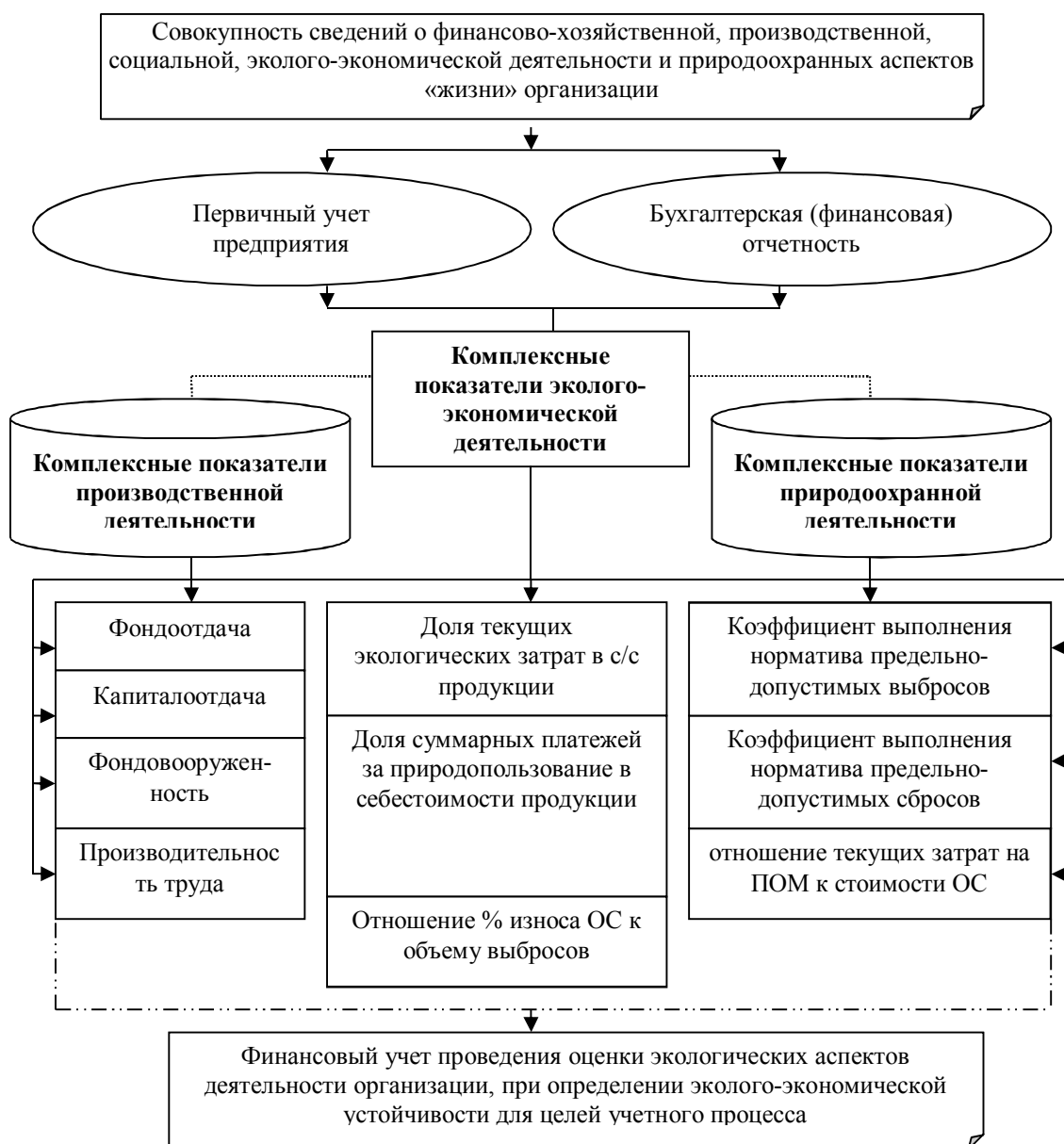


Рисунок 1 – Финансовый учет проведения оценки экологических аспектов деятельности организации при определении эколого-экономической устойчивости

Учет затрат на охрану окружающей среды демонстрирует влияние их объемов и динамики на финансовую устойчивость организаций.

Отсутствие в бухгалтерском (финансовом) учете и отчетности отражения экологических затрат, результатов, активов и обязательств в качестве самостоятельных объектов изучения ведет к снижению достоверности финансовой отчетности и конечного финансового результата.

Условия снижения достоверности финансовой отчетности и конечного финансового результата представлены на рисунке 3.

Таким образом, экономический анализ природоохранных мероприятий исследует показатели финансового результата природоохранных мероприятий их размер, динамику, структуру и удельный вес в общем объеме конечного финансового результата хозяйственной деятельности предприятия.

Принятие качественных управленческих решений, учитывая эколого-экономические факторы, базируется на детальном системном анализе природоохранной деятельности предприятия, отражаемой в системе аналитических показателей природоохранных мероприятий. Оптимальный выбор системы показателей анализа природоохранной деятельности оказывает существенные влияния на формирование конечного финансового результата.



Рисунок 2 – Цикл управления и осуществления процесса природоохранных мероприятий в промышленных предприятиях

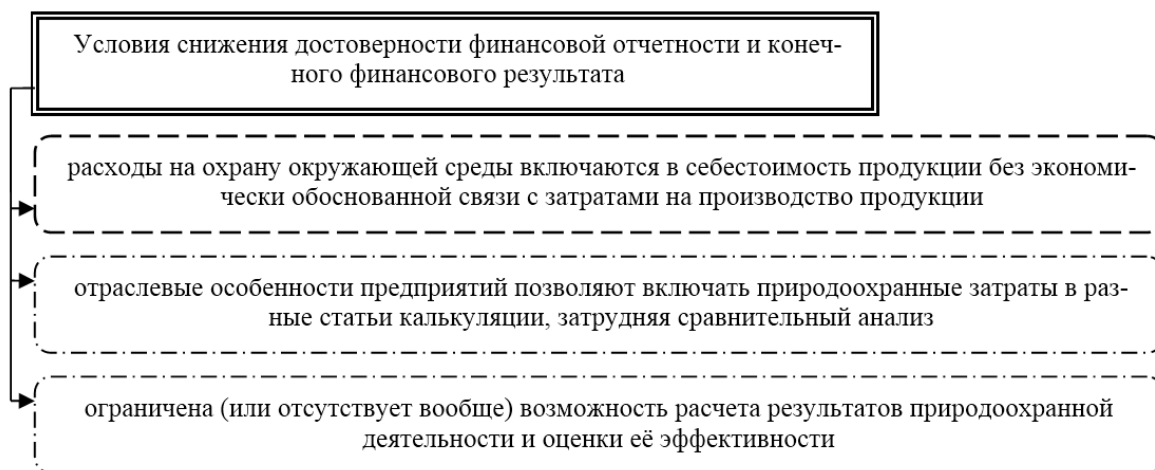


Рисунок 3 - Условия снижения достоверности финансовой отчетности и конечного финансового результата от показателей экологизации производства

Список литературы

1. Алимов, С. А. Управленческий учет и анализ экологических затрат промышленных предприятий [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.12 / Сергей Александрович Алимов - Орлов. гос. техн. ун-т. - Орел, 2006. - 24 с.

2. Бухгалтерский экологический учет и анализ [Текст]: учебное пособие / А. И. Белоусов, Е. А. Шелухина, Л. В. Близно. - Форум, Инфра-М, 2015. – 367 с.

Маслова Ирина Алексеевна, д-р экон.наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». Тел. (4862) 41-98-60; e-mail: tera_27@mail.ru.

Алимова Мария Сергеевна, канд.экон.наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». Тел. (4862) 41-98-60; e-mail: mashasms1@gmail.com.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL INDICATORS ON THE PERFORMANCE OF THE ENTERPRISE'S ACTIVITY

Maslova I.A., Alimova M.S.

Russia, Orel, Oryol State University

In the article the main elements of the economic analysis and analysis of the nature protection activity of enterprises-nature users, the features of financial accounting for the assessment of environmental aspects of the organization's activities in determining environmental and economic sustainability, the main stages of the management cycle and the implementation of the environmental protection process in industrial enterprises, As well as the conditions for the decrease in the reliability of financial statements and the final financial result from the indicators of the environmental de faculty..

Keywords: Environmental indicators; Nature management; The ecologization of production; Environmental costs

Bibliography

1. Alimov, S. A. Upravlencheskij uchet i analiz jekologicheskikh zatrat promyshlennyh predpriyatij : avtoreferat dis. ... kandidata jekonomicheskikh nauk : 08.00.12 / S.A. Alimov. - Orlov. gos. tehn. un-t. - Orel, 2006. - 24 s.

2. Buhgalterskij jekologicheskij uchet i analiz [Tekst]: uchebnoe posobie / A. I. Belousov, E. A. Sheluhina, L. V. Blizno. - Forum, Infra-M, 2015. – 367 s.

Maslova Irina Alekseevna, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Accounting and Auditing, Orel state University named after I.S. Turgenev. Tel. (4862) 41-98-60; e-mail: tera_27@mail.ru.

Alimova Maria Sergeevna, candidate of economic sciences, associate professor of the Accounting and Audit Department, Orel state University named after I.S. Turgenev. Tel. 41-98-60; e-mail: mashasms1@gmail.com.

УДК 658

ФИНАНСОВЫЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Коростелкин М.М.

Россия, г. Орел, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Глобализация экономических процессов, изменение вектора международных отношений в области политики и экономики, приводящие к актуализации существующих и формированию новых угроз и рисков, ставят перед энергетической отраслью новые задачи в области обеспечения национальной безопасности. Автором анализируются особенности принятия финансовых и управленческих решений в системе обеспечения национальной энергетической безопасности.

Ключевые слова: управленческие решения, финансовые решения, энергетическая безопасность, обеспечение

Управление финансами промышленного предприятия представляет собой непрерывный процесс принятия и реализации управленческих решений, имеющий целью оптимизацию финансовых потоков, генерирование положительных финансовых результатов и максимизацию прибыли.

Финансовое решение есть результат контрольно-аналитической деятельности экономического субъекта, включающей в себя финансовый и управленческий анализ, прогнозирование, оптимизацию, контроллинг, экономическое обоснование и выбор альтернативы из множества вариантов достижения конкретной цели.

Функциями финансовых решений являются:

1) выбор способов финансирования (определение потребностей промышленного предприятия в финансовых ресурсах, нахождение их источников, стабильное использование ресурсного потенциала);

2) распределение финансовых ресурсов (использование выручки, доходов, прибыли, подготовка и осуществление в соответствии со стратегией развития соответствующей отрасли комплекса мер по инвестированию капитала, эффективное управление денежными ресурсами и потоком финансовых ресурсов, осуществление расчетов с контрагентами, финансово-кредитной системой);

3) коммуникации с внешней средой (экономические отношения с контрагентами, клиентами, органами власти, внебюджетными фондами);

4) аналитически-контрольная функция (финансовый анализ, финансовый контроль);

5) планирование и бюджетирование;

6) координация (корректировка ранее принятых решений в связи с возникшими и непредусмотренными ранее обстоятельствами) [1].

Финансовые решения принимаются на основе прогнозирования и планирования результатов, полученных вследствие принятия иных управленческих решений. Многие финансовые решения принимаются необоснованно, строятся на базе неточного прогноза и данных отчетности, что является недостаточным информационно-аналитическим обеспечением для разработки и принятия таких решений. Необходимо использовать все информационно-аналитическое обеспечение хозяйственных процессов.

Управление энергетической безопасностью напрямую зависит от принятых финансовых и управленческих решений [2].

Принятие решений в области управления корпоративными ресурсами промышленных предприятий зависит от управления денежными потоками, анализа и оценки их финансового состояния, платежеспособности и устойчивости, а также совершенствования финансового менеджмента. Методика принятия управленческих решений в области использования корпоративных ресурсов энергетическим предприятием должна строиться с соблюдением следующих особенностей:

- основная цель управления - прогнозирование. Исходя из этого, оптимизация денежных потоков заключается в грамотном формировании прогнозной отчетности, в том числе отчета о финансовых результатах и отчета о движении денежных средств;

- роль анализа и оценки финансового состояния предприятия с каждым годом возрастает, а сам анализ требует детальной оценки результатов финансово-хозяйственной деятельности;

- проведение локальных мероприятий по совершенствованию системы финансового менеджмента с целью обеспечения устойчивого положения предприятия в среднесрочной перспективе.

Цели принятия управленческих решений ориентируются на реализацию долгосрочной и краткосрочной стратегии промышленного предприятия. Эффективность любого управления напрямую связана с качеством управленческих решений. Один из путей повышения эффективности управления - оптимальное сочетание количественной и качественной информации. Процесс принятия управленческого решения целесообразно представить в несколько этапов (Рисунок 1).

Угрозы безопасности, оказывающие деструктивное воздействие на различные сферы деятельности энергетических предприятий, находятся в тесной взаимосвязи и

взаимодействии друг с другом, что предполагает комплексный подход к их выявлению, анализу и управлению.

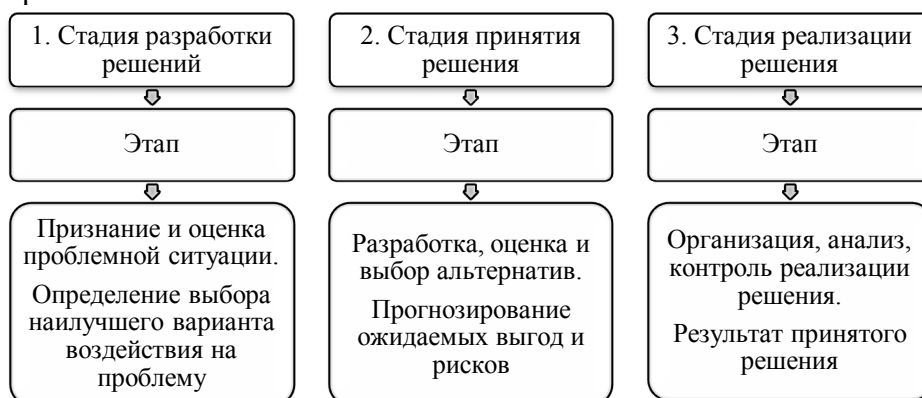


Рисунок 1 - Процесс принятия управленческих решений

Ключевая роль критически важных объектов энергетической отрасли заключается в бесперебойном энергоснабжении экономических субъектов, населения, социально значимых и особо важных государственных объектов, и определяет необходимость обеспечения энергетической безопасности и реализации комплекса мер защиты предприятий энергетической отрасли от совершения противоправных действий.

В настоящее время в обеспечении энергетической безопасности сохраняются, принимая новые формы, террористические, техногенные, природно-климатические угрозы, угрозы экономического и управленческо-правового характера (кризисные явления, последствия санкционной политики, конкурентоспособность и др.). С развитием интеллектуальных ресурсов, телекоммуникационных и информационных систем наблюдается рост внешних и внутренних киберугроз и информационного шпионажа. Энергетическая отрасль продолжает оставаться объектом кибератак, сохраняется высокий уровень хищения оборудования, энергоносителей и энергоресурсов [3].

Ключевой задачей в обеспечении безопасности энергетического предприятия является реализация комплексного подхода к созданию системы антитеррористической, противокриминальной, экономической, информационной и других видов защиты, что возможно при реализации эффективной методики принятия управленческих решений.

Основные усилия в обеспечении безопасности на долгосрочную перспективу должны быть сосредоточены на выработке и реализации мер комплексного характера по нейтрализации угроз, оптимальных по критерию «цена/эффективность».

Управление энергетической безопасностью заключается в своевременной идентификации, оценке, использовании и наращивании энергетических ресурсов посредством реализации следующих взаимосвязанных этапов (Рисунок 2).

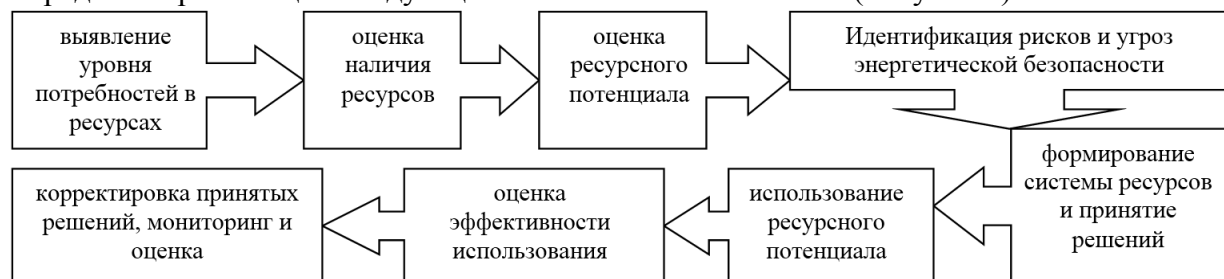


Рисунок 2 – Этапы управления энергетической безопасностью посредством процесса принятия решений

Процесс и формы принятия решений в энергетической отрасли зависит от специфики деятельности, информационного пространства (внешнего и внутреннего),

реализуемой методики анализа и прогнозирования, действующей системы внутреннего контроля.

Таким образом, принятые управленческие и финансовые решения влияют не только на проектный портфель энергопредприятия, но и на конкурентоспособность и поступательное развитие отрасли в целом и обеспечение энергетической безопасности.

Список литературы

1. Агузарова Ф.С. Совершенствование методов принятия финансового решения и эффективность использования финансовых ресурсов на предприятии : Дис. ... канд. экон. наук : 08.00.10 Владикавказ, 2006. - 224 с.

2. Маслова И.А. Основы менеджмента как важнейшей функции управления финансами на предприятии в условиях постоянно изменяющейся рыночной среды [Текст] / И.А. Маслова // Управленческий учет. – 2011. – № 11. – С. 10-15.

3. Попова Л.В. Роль и анализ управленческого учета в системе управления организацией [Текст] / Л.В. Попова, И.А. Маслова, К.Э. Дудина // Управленческий учет. – 2016. – №9. – С. 11-18.

Коростелкин Михаил Михайлович, кандидат экономических наук, доцент, доценткафедры бухгалтерского учета и аудита, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40; buhkor@mail.ru, 8 (4862) 41-98-60.

FINANCIAL AND MANAGERIAL SOLUTIONS IN THE SYSTEM OF ENSURING NATIONAL ENERGY SECURITY

Korostelkin M.M.

Russia, Orel, Orel state University after I.S. Turgenev

The globalization of economic processes, the change in the vector of international relations in the field of politics and economy, leading to the actualization of existing and the formation of new threats and risks, confronts the energy industry with new tasks in the field of ensuring national security. The authors analyze the features of making financial and management decisions in the system of ensuring national energy security.

Key words: management decisions, financial decisions, energy security, security.

Bibliography

1. Aguzarova F.S. Improvement of methods financial decision making and efficient use of financial resources in the enterprise : Dis. kand. Ekon. Sciences : 08.00.10 Vladikavkaz, 2006. - 224 p.

2. Maslova I.A. Fundamentals of management as the most important function of financial management at an enterprise in a constantly changing market environment [Text] / I.A. Maslova // Managerial Accounting. - 2011. - No. 11. - P. 10-15.

3. Popova L.V. Role and analysis of management accounting in the organization management system [Text] / L.V. Popova, I.A. Maslova, K.E. Dudina // Managerial Accounting. - 2016. - №9. - P. 11-18.

Korostelkin Mikhail Mikhailovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Accounting and Audit Department, Orel state University after I.S. Turgenev; buhkor@mail.ru, 8 (4862) 41-98-60.

УДК 338.24

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Варакса Н.Г., Рождественская Е.С.

Россия, г. Орел, ОГУ им. И.С. Тургенева

В условиях рыночной экономики одной из приоритетных задач развития промышленного предприятия является повышение эффективности управления процессом рационального использования финансовых, материально-технических, трудовых, природных и иных ресурсов, а главным требованием к технике и технологии – обеспечение ресурсосбережения, которое охватывает все этапы жизненного цикла производства продукции и использования ресурсов. В статье представлены методы управления ресурсосбережением на промышленном предприятии.

Ключевые слова: методы управления, ресурсосбережение, промышленное предприятие.

Развитие промышленного сектора экономики напрямую связано с внедрением результатов научно-технического прогресса в производственную сферу. Устойчивое развитие промышленных предприятий зависит от многих факторов, одним из которых является эффективное управление процессом рационального использования финансовых, материально-технических, трудовых, природных и иных ресурсов. Ключевое требование к технике и технологиям, организации производственного процесса связано с обеспечением ресурсосбережения, под которым понимаем процесс рационального использования всех видов ресурсов с целью оптимизации затрат предприятия и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Ориентация промышленного предприятия на ресурсосберегающий тип организации производства требует формирования эффективной системы управления, которая охватывала бы все этапы жизненного цикла производства продукции и использования ресурсов. Система управления процессом ресурсосбережения включает разнообразный инструментарий, среди которого выделяем экономические, организационно-правовые, социальные, технологические методы (рис. 1).

Метод управления процессом ресурсосбережения представляет собой приемы и способы, оказывающие воздействие на конкретный используемый ресурс или их совокупность. Руководство промышленного предприятия должно применять совокупность выделенных методов управления процессом ресурсосбережения, что позволит эффективно управлять материально-техническим оснащением, производственным процессом и технологиями, персоналом предприятия.

При выборе конкретного метода или группы методов необходимо также учитывать стратегию функционирования промышленного предприятия в области ресурсосбережения.

Рассмотрим степень воздействия выделенных методов на управление процессом ресурсосбережения. Так, экономические методы управления позволяют оказывать воздействие на формирование оптимальной структуры затрат, обеспечение такого уровня затрат, при котором не снижаются качественные показатели выпускаемой продукции. В данном случае возможно применение таких инструментов, как бюджетирование, нормирование, планирование, контроль и другие. Социальные методы управления направлены на формирование организационной культуры, повышение профессиональной, творческой и в целом трудовой активности персонала организации. Организационно-правовые методы направлены на регламентацию деятельности промышленного предприятия. Технологические методы управления направлены на внедрение достижений научно-технического прогресса, применения передовой техники и технологий, оптимизацию производственного процесса.

Таким образом, выбор и применение методов управления процессом ресурсосбережения зависит от используемых ресурсов промышленным предприятием, охватывает все стадии жизненного цикла, что позволяет получить стабильные показатели, достичь поставленные стратегические цели функционирования организации в рамках обеспечения ресурсосбережения и финансовой устойчивости.

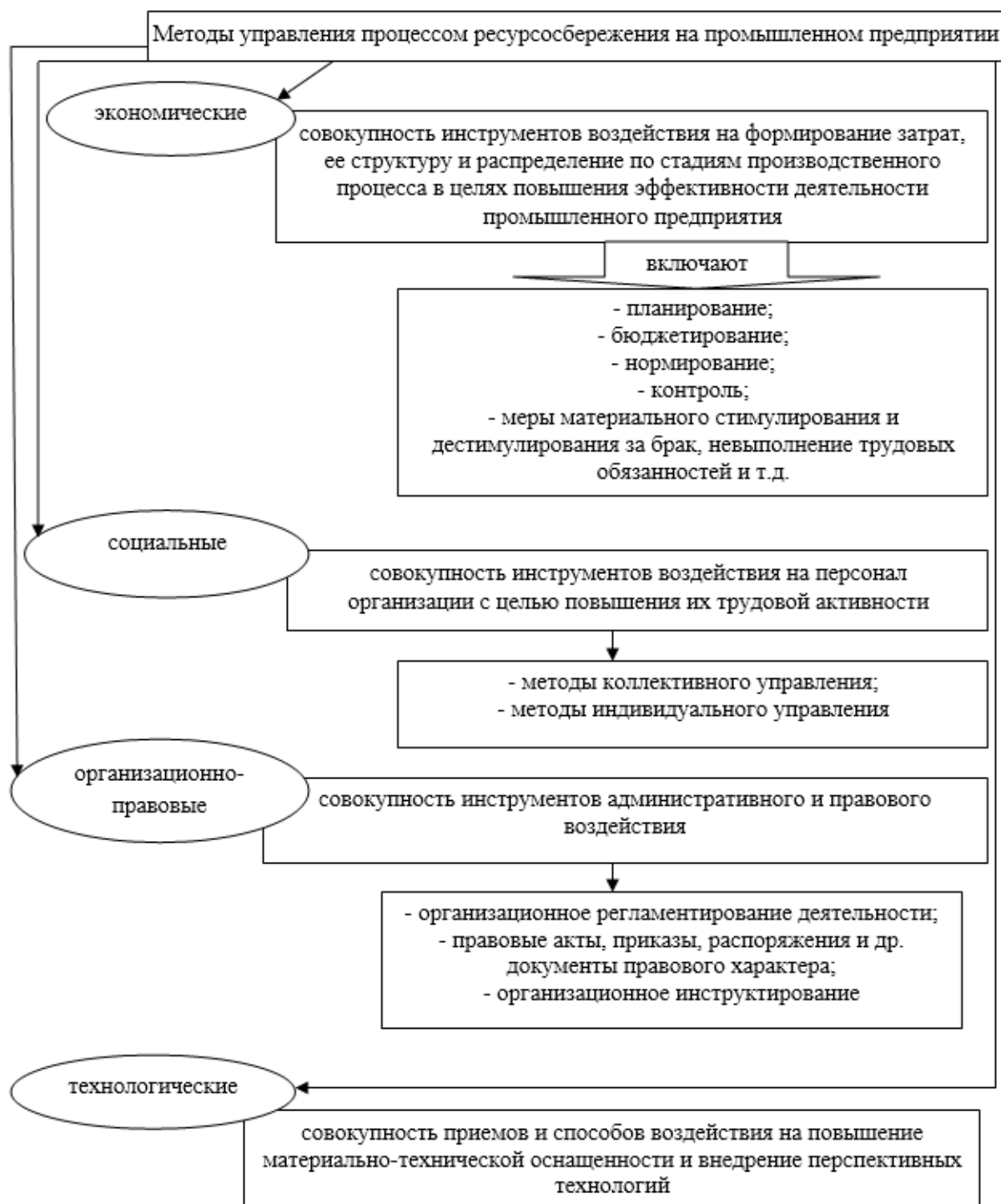


Рисунок 1 – Методы управления ресурсосбережением на промышленном предприятии

Список литературы

1. Кинаш, И.А. Организация системы управления ресурсосбережением на предприятии [Электронный ресурс] / Кинаш И.А // AustrianJournalofHumanitiesandSocialSciences- 2015. - №11-12. - Режим доступа к журн.: <http://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-sistemy-upravleniya-resursosberezheniem-na-predpriyatii>.
2. Мингалева, Г.Ф. Экономические методы и модели управления процессом энергосбережения в регионе [Текст] / Г.Ф. Мингалева. - Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н.Туполева, 2008. - 160 с.
3. Чикишев, Д.В. Ресурсосбережение как экономическая категория [Электронный ресурс] / Чикишев Д.В // Транспортное дело России - 2011. - №3. - Режим доступа к журн.: <http://cyberleninka.ru/article/n/resursosberezhenie-kak-ekonomicheskaya-kategoriya>.

Варакса Наталия Геннадьевна, д-р экон. наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

Рождественская Елена Сергеевна, канд. экон. наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, e-mail: elenarozdestvenskaja2014@gmail.com; тел. (4862) 41-98-60

METHODS OF MANAGEMENT OF RESOURCE-SAVING AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Varaksa N.G., Rozhdestvenskaya E.S.
Russia, Orel, Orel State University

In the conditions of market economy of one of priority problems of development of the industrial enterprise increase in effective management of process of rational use of financial, material, labor, natural and other resources, and the main requirement to the equipment and technology – ensuring resource-saving which covers all stages of life cycle of production and use of resources is. Methods of management of resource saving at the industrial enterprise are presented in article.

Keywords: methods of management, resource-saving, industrial enterprise.

Bibliography

1. Kinash, I.A Organizacija sistemy upravleniya resursosberezheniem na predpriyatii [Elektronnyj resurs] / Kinash I.A // Austrian Journal of Humanities and Social Sciences- 2015. - №11-12. – Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-sistemy-upravleniya-resursosberezheniem-na-predpriyatii>.

2. Mingaleev, G.F. Jekonomicheskie metody i modeli upravleniya processom jenergosberezhenija v regione [Tekst] / G.F. Mingaleev. - Kazan': Izd-vo KGTU im. A.N.Tupoleva, 2008. - 160 s.

3. Chikishev, D.V. Resursosberezhenie kak jekonomicheskaja kategorija [Elektronnyj resurs] / Chikishev D.V // Transportnoe delo Rossii - 2011. - №3. - Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/resursosberezhenie-kak-ekonomicheskaja-kategoriya>

Varaksa Natalia Gennadjevna, Doctor of Economics, Professor of the Department of accounting and audit, Orel State University

Rozhdestvenskaya Elena Sergeevna, Candidate of Science (Economics), Associate Professor of chair of accounting and audit, Orel state University e-mail: elenarozdestvenskaja2014@gmail.com ; tel. (4862) 41-98-60

УДК 338.242.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЛИНГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Маслов Б.Г., Бондарева А.Ю.

Российская Федерация, г. Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Авторским коллективом раскрывается необходимость применения инструментов контроллинга, как методов совершенствования системы управления промышленными предприятиями Российской Федерации, а также организационно – методические аспекты управления энергосбережением.

Ключевые слова: контроллинг, энергосбережение, энергоэффективность, управление.

В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам изучения энергоэффективности на промышленных предприятиях. Проблемы рационального расходования энергетических ресурсов раскрываются как в трудах отечественных, так и

зарубежных авторов. Обеспечение проведения программ энергосбережения на промышленных предприятиях является одним из направлений внедрения инновационных форм хозяйствования, что в свою очередь формирует основу современного энергосбережения и его управления (система менеджмента энергосбережения). Инструментами, обеспечивающими процесс энергосбережения в промышленном комплексе, выступают:

- выполнение всех нормативов разработанных по энергосбережению и использование новых законодательных актов в системе энергосбережения;
- управление энергоэффективными процессами по всей организационной структуре хозяйствующего субъекта (технические, производственные, организационные, экономические);
- использование общей структуры энергосбережения на предприятии, в основу функционирования которой заложены процессы моделирования, прогнозирования, непрерывного мониторинга и контроля производственного процесса;
- введение системы персональной ответственности управленческого персонала и работников за реализацией программ энергоэффективности;
- внедрение мотивационной (включающей: стимулирование и взыскание) системы для работников и структурных подразделений промышленного предприятия;
- использование инструментов контроллинга для анализа расходов энергетических ресурсов, внесения корректировок в реализуемые управленческие решения, модернизация основных средств, корректировка графика сменной работы, оценки стоимости энергоносителей, объемов производственного процесса.

В основу проведения анализа эффективности расходования всех видов энергии внутри промышленного предприятия выступают непрерывный учет выполнения установленных нормативов энергопотребления.

Организационно-методическую составляющую внедрения системы энергетического контроля хозяйствующего субъекта содержит:

- разработку и внедрение системы контроллинга;
- описание и ее включение в организационную структуру хозяйствующего субъекта;
- анализ информационных потоков и вариантов использования инструментов контроллинга на промышленном предприятии.

Служба контроллинга на предприятиях промышленной отрасли будет способствовать определению грамотно выстроенной системы энергетического контроля за эффективность реализуемых программ энергосбережения. В практической деятельности под внимание службы контроллинга попадают финансовая структура хозяйствующего субъекта, а также отделы по энергетике и планово – экономический отдел.

Основное назначение службы энергетического контроллинга хозяйствующего субъекта выражается:

- в проведении анализа и эффективного управления затратами с целью максимизации прибыли;
- создание и расходование резервов энергоресурсов;
- доступ к необходимой управленческой информации и ее анализ с целью выработки рекомендаций.

Управление реализацией энергоэффективных технологий в структуре внедрения системы контроллинга хозяйствующего субъекта должно являться самостоятельным структурным элементом, который включает совокупность специфических инструментов, для получения информации и анализа осуществляемых процессов, целью которых выступает разработка и обеспечение исполнения планов реализации энергоэффективных

мероприятий. При внедрении энергоэффективных технологий на промышленном предприятии требуется проводить обоснованный выбор ключевых направлений энергосбережения хозяйствующего субъекта, как в целом по предприятию, так и по отдельным структурным подразделениям.

Внедрение службы контроллинга с целью управления энергоэффективностью позволит реализовывать нижеперечисленные направления:

- разработка основополагающих направлений сбережения энергоресурсов хозяйствующего субъекта и ознакомление с ним структурных подразделений (руководители цехов, отделов, служб);

- ответственные за энергосбережение по центрам формирования затрат осуществляют планирование производственных процессов с соблюдением определенных управленческим персоналом хозяйствующего субъекта приоритетных направлений реализации энергосберегающих технологий;

- составление программы мотивационного стимулирования сотрудников организации;

- организации текущее управление процессами энергосбережения на точечных структурных подразделениях, выступающими наиболее эффективными источниками экономии энергии;

- проведение корректировочных мероприятий стратегических планов работы хозяйствующего субъекта на полученные результаты от реализуемых мероприятий по снижению энергоемкости продукции;

- внесение изменений в производственные процессы на предприятии, затрагивающие существующие резервы снижения энергоемкости выпускаемой продукции.

Организация системы управленческого учета энергосбережения и увеличения энергоэффективности хозяйствующего субъекта, предполагает создание системы учета, которая позволяет проводить непрерывный сбор, обработку и передачу информации о результатах работы каждого структурного подразделения.

Таким образом, на современном этапе использование контроллинга выступает одним из приоритетных направлений по управлению промышленными предприятиями, позволяющим достичь повышения энергосбережения. Применение инструментов контроллинга в практической деятельности изменяет качественный уровень управления организацией. Контроллинг хозяйствующего субъекта выступает целостной системой, в то время как подсистема контроллинга энергоэффективности позволяет формировать ее структуру в функциональном разрезе, включая специфические особенности функционирования энергетической системы. Деятельность энергетической подсистемы будет сконцентрирована на других структурных подразделениях хозяйствующего субъекта, тем самым использование контроллинга позволит осуществлять интеграционные процессы элементов системы организации в единую структуру.

Таким образом, внедрение инструментов энергетического контроллинга является одним из приоритетных направлений в управлении энергетическим комплексом промышленных предприятий, что обусловлено потребностью в повышении эффективности расходования энергетических ресурсов.

Список литературы

1. Попова Л.В. Структурные элементы управленческого учёта и их влияние на систему управления предприятием [Текст] / Л.В. Попова // Экономические и гуманитарные науки. - 2014. - № 6.
2. Катунин А.А. Особенности классификации затрат в системе управленческого учета автосервисов [Текст] / А.А. Катунин // Управленческий учет. – 2017-№4 – с.19 – 25.
3. Глазьев, С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса [Текст] / С.Ю. Глазьев; – М.: Экономика, 2010. - 255с.

Маслов Борис Григорьевич – д-р экон.наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел, Наугорское ш. 40, sb72@mail.ru
Бондарева Анастасия Юрьевна – аспирант кафедры бухгалтерского учета и аудита ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», +79155021542, г. Орел, Наугорское ш. 40, ana5659@yandex.ru

THE USE OF INSTRUMENTS CONTROLLING THE IMPLEMENTATION OF ENERGY SAVING AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Maslov B. G., Bondareva, A. Yu.
Russian Federation, Orel, of the «OSU named after I. S. Turgenev»

A group of authors reveals the necessity of application of instruments of controlling, methods of improving the system of management of industrial enterprises of the Russian Federation and organizational – methodological aspects of energy saving management.

Keywords: controlling, energy saving, energy efficiency, management.

Bibliography

1. Popova L.V. Strukturnye jelementy upravlencheskogo uchjota i ih vlijanie na sistemu upravlenija predprijatiem [Tekst] / L.V. Popova //Jekonomicheskie i gumanitarnye nauki.-2014.-№ 6.
2. Katunin A.A. Osobennosti klassifikacii zatrat v sisteme upravlencheskogo ucheta avtoservisov [Tekst] / A.A. Katunin // Upravlencheskij uchet. – 2017. – №4 – s. 19 – 25.
3. Glaz'ev, S.Ju.Strategija operezhajushhego razvitija Rossii v uslovijah global'nogo krizisa [Tekst] S.Ju. Glaz'ev; – M.: Jekonomika, 2010. - 255s.

Maslov Boris Grigoryevich –doctor of Economics, Professor, chair of accounting and auditing FSBEI «OSU named after I. S. Turgenev», Orel, Naugorskoe sh. 40, sb72@mail.ru.

Bondareva Anastasiya Yurievna–Post-graduate student of chair of accounting and auditing FSBEI «OSU named after I. S. Turgenev», +79155021542, Orel, Naugorskoe sh. 40, ana5659@yandex.ru.

СЕКЦИЯ №7. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Руководитель:

Степанов Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», yruy057@yandex.ru

УДК 681.5.07

КАЛИБРОВКА ПРОЦЕССА СВЁРТЫВАНИЯ КРОВИ

Одиноква А.А., Глинкин Е.И.
Россия, г.Тамбов, ТГТУ

В статье рассмотрена математическая модель процесса свёртывания крови, алгоритмы оптимизации информативных параметров за счет тождественности исследуемой характеристики эквиваленту натурного эксперимента.

Ключевые слова: математическая модель, информативные параметры.

Для изучения процесса свёртывания крови необходимо предложить математическую модель гемокоагуляции, адекватную физике натурного эксперимента и

соответствующую свёртыванию *invivo*, но не больше, чем нужно для выполнения поставленной задачи [1].

Авторами предложена математическая модель процесса свёртывания крови, имеющая вид экспоненты с информативными параметрами [2]:

$$U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

которая связывает между собой измеряемое значение амплитуды U напряжения за время t исследования с предельным значением U_0 напряжения и постоянной времени T , принятые за информативные параметры калибровки интегральной модели (1) в алгебраической форме. Адекватность физике натурального эксперимента доказывает тождественность моделей процесса свёртывания крови в алгебраической (1) и дифференциальной форме:

$$\begin{cases} T \frac{dU}{dt} + U = 0, \\ U = U_0 e^{-\frac{t}{T}}, \end{cases} \quad (2)$$

где также переменными служат время t и напряжение U с информативными параметрами постоянной времени T и предельного напряжения U_0 .

Найдём производные от двух моделей:

$$T \frac{d^2U}{dt^2} + \frac{dU}{dt} = 0, \quad (2a)$$

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{U_0}{T} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2б)$$

$$\frac{d^2U}{dt^2} = \frac{U_0}{T^2} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2в)$$

Подставим сначала алгебраическую модель (2) и её первую производную (2б) в дифференциальную модель (2), а затем – первую (2б) и вторую (2в) производные алгебраической модели (2) в уравнение производной дифференциальной модели (2а):

$$\begin{cases} T \left(\frac{-U_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} \right) + U_0 e^{-\frac{t}{T}} = 0, \\ T \left(\frac{U_0}{T^2} e^{-\frac{t}{T}} \right) + \frac{-U_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} = 0. \end{cases} \quad (2г)$$

Приведем подобные члены и перепишем систему (2г) к виду:

$$\begin{cases} -U_0 e^{-\frac{t}{T}} + U_0 e^{-\frac{t}{T}} = 0, \\ \frac{U_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} - \frac{U_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} = 0. \end{cases} \quad (2д)$$

После несложных преобразований системы (2д) получаем:

$$\begin{cases} 0 = 0, \\ 0 = 0. \end{cases}$$

А это доказывает тождественность производных алгебраической модели производным дифференциальной модели, из которой следует адекватность математических моделей в дифференциальной и алгебраической форме системы (2).

Существует два подхода при решении задач с неизвестными параметрами, определяющими вид кривой: аналитический и статистический.

Наиболее часто используются методы математической статистики, которые предполагают наличие большой выборки экспериментальных данных, соответствующей среднестатистическому объекту - фантому. Как результат, высокая погрешность измерений по среднестатистической градуировочной характеристике и отсутствие возможности использовать метод для индивидуального пациента.

Аналитический метод предполагает информационную технологию (предполагающую решение задачи оптимизации с регламентируемой точностью нормированных параметров), включающую:

- математические модели в явном виде алгебраической формы с информативными параметрами, адекватно отражающими физику процесса;
- алгоритмы оптимизации информативных параметров за счет тождественности исследуемой характеристики эквиваленту натурного эксперимента;
- эффективные метрологические средства адаптивного аналитического контроля с оптимизацией априори калибровочной характеристики с точностью образцовых мер границ диапазона [3].

Калибровку проводят априори для двух известных эталонных $U_{эi}$ и измеренных U_i , $i = \overline{1,2}$ значений верхней и нижней границ адаптивного диапазона процесса гемостаза. У пациентов с известным значением амплитуды напряжения крови $U_{э1}$, $U_{э2}$ для интервалов времени измерения t_1 и t_2 регистрируют измеренные значения амплитуды напряжения крови U_1 и U_2 .

Для выполнения измерения по калибровочной характеристике необходимы информативные параметры, а именно: постоянная времени T с предельным значением U_0 напряжения, которые находят из системы уравнений [2]:

$$\begin{cases} U_1 = U_0 \cdot e^{-\frac{t_1}{T}}, \\ U_2 = U_0 \cdot e^{-\frac{t_2}{T}}. \end{cases}$$

Делят первое уравнение системы на второе:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{e^{-\frac{t_1}{T}}}{e^{-\frac{t_2}{T}}}$$

и приводят его к виду, удобному для логарифмирования:

$$\frac{U_1}{U_2} = e^{\frac{t_2 - t_1}{T}} = e^{\frac{(k-1)t_1}{T}}.$$

Логарифмируют обе части степенного уравнения и находят алгоритм оптимизации постоянной времени T :

$$T = \frac{t_1(k-1)}{\ln(U_1/U_2)}. \quad (3)$$

Составляют систему уравнений для расчета параметра U_0 :

$$\begin{cases} T = -\frac{t_1}{\ln(U_1/U_0)}, \\ T = -\frac{t_2}{\ln(U_2/U_0)}. \end{cases}$$

Делят первое уравнение системы на второе и приводят его к виду:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln(U_2/U_0)}{\ln(U_1/U_0)},$$

а учитывая кратность $\frac{t_2}{t_1} = k$ интервалов времени, получают логарифмическое уравнение

$$\ln\left(\frac{U_2}{U_0}\right) = k \cdot \ln\left(\frac{U_1}{U_0}\right).$$

Экспоненцируют это уравнение и вычисляют алгоритм оптимизации предельного напряжения U_0 :

$$U_0 = {}^{k-1}\sqrt{\frac{(U_1)^k}{U_2}}. \quad (4)$$

Из алгоритма оптимизации (4) следует, что необходимым и достаточным условием для тождественности расчетной и калибровочной характеристик, по которым измеряют действительное значение, является наличие всего двух эталонных измерений границ диапазона. Физический смысл информативных параметров следует из предельных соотношений:

$$\lim_{t \rightarrow 0} U = U_0 \cdot \exp\left(\frac{0}{T}\right) = U_0,$$

т.е. U_0 - предельное напряжение крови для $t = 0$;

$$\lim_{U \rightarrow U_0/e} t = -T \cdot \ln\left(\frac{U}{U_0}\right) = -T \ln\left(\frac{e^{-1}U_0}{U_0}\right) = -T \ln e^{-1} = T,$$

т.е. T - постоянная времени.

Выводы:

1) уникальным свойством параметров U_0 и T является их независимость от характеристик переменных значений напряжения U и времени t , т.е. они однозначно определяют динамическую характеристику эксперимента по экспоненциальной зависимости;

2) оптимизация методом калибровки повышает метрологическую эффективность определения времени гемокоагуляции за счёт наличия нормированных эталонов;

3) измерение по калибровочной характеристике исключает трудоемкую задачу набора и обработки статистических данных, снижает методическую погрешность и делает метод более пригодным для индивидуального использования.

Список литературы

1. Пантелеев, М.А. Практическая коагулология [Текст] / М.А. Пантелеев, С. А. Васильев, Е. И. Синауридзе, А. И. Воробьев, Ф. И. Атауллаханов // М.: Практическая медицина, 2011. – 192с.
2. Одиноква, А.А. Разработка способа определения функционального состояния системы гемостаза [Текст] // «Новые информационные технологии». Тезисы докладов XXI Международной студенческой школы-семинара - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. - 238с.
3. Глинкин, Е.И., Одиноква А.А. Информационные технологии кондуктометрии [Текст] / Е.И. Глинкин, А.А. Одиноква // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – Тамбов, 2012. – Т. 17. – Вып. 2. – с. 674-678.

Одиноква Александра Александровна, аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, ул.Советская, 106., e-mail: odinokovasashkka6310@rambler.ru, тел.: 89204935177.

Глинкин Евгений Иванович, Заслуженный изобретатель РФ, профессор, д-р техн.наук, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, ул.Советская, 106.

CALIBRATION OF THE BLOOD CLOTTING PROCESS

Odinokova A.A., Glinkin Ye.I.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia.

The article proposed the mathematical model of blood clotting process, the algorithms to optimize the informative parameters due to identity of the studied characteristics to the equivalent of the natural experiment.

Key words: mathematical model, informative parameters.

Bibliography

1. Panteleyev, M.A. Prakticheskaya koagulologiya [Tekst] / M.A. Panteleyev, S. A. Vasil'yev, Ye. I. Sinauridze, A. I. Vorob'yev, F. I. Ataullakhanov // M.: Prakticheskaya meditsina, 2011. – 192s.
2. Odinokova, A.A. Razrabotka sposoba opredeleniya funktsional'nogo sostoyaniya sistemy gemostaza [Tekst] // «Novyye informatsionnyye tekhnologii». Tezisy dokladov XXI Mezhdunarodnoy studencheskoy shkoly-seminara - M.: MIEM NIU VSHE, 2013. - 238s.
3. Glinkin, Ye.I., Odinokova A.A. Informatsionnyye tekhnologii konduktometrii [Tekst] / Ye.I. Glinkin, A.A. Odinokova // Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. – Tambov, 2012. – T. 17. – Vyp. 2. – s. 674-678.

Odinokova Aleksandra Aleksandrovna, aspirant, FGBOU VO «Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», Tambov, ul.Sovetskaya, 106., e-mail: odinokovasashkka6310@rambler.ru, 89204935177.

Glinkin Yevgeniy Ivanovich, Zasluzhennyy izobretatel' RF, professor, d.t.n, FGBOU VO «Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», Tambov, ul.Sovetskaya, 106.

УДК 539.3/6

КАЛИБРОВКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПЕДАНСА БИООБЪЕКТА

Рухлова Е.А., Глинкин Е.И.

Россия, г. Тамбов, ТГТУ

Предложен эффективный способ определения импеданса биообъекта по калибровочной характеристике.

Ключевые слова: импеданс, эффективность, информативные параметры, калибровка.

Известен способ определения составляющих импеданса биообъекта [1], заключающийся в том, что на биообъект подается импульс тока I_0 и измеряют напряжения в моменты времени $t_2 = 2t_1$. По измеренным значениям напряжения и моментам времени регистрируют информативные параметры: потенциал E и постоянную времени T , а в качестве составляющих импеданса биообъекта определяют активное сопротивление R и эквивалентную емкость C тканей биообъекта, которые рассчитывают по следующим формулам:

$$R = \frac{E}{I_0},$$

где E – установившееся значение потенциала с постоянной времени T , причем

$$E = \frac{U_1^2}{2U_1 - U_2}, \quad T = -\frac{t_1}{\ln\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right)},$$

где U_1 и U_2 , соответственно, напряжение на биообъекте в моменты времени t_1 и t_2 ; при этом:

$$C = \frac{T}{R}.$$

Недостатком способа является то, что он рассчитан на случай, когда оба информативных параметра известны, но, как правило, на практике один или оба информативных параметра неизвестны.

В этом случае возникают, соответственно, одна или две калибровочные характеристики, компенсирующие неопределенность предельных параметров. Такой подход позволяет повысить метрологическую эффективность способа и реализовать индивидуальный подход к расчету предельных параметров.

Метрологическая эффективность метода калибровки обусловлена наличием математической модели в явном виде, алгоритмов оптимизации предельных параметров E и T для определения действительных значений методом тождественности измеренной (исследуемой) зависимости калибровочной характеристике с оптимальными предельными параметрами – желаемому нормированному эквиваленту

Задачей является определение составляющих импеданса биообъекта при одном неизвестном информативном параметре. Для этого, максимальное значение одного из информативных параметров определяют по калибровочной характеристике, калибровку проводят априори для измеренного и известного значений напряжения в два момента времени. Калибровочной характеристикой служит функция максимального значения одного из информативных параметров, компенсирующая неопределенность другого информативного параметра, выбранного произвольно, и связывающая эталонную и измеренную характеристики определения импеданса за счет нормирования измеренных значений известными. По калибровочной характеристике находят действительные значения информативных параметров, по которым последовательно строят калибровочную характеристику и действительную характеристику определения импеданса.

Калибровочной характеристикой может служить, например, функция E_{0i} максимальной величины потенциала E , которая компенсирует неопределенность постоянной времени T , выбранной произвольно T^* , и связывающая эталонную и измеренную зависимости за счет нормирования измеренных значений известными:

$$E_{0i} = \frac{E \left[1 - \exp\left(\frac{-t_i}{T}\right) \right]}{\left[1 - \exp\left(\frac{-t_i}{T^*}\right) \right]}.$$

Из данной характеристики находят действительные значения потенциала E и постоянной времени T , которые являются информативными параметрами,

$$T = \frac{-t_1}{\ln \left[\left(\frac{E_{02}}{E_{01}} \right) \cdot \left(1 + \exp\left(\frac{-t_1}{T^*}\right) \right) - 1 \right]}.$$

Затем выражают значение параметра E , подставив найденное T :

$$E = \frac{E_{01}^2 \cdot (1 - e^{-t_1/T^*})}{2 \cdot E_{01} - E_{02} \cdot (1 + e^{-t_1/T^*})}.$$

Адекватность предлагаемого способа физике эксперимента доказывает математическое моделирование действительной характеристики, относительно эквивалента экспериментальной характеристики, по полученным значениям.

Проводят оценку адекватности полученных зависимостей по формуле определения относительной погрешности. Относительная погрешность моделирования не превышает $1,2 \cdot 10^{-15}$.

В прототипе динамическая погрешность δ (рис. 1) измеренной характеристики увеличивается с течением времени с 0 до 75%

Динамическая погрешность δ действительной характеристики не превышает 0,01%.

Отклонения измеренных характеристик прототипа приводят к большой динамической погрешности относительно нулевой погрешности теоретических значений, что доказывает эффективность предлагаемого способа.

Таким образом, определение составляющих импеданса биообъекта по калибровочной характеристике, компенсирующей неопределенность постоянной времени, выбранной произвольно, по которой определяют действительные значения информативных параметров, действительную характеристику определения составляющих импеданса, в отличие от известных решений, повышает эффективность в несколько раз.

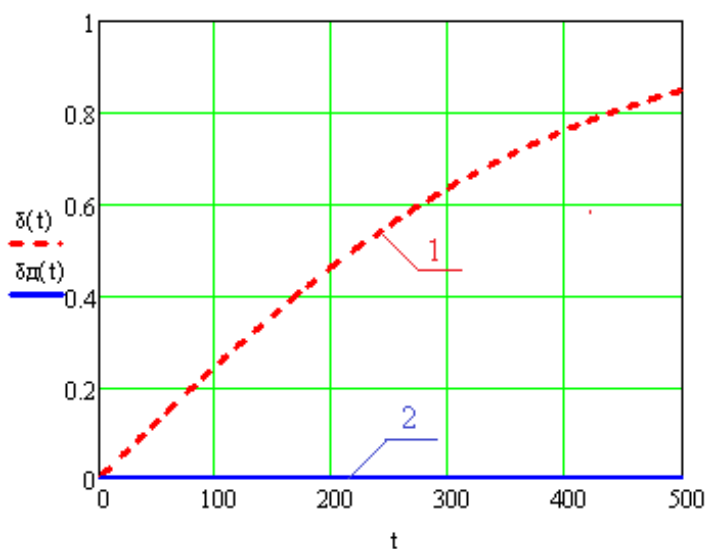


Рисунок 1 – Оценка динамической погрешности предлагаемого способа

Список литературы

1. Пат. РФ №2509531. Способ определения составляющих импеданса биообъекта /А.В. Наумова, Е.И. Гликин. – А 61 В 5/053, 2014, Бюл. № 8.
2. Гликин, Е.И. Метрологические средства / Е.И. Гликин // Вестник ТГУ. – Тамбов 1998. – т.3, вып.2, С. 127 – 141.

Гликин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г.Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Рухлова Евгения Алексеевна, Тамбовский государственный технический университет, г.Тамбов, Российская Федерация, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: eugeniya.ruhlova2011@yandex.ru.

CALIBRATION METHOD FOR DETERMINING THE IMPEDANCE OF THE BIOLOGICAL OBJECT

Rukhlova E.A., Glinkin E.I.

Russia, Tambov, Tambov state technical university

Proposed an efficient method of determining the impedance of the biological object according to the calibration characteristic.

Keywords: impedance, efficiency, informative parameters, calibration.

Bibliography

1. Pat. RF №2509531. A method of determining the components of biological object /A.V Naumova, E.I. Glinkin. - A 61 B 5/053, 2014 Bull. Number 8.
2. Glinkin, E.I. Metrological tools / E.I. Glinkin // Vestnik TSU. – Tambov 1998. – vol. 3, issue.2. – S.127-141.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.
Rukhlova Evgeniya Alekseevna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department, e-mail: eugeniya.rukhlova2011@yandex.ru.

УДК 616-079.4

ОЦЕНКА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ

Швырева К.Е., Сулова Ю.В., Глинкин Е.И.

Россия, г. Тамбов, ТГТУ

В статье предложен новый более надежный метод диагностики заболеваний ССС, благодаря применению оптимального критерия.

Ключевые слова: мультипликативная симметричная мера, артериальное давление, диагностический коэффициент, гемодинамика.

Известен метод диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы [1], основанный на использовании взвешенных значений восьми показателей гемодинамики: минутный объем кровообращения (МОК), систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), среднее артериальное давление (СрАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный объем (УО), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), возраст (В), с последующим определением диагностического коэффициента K , представленного кодом в нормальной дизъюнктивной форме:

$$K = \sum_{i=1}^8 M_i X_{iH},$$

где $i = \overline{1,8}$ – число показателей гемодинамики; X_{iH} – дифференциальные показатели, выбранные приведенными погрешностями с относительными диапазонами $\{0,1\}$; M_i – весовые дифференциальные коэффициенты, формируемые средневзвешенными мерами из единичной суммы. Недостатком метода является недостоверная метрологическая эффективность, обусловленная низкой объективностью из-за необоснованного числа критериев оценки состояния сердечно-сосудистой системы, формируемых по субъективным ненормируемым дифференциальным и интегральным мерам: приведенным погрешностям со средневзвешенными весовыми коэффициентами, рассчитываемыми итерационным анализом.

Исследуем группу пациентов с известными показателями систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления (табл.1).

Таблица 1 – Показатели артериального давления

Пациенты, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
САД, мм рт. ст.	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
ДАД, мм рт. ст.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Для оценки объективности и, как следствие, точности полученных данных воспользуемся мультипликативной симметричной мерой Q , представленной отношением произведения показателей, как для систолического, так и для диастолического

артериального давления группы пациентов к оптимальному эквиваленту, представленному средним арифметическим в n -ной степени [2, 3]. Оценки точности Q и погрешности ε при объединении двух показателей приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2 - Дифференциальные оценки двух показателей САД

САД мм рт.ст.	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Q , %	92,6	94,8	96,7	98,1	99,2	99,8	1	99,8	99,2	98,1	96,7	94,8	92,6
ε , %	7,4	5,2	3,3	1,9	0,8	0,2	0	0,2	0,8	1,9	3,3	5,2	7,4

Таблица 3 - Дифференциальные оценки двух показателей ДАД

ДАД мм рт.ст.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Q , %	81,6	87,2	91,8	95,4	97,9	99,5	1	99,5	97,9	95,4	91,8	87,2	81,6
ε , %	18,4	12,8	8,2	4,5	2,1	0,5	0	0,5	2,1	4,5	8,2	12,8	18,4

Дифференциальные оценки Q показывают достоверность измерений по отношению к эквиваленту. Действительные показатели САД и ДАД нормированы значениями соответственно 110 и 70 мм рт.ст, что доказывает максимальная единичная точность при нулевой погрешности.

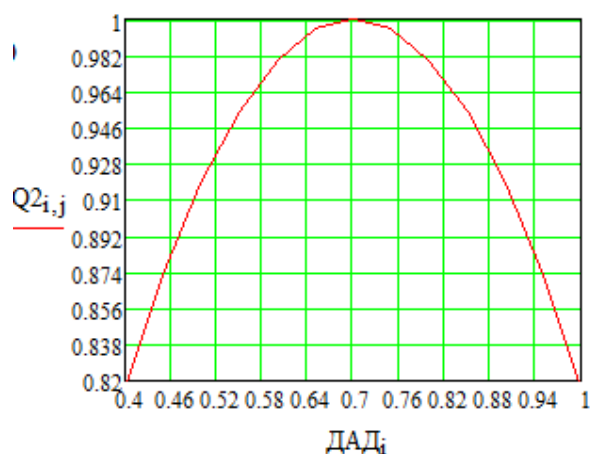
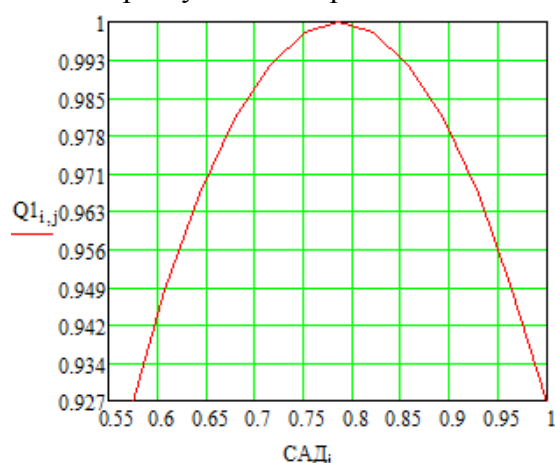


Рисунок 1 – Графики дифференциальных оценок САД и ДАД

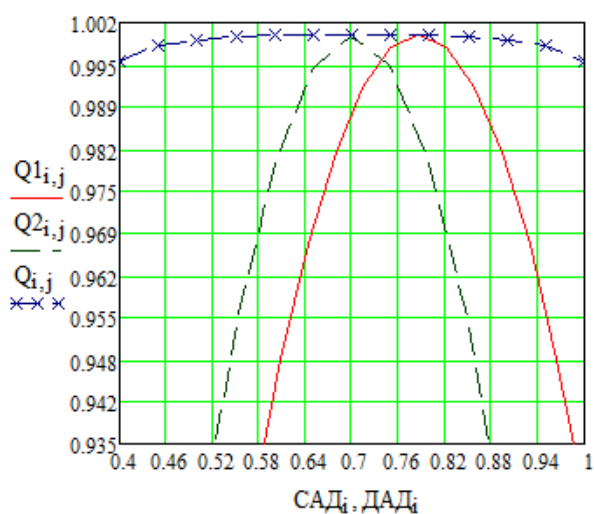


Рисунок 2 – Графики дифференциальных оценок САД и ДАД с их общим решением

Таблица 4 - Интегральные оценки ДАД и САД

Пациенты, №	Q , %	ε , %
1	99,36	0,64
2	99,83	0,17
3	99,93	0,07
4	99,98	0,02
5	99,996	0,004
6	99,999	0,001
7	1	0
8	99,999	0,001
9	99,996	0,004
10	99,98	0,02
11	99,93	0,07
12	99,83	0,17
13	99,36	0,64

Докажем возможность интегральной оценки Q в зависимости от числа показателей. Табл. 4 систематизирует интегральные Q и ε при объединении двух показателей САД и ДАД мультипликативной симметричной мерой Q .

Табл. 2 – 4 иллюстрируют графики дифференциальных оценок САД (рис. 1, а) и ДАД (рис. 1, б) и вместе с ними интегральной оценки (рис. 2).

Анализ графиков (рис. 1 – 2) показывает, что при увеличении показателей разброс увеличивается, а обобщенный показатель расширяется по отношению к каждому в отдельности.

Из оценки систолического и диастолического артериального давления по оптимальному критерию получены следующие выводы:

1. Дифференциальные и интегральные оценки мультипликативно-симметричной меры показывают достоверность измерений по отношению к эквиваленту. Действительные показатели САД и ДАД нормированы значениями соответственно 110 и 70 мм рт. ст, что доказывает максимальная единичная точность при нулевой погрешности;

2. При увеличении числа показателей разброс увеличивается, а обобщенный показатель расширяется по отношению к каждому в отдельности, т. е. чем больше оценивать параметров, тем шире диапазон;

3. При смещении диапазона измерений в среднюю область – точность оценки увеличивается, а погрешность снижается;

4. При сдвиге диапазона к границам измерения – точность уменьшается, а погрешность растет.

Список литературы

1. Попова, Ю.В. Разработка метода диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы [Текст] / Ю.В. Попова, К.Е. Швырева, Е.А. Леонтьев; Под общ. ред. А.А. Большакова. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2014. – 176 с.

2. Чичёв, С.И.. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий [Текст] / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. – М.: Спектр, 2014, – 228 с.

3. Глинкин, Е.И. Оптимальные меры оценки эффективности [Текст] / Е.И. Глинкин // Вестник тамбовского университета. – Тамбов: Тамбовский государственный университет, 2014, Т. 19, вып.6, – С. 1863 – 1869.

Швырева Ксения Евгеньевна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант кафедры «Биомедицинская техника». Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Глинкин Е.И. E-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru.

Суслова Юлия Владимировна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант кафедры «Биомедицинская техника». Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Глинкин Е.И. E-mail: ropova21.04@mail.ru.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

ASSESSMENT OF ARTERIAL PRESSURE FOR THE OPTIMAL CRITERION

Shvyreva K. E., Suslova Y. V., Glinkin E. I.
Russia, Tambov, Tambov state technical university

The article proposes a new method is more reliable diagnosis of diseases of the cardiovascular system, through the use of optimal test.

Keywords: multiplicative symmetric measure, blood pressure, diagnostic rate, hemodynamics.

Bibliography

1. Popova, Yu.V. Development of a method for diagnosing diseases of the cardiovascular system [Text] / Yu.V. Popova, K.E. Shvyrev, E.A. Leontiev; Under the Society. Ed. A.A. Bolshakova. - Tambov: Tambov State Technical University, 2014. - 176 s.
2. Chichev, S.I. Methodology for designing a digital substation in the format of new technologies [Text] / S.I. Chichev, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin. - Moscow: Spectrum, 2014, - 228 s.
3. Glinkin, E.I. Optimal measures of effectiveness evaluation [Text] / E.I. Glinkin // Bulletin of Tambov University. - Tambov: Tambov State University, 2014, T. 19, issue 6, - S. 1863 - 1869.

Shvyreva Kseniya Evgenievna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department. The scientific adviser is Doctor of Technical Sciences, Professor E.I. Glinkin. E-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru

Suslova Yuliya Vladimirovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department. The scientific adviser is Doctor of Technical Sciences, Professor E.I. Glinkin. E-mail: popova21.04@mail.ru

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru

УДК 62-546

МЕТОД ТОЖДЕСТВЕННОСТИ ЭКВИВАЛЕНТАМ ПРИ СТАНДАРТНОМ И ПРЕЦИЗИОННОМ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ

Коробов А.А., Глинкин Е.И.
Россия, Тамбов, ТГТУ

Предложена оптимальная мера оценки эффективности позиционного регулирования и описана основанная на ней система автоматического управления.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, оценка, качество, критерий оценки.

Позиционное П-регулирование широко применяется в приборостроении и биомедицинской технике, при автоматизации электрооборудования и производственных процессов за счет простой реализации измерения сигналов в фиксированном диапазоне. Измерение с заданной точностью в адаптивном диапазоне аналитического контроля трудоемко и нетехнологично из-за аппаратного управления оператором в диалоговом режиме коэффициентом настройки П-регулятора итерационным методом последовательного приближения [1]. Для стандартного П-регулирования относительная погрешность определяется отношением управляющего сигнала I к уставке E :

$$\varepsilon_1 = k\Delta / E = k \frac{E - U}{E}$$

Для двух сигналов $i=1,2$ нормированной уставки $U_1 = E$ и измеряемого $U_i = U$ предлагается использование прецизионного критерия оценки погрешности автоматического управления, который позволит производить программное управление заданной точностью автоматического регулирования в адаптивном диапазоне контроля:

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{E - U}{E + U} \right)^2$$

Для сравнительного анализа погрешностей ε_1 и ε_2 выразим измеряемый сигнал U через уставку E с переменной $m = E/U$ регулирования

$$\varepsilon_1 = k \frac{E - U}{E} = k \frac{E - E/m}{m},$$

а после сокращения на норму E , находим $\varepsilon_1(m)$

$$\varepsilon_1 = k \frac{1 - 1/m}{1} = k \frac{m-1}{m} \quad (1)$$

По аналогии с погрешностью $\varepsilon_1(m)$ фиксированного регулирования (1) вычислим относительную погрешность $\varepsilon_2(m)$ гибкого регулирования

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{1 - 1/m}{1 + 1/m} \right)^2 = \left(\frac{m-1}{m+1} \right)^2 \quad (2)$$

Оценки (1) и (2) удобны для анализа за счет одной переменной m в отличие от исходных выражений с двумя сигналами [2].

Сведем выражения (1) и (2) в систему уравнений для вычисления неизвестного коэффициента k через эффективность η_ε по точности стандартной оценки ε_1 к гибкому эквиваленту ε_2 регулирования:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = k \frac{m-1}{m}, \\ \varepsilon_2 = \left(\frac{m-1}{m+1} \right)^2. \end{cases} \quad (3)$$

Определим эффективность η_ε по точности при делении первого уравнения на второе системы (3):

$$\eta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{k(m-1)(m+1)^2}{m(m-1)^2}$$

после приведения подобных членов:

$$\eta_\varepsilon = \frac{k(m+1)^2}{m(m-1)}$$

Неуправляемая погрешность ε_1 фиксированного регулирования оценивается относительно нормируемого эквивалента ε_2 – идеального конечного результата (ИКР) с желаемой закономерностью нулевой меры

$$opt \varepsilon_2 = \varepsilon_2^* = 0,$$

что достигается при условии:

$$opt m = m^* = 1$$

Из качественного анализа эффективности это следует для закономерности

$$opt \varepsilon_1 = \varepsilon_1^* = \varepsilon_2,$$

когда выполняется условие:

Из вышеописанных закономерностей следует алгоритм вычисления адаптивного коэффициента k^* – эквивалента ИКР:

$$k^* = \frac{m(m-1)}{(m+1)^2}.$$

Анализ выражений случайной переменной η_ε и нормированного эквивалента η_ε^* приводит согласно методу тождественности эквиваленту [2] к закономерности

$$opt k = k^* = 0$$

при выполнении условий ИКР.

Нормированная переменная m , как следует из алгоритма изменяется от нуля в начале регулирования при $U = 0$, до единичного уровня при $U = E$ в конце регулирования.

Следовательно, гибкий коэффициент k^* оптимизации, в отличие от фиксированного коэффициента k стандартного П-регулирования, автоматически изменяется в адаптивном диапазоне $\{0,1\}$ за счет тождественности произведения случайных переменных нормированному эквиваленту ИКР, представленному максимальным произведением средних арифметических величин адаптивного диапазона автоматического контроля.

Список литературы

1. Коробов, А.А. Меры оценок эффективности регулирования.[Текст]/ А.А. Коробов, Л.Г. Гамова, Е.И. Глинкин// Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – Тамбов, 2015. – Т. 20. – Вып. 4. 920– 226 с.
2. Патент РФ 2014122724, МПК G05B 17/00. Способ и система автоматического управления / А.А. Коробов, Е.И. Глинкин. – М.: ФИПС, положительное решение от 08.09. 2015.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru

Коробов Артём Андреевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: korobov1991@mail.ru

METHOD OF IDENTITY TO EQUIVALENTS AT THE STANDARD AND PRECISION CRITERION OF THE ESTIMATION OF ERROR

Korobov A.A., Glinkin E.I.
Russia, Tambov, TSTU

An optimal measure of the effectiveness of positional regulation is proposed and the automatic control system based on it is described.

Keywords: automatic regulation, evaluation, quality, evaluation criterion.

Bibliography

1. Korobov, A.A. Measures for assessing the effectiveness of regulation. [Text] / A.A. Korobov, L.G. Gamow, E.I. Glinkin// Bulletin of Tambov University. Ser. Natural and technical sciences. - Tambov, 2015. - Vol. 20. - Issue. 4. 920 - 226 s.
2. The patent of the Russian Federation under the application №2014122724, МПК G05B 17/00. Method and system of automatic control / A.A. Korobov, E.I. Glinkin. - M .: FIPS, the positive decision from 08.09. 2015.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Korobov Artem Andreevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, post-graduate student of the department "Biomedical Engineering", e-mail: korobov1991@mail.ru.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ
НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, СВЯЗАННЫЕ С ПОВЫШЕНИЕМ НАДЁЖНОСТИ
СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ**

Титушкин Д.А., Матюхин С.И.

Россия, г.Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.Тургенева»

Сурма А.М., Ставцев А.В.

Россия, г.Орел, ЗАО «Протон-Электротекс»

Обсуждаются аспекты повышения надёжности силовых полупроводниковых приборов с диаметром полупроводникового кристалла 80 мм и более за счёт применения технологии низкотемпературного соединения кремниевых кристаллов и молибденовых дисков при помощи наночастиц серебра. Исследована связь пористости получаемого соединительного шва и циклостойкости экспериментальных образцов. Определена область оптимальных давлений и температур технологического процесса соединения.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы, надёжность, циклостойкость, синтеринг, низкотемпературное спекание, пористость

В настоящее время в области разработки и производства силовых полупроводниковых приборов (СПП) значительно усиливаются требования к их надёжности. Это обусловлено существенным увеличением «цены отказа» в устройствах силовой электроники, которые получили широкое распространение практически во всех областях человеческой деятельности. Одной из актуальных технологий, позволяющих повысить надёжность и ресурс СПП, является низкотемпературное соединение их элементов при помощи серебросодержащих слоёв – так называемая технология синтеринга.

Опыт применения технологии синтеринга в производстве мощных однокристалльных тиристоров и диодов показывает наличие преимуществ этой технологии, таких как повышенная циклостойкость [1, 2], уменьшенное тепловое сопротивление [1 – 3], улучшенные динамические характеристики [4], а также увеличенные значения ударного тока [5]. К важным преимуществам этой технологии относятся также отсутствие растворения поверхностных слоёв кремниевого кристалла и уменьшенный разброс коэффициента инжекции эмиттерного слоя по площади [4]. При этом технология синтеринга не лишена и ряда специфических недостатков.

Эта технология основывается на принципах диффузионной сварки и пластической деформации частиц серебра. При этом движущей силой синтеринга является запас свободной энергии на поверхности этих частиц. С уменьшением размеров частиц увеличивается значение их свободной энергии в исходном, не спечённом материале. В свою очередь, увеличение свободной энергии позволяет снизить температуру процесса синтеринга. Это положительно сказывается на величине остаточных деформаций в кремниевой структуре, однако за счёт избыточно высокой свободной энергии спекание может протекать очень интенсивно, что может приводить к внутренним механическим напряжениям при спекании и к растрескиванию шва. Предотвратить это нежелательное явление можно путём повышения пористости соединения, т.к. при повышении пористости повышается его эластичность (уменьшается модуль Юнга). Но повышение пористости соединения ухудшает теплопроводность шва, что может негативно сказаться на тепловом сопротивлении прибора.

Ещё один негативный эффект от избыточной пористости соединения специфичен только для тиристоров и диодов с кристаллами большой площади, которые монтируются в таблеточном корпусе. При термоциклировании таких приборов тангенциальные механические усилия передаются от верхнего и нижнего медных оснований на полупроводниковый элемент посредством сил трения. При этом молибденовый

термокомпенсатор, который является составной частью полупроводникового элемента, компенсирует эти воздействия. Однако уменьшение модуля Юнга соединения приводит к тому, что молибденовый термокомпенсатор перестаёт выполнять свою функцию и кремниевая пластина разрушается.

Таким образом, применительно к полупроводниковым приборам с большим диаметром кремниевого кристалла важно обеспечить такое значение пористости соединения, при котором будет исключаться возникновение внутренних напряжений при спекании, но не будет критического ухудшения теплового сопротивления и механической прочности шва.

В настоящей работе были изготовлены образцы тиристоров с полупроводниковым элементом диаметром 100 мм, рассчитанные на повторяющееся обратное напряжение 2800 В и средний ток 2500 А, получены экспериментальные зависимости циклостойкости от пористости синтер-соединения и определены области оптимальных температур и давлений процесса синтеринга. В качестве синтер-материала использовались серебрясодержащие плёнки на основе наночастиц серебра.

Как показали наши исследования, к резкому росту циклостойкости приборов приводит увеличение давления в процессе синтеринга свыше 12 МПа. При этом для образцов, изготовленных в режимах 20 МПа/235°C разрушения и деградации характеристик после циклирования не наблюдалось.

Полученные результаты удаётся достаточно хорошо совместить с изменениями пористости шва, получаемого при различных режимах синтеринга. Как выяснилось, для получения приемлемой циклостойкости необходимо получить шов с пористостью не более 7 %.

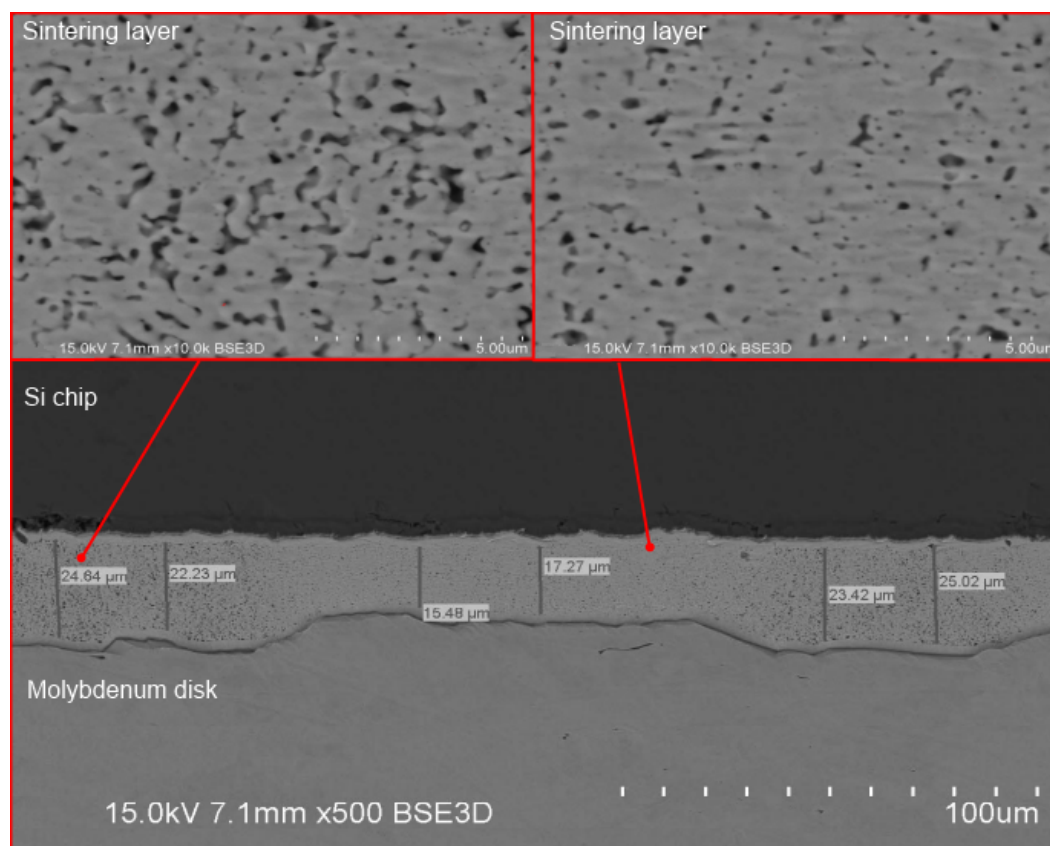


Рисунок 1 - SEM анализ полученного в процессе синтеринга соединения кремниевой пластины и молибденового диска

При применении серебросодержащих плёнок необходимо обращать внимание на качество поверхностей деталей, между которыми формируется синтер-шов. При достаточно больших значениях шероховатости равномерно распределить усилие в процессе синтеринга весьма затруднительно, особенно для кристаллов площадью 50 кв.см и более. Несоответствие шероховатости поверхностей может привести к вариации пористости шва по площади соединения (рисунок 1), поэтому при применении технологии синтеринга для кристаллов большой площади особое внимание необходимо уделять подготовке поверхностей молибденового диска и кремниевой пластины.

Список литературы

1. Scheuermann, U. Low Temperature Joining Technology - A High Reliability Alternative to Solder Contacts [Текст] / U.Scheuermann, P.Wiedl // Workshop on Metal Ceramic Composites for Functional Application. - Vienna, 1997. – p 181-192.
2. Göbl, C. Low temperature sinter technology die attachment for automotive power electronic applications [Текст] / C.Göbl, P.Beckedahl, H.Braml // Proc. Automotive Power Electronics. - Paris, 2006. – p 16-18.
3. Chernikov, A.A. Features of wafer - Mo joining by sintering of silver paste for large area silicon devices [Текст] / A.A.Chernikov, A.V.Stavtsev, A.M.Surma // Proc. EPE'2013. - Lille, 2013. – p 1-7.
4. Матюхин, С.И., Применение технологии низкотемпературного спекания (синтеринга) для улучшения динамических характеристик мощных быстродействующих диодов и тиристоров [Текст] / С.И. Матюхин, А.М. Сурма, А.В. Ставцев, Д.А. Титушкин, А.А. Писарев // Наноинженерия. – 2015. – №12. – с.11-14.
5. Schwarzbauer, H. Novel Large Area Joining Technique for Improved Power Device Performance [Текст] / H. Schwarzbauer // IEEE Transactions on Industrial Applications. – 1991. – V.27. – p. 93- 95.

Титушкин Дмитрий Александрович, ФГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», аспирант. Тел. (4862) 41-98-89 E-mail: d.titushkin@proton-electrotex.com.

Сурма Алексей Маратович, к.т.н., ЗАО «Протон-Электротекс», начальник научно-технического центра. Тел. (4862) 43-41-42 E-mail: a.surma@proton-electrotex.com.

Матюхин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., доцент, ФГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», заведующий кафедрой технической физики. Тел. (4862) 41-98-81 E-mail: sim1@mail.ru.

Ставцев Александр Валерьевич, ЗАО «Протон-Электротекс», технический директор. Тел. (4862) 43-41-42 E-mail: a.stavtsev@proton-electrotex.com.

FEATURES OF TECHNOLOGY OF SILVER NANOPARTICLE LOW-TEMPERATURE SINTERING RELATED TO IMPROVING RELIABILITY OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES WITH A LARGE SQUARE

Titushkin D.A., Matyukhin S.I.

Russia, Orel, Oryol State University

Surma A.M., Stavtsev A.V.

Russia, Orel, Proton-Electrotex Inc.

The aspects of reliability increasing for power semiconductor devices with a diameter of semiconductor crystals of 80 mm and more by using the technology of low-temperature coupling of silicon crystals and molybdenum disks with help of silver nanoparticles are discussed. The relation between the porosity of the resulting joint and the cyclic stability of the experimental samples was studied. The range of optimum pressures and temperatures of the technological process of coupling is determined.

Keywords: power semiconductor devices, reliability, cyclic stability, low-temperature sintering, porosity

Bibliography

1. Scheuermann, U. Low Temperature Joining Technology - A High Reliability Alternative to Solder Contacts [Текст] / U.Scheuermann, P.Wiedl // Workshop on Metal Ceramic Composites for Functional Application. - Vienna, 1997. – p 181-192.

2. Göbl, C. Low temperature sinter technology die attachment for automotive power electronic applications [Текст] / C.Göbl, P.Beckedahl, H.Braml // Proc. Automotive Power Electronics. - Paris, 2006. – p 16-18.
3. Chernikov, A.A. Features of wafer - Mo joining by sintering of silver paste for large area silicon devices [Текст] / A.A.Chernikov, A.V.Stavtsev, A.M.Surma // Proc. EPE'2013. - Lille, 2013. – p 1-7.
4. Matyukhin, S.I. Primeneniye tekhnologii nizkoterperaturnogo spekaniya (sinteringa) dlya uluchsheniya dinamicheskikh kharakteristik moshchnykh bystrodeystvuyushchikh diodov i tiristorov / S.I. Matyukhin, A.M. Surma, A.V. Stavtsev, D.A. Titushkin, A.A. Pisarev // Nanoinzheneriya. – 2015. – №12. – s.11-14.
5. Schwarzbauer, H. Novel Large Area Joining Technique for Improved Power Device Performance [Текст] / H. Schwarzbauer // IEEE Transactions on Industrial Applications. – 1991. – V.27. – p. 93- 95.

Titushkin Dmitriy Aleksandrovich, Oryol State University, Graduate Student. Fone: (4862) 41-98-89
E-mail: d.titushkin@proton-electrotex.com,

Surma Aleksey Maratovich, PhD, Proton-Electrotex Inc., Head of R&D Center. Fone: (4862) 43-41-42
E-mail: a.surma@proton-electrotex.com,

Matyukhin Sergey Ivanovich, Dr.Sc., Oryol State University, Chair of Technical Physics Department.
Fone: (4862) 41-98-81 E-mail: sim1@mail.ru

Stavtsev Aleksander Valerievich, Proton-Electrotex Inc., Technical Director. Fone: (4862) 43-41-42 E-mail: a.stavtsev@proton-electrotex.com

УДК 537.533.35+546.26

СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Платёнкин А.В., Чернышов В.Н.

Россия, г. Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Рассмотрен плазмохимический метод получения наноразмерного диоксида циркония и использование его при производстве твердооксидных топливных элементов, применяемых в качестве источников питания портативных электронных устройств и гибридных микросборок.

Ключевые слова: наноразмерный диоксид циркония, плазмохимический синтез, твердооксидные топливные элементы.

В начале XIX века экспериментально было обнаружено явление высокой ионной проводимости в твердых телах, сравнимой с проводимостью растворов жидких электролитов. В последующем явление высокой ионной или, как оно было названо, суперионной проводимости стало объектом внимания исследователей различных областей науки (неорганической и структурной химии, электрохимии, физики), что привело к образованию самостоятельного направления, получившего название «ионика твердого тела» [1].

Твердооксидные топливные элементы (по международной классификации SOFC), имеют широкий диапазон перспективных применений: от портативных источников тока (10-500 Вт) до автономных стационарных электростанций (1-10 МВт). Их привлекательность обусловлена прежде всего высокой эффективностью прямого преобразования химической энергии водорода или другого топлива посредством электрохимической реакции с кислородом непосредственно в электрическую энергию. При этом топливом могут быть любые углеводороды (вплоть до технических и биологических отходов жизнедеятельности животных и человека), а окислителем служит воздух. Причем низкотемпературное, электрохимическое горение топлива обеспечивает высокую экологичность процесса получения электроэнергии [2].

Из двух существующих типов ТОТЭ планарные твердооксидные топливные элементы с точки зрения технологии изготовления имеют ряд преимуществ по сравнению с трубчатым ТОТЭ. В частности, при использовании планарных ТОТЭ упрощаются операции нанесения электродных покрытий и появляется возможность изготовления в едином цикле спекания твердого электролита с анодным покрытием, поэтому совершенствование технологии производства твердых электролитов для планарных твердооксидных топливных элементов является актуальной задачей.

В настоящее время наиболее часто используемыми материалами при изготовлении планарных ТОТЭ являются: для электролита – проводящий по ионам кислорода диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия (YSZ), для катода – манганит лантана стронция (LSM), для анода – никелевый кермет ($\text{Ni} + \text{YSZ}$). В представленном докладе приведены данные по получению наноразмерного порошка диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, которые позволяют усовершенствовать технологию изготовления пластин твердого электролита из перечисленных материалов и повысить эффективность планарных твердооксидных топливных элементов. Показаны этапы получения газоплотной пластины YSZ.

Диоксид циркония является основным материалом для изготовления твердых электролитов, применяемых в топливных элементах. Основными требованиями, предъявляемыми к таким электролитам, являются: высокая ионная проводимость, механическая прочность и термическая стойкость, а также газоплотность для обеспечения стабильной и долговременной работы ТОТЭ с высокими электрическими характеристиками и предотвращения потерь топлива [2, 3].

Получение газоплотной мелкокристаллической керамики, обеспечивающей улучшенные электрофизические параметры и более низкие рабочие температуры, представляет собой сложную проблему, сдерживающую более широкое ее применение. Получить плотную керамику по обычной технологии затруднительно из-за сравнительно высоких температур синтеза керамических порошков и узкого температурного интервала спекаемости. Для решения этой проблемы мы предлагаем использовать при производстве газоплотных пластин высокодисперсные и ультрадисперсные порошки. В нашем случае – оксиды циркония.

Рассмотрим технологию получения газоплотных пластин твердотельного электролита в виде поэтапного выполнения следующих технологических операций.

На первом этапе для получения наноразмерного порошка ZrO_2 в плазматроне УПУ-8М формируют плазму мощностью 16 кВт (ток плазмы 200А, напряжение 80В). В качестве катода используется композиционный материал, состоящий из 8,2% кобальта и 91,8% вольфрама, а для плазмообразования применяется аргон (Ar) [4-5]. Схематический вид установки для получения порошка диоксида циркония представлен на рис. 1.

Подготовленный крупнозернистый порошок диоксида циркония через штатную систему подачи материала 5 и транспортирующего газа – аргона 3 подают в зону реакции с расходом от 5 до 20 г/мин. Проходя через сопло, оксид циркония диссоциирует на атомы и ионизируется, причем полная диссоциация порошка исходного материала осуществляется в индукционной плазме 4, формирующейся между катодом 2 и анодом 3. Для увеличения зоны реакции на высокотемпературную область плазмы воздействуют высокочастотным (2,4 МГц) магнитным полем мощностью 10 кВт, формируемым в блоке генератора высокочастотной плазмы 6 и 7. Устройство воздействия представляет собой кварцевую трубу 10, герметично соединенную с анодом, вокруг которой помещены электромагнитные катушки индуктивности 8 и 9. Магнитное поле обеспечивает увеличение объема плазмы, и, следовательно, зоны реакции. После прохождения через зону реакции продукты синтеза и технологическая среда поступают через трубку 11 в водный фильтр 12, где получившийся материал отделяется от технологической среды через трубку 13 [6-7].

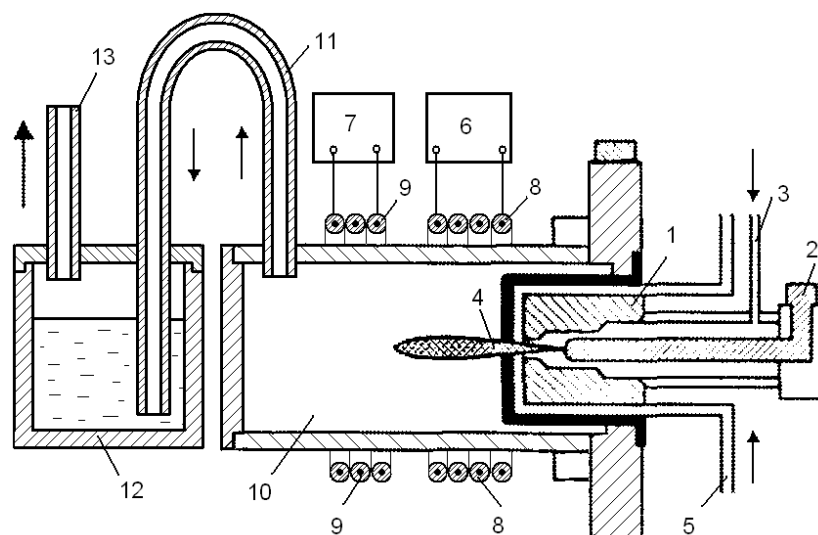


Рисунок 1 – Схематический вид установки получения порошка диоксида циркония

Нанопорошок диоксида циркония, полученный методом плазмохимического синтеза из крупнозернистого поликристаллического порошка, отличается от порошка, получаемого химическим методом, более мелкими размерами гранул (100-500 нм против 50-100 нм) и отсутствием агломератов в конечном продукте синтеза. На рисунке 2 приведена наноразмерная порошковая форма диоксида циркония в виде отдельных частиц со средним размером 20-100 нм, имеющих почти сферическую морфологию. Такая морфология может помочь в упаковке частиц при формиовании тонкой пленки и, следовательно, улучшить кинетику спекания. Это, в свою очередь, помогает росту плотности электролитной пленки при более низких температурах обжига.

Для подавления фазовых трансформаций и удержания кубической фазы диоксид циркония стабилизируется оксидом иттрия. При этом повышается плотность и прочность на изгиб, а также уменьшается коэффициент теплового расширения получаемой газоплотной пластины.

На втором этапе для полной стабилизации диоксида циркония в полученный на плазмотроне порошок добавляется 15% оксида иттрия Y_2O_3 после чего тщательно перемешивается для получения керамической смеси YSZ.

На третьем этапе формируются пластины твердого электролита вальцеванием смеси из порошка YSZ и термопластичной связки.

На четвертом этапе проводился двухстадийный обжиг керамических пластин-заготовок. При этом удаление связки из заготовок (полуфабрикатов) выполняли в порошкообразном минеральном адсорбенте.

На пятом этапе проводилось спекание керамических пластин. С ростом температуры увеличивается диффузия химических компонентов, при этом движущей силой спекания является снижение поверхностной энергии порошков. В общем случае керамический порошок с более мелкими размерами зерен спекается при более низкой температуре и до более высокой плотности. Однако, чем мельче размер зерен керамического порошка, тем больше проявляется его тенденция к агломерации. Спекание зерен в агломерате происходит при более низкой температуре, чем спекание агломератов между собой, в результате чего между такими агломератами остаются поры даже после спекания при очень высоких температурах. Поэтому при производстве керамических материалов для достижения высокой плотности необходим обязательный контроль дисперсности исходного порошка и условий спекания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Предложен метод плазмохимического синтеза наноразмерного порошка диоксида циркония. За счет подбора параметров работы плазмотрона и использования

высокочастотного модулированного электромагнитного поля, воздействующего на зону реакции, получен наноразмерный слабоагрегированный порошок диоксида циркония (ZrO_2), который отличается от порошков, полученных химическим методом, меньшими размерами (50 – 100 нм) против (100 – 500 нм) и практически отсутствием конгломератов.

2) Предлагается совершенствование известной технологии получения твердого электролита за счет использования в качестве исходного сырья наноразмерного диоксида циркония, полученного плазмохимическим методом. Использование наноразмерного диоксида циркония приводит к более плотной упаковке частиц при возникновении тонкой пленки и, следовательно, улучшает кинетику спекания. Это, в свою очередь, помогает росту плотности электролитной пленки при более низких температурах обжига, что позволило произвести газоплотную пластину более высокой плотности без дефектов, что повышает механическую прочность и термическую стойкость, важную для работы ТОТЭ, а также газоплотность для обеспечения стабильной и долговременной работы ТОТЭ с высокими электрическими характеристиками, предотвращает потери топлива, сокращает омические потери и обеспечивает более плотное прилегание твердого электролита к аноду и катоду твердооксидного топливного элемента.

Список литературы

1. Drenckahn, W. Fine Technical Ceramic [Text] / W. Drenckahn, H. Greiner, E. Ivers-Tiffée // Siemens Power Goarnal – 1994. – № 4. – P. 36 – 38.
2. Иванов, В.В. Формирование многослойных структур твердооксидного топливного элемента [Текст] / В. В. Иванов, А. С. Липилин, А. В. Спирин, Ал. А. Ремпель, С. Н. Паранин, В. Р. Хрустов, С. Н. Шкерин, А. В. Валенцев, В. Д. Журавлев // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2007, – № 2. – С. 75-88.
3. Тонкая техническая керамика [Текст]/ Под ред. Х. Янагида. – М.: Металлургия, 1986. – 276 с.
4. Пат. 2371381 Российская Федерация, МКП В 82 В 3/00, С 30 В 30/00, С 30 В 29/60. Способ и устройство плазмохимического синтеза нанообъектов [Текст] / Баршутин С. Н., Платёнкин А.В. и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГТУ». – №2007147155/15. заявл. 18.12.07, опублик. 27.10.09.
5. Платёнкин, А.В. Синтез оксид-марганцевых нанообъектов в низкотемпературной плазме [Текст] / А.В. Платенкин, Д.В. Образцов, В.П. Шелохвостов, С.Н. Баршутин // Вопросы современной науки и практики. университет им. В.И. Вернадского. – 2007. – № 8. – С. 187-192.
6. Рутман, Д.С. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония [Текст] / Д.С. Рутман, Ю.С. Торопов, С.Ю. Плинер, – М.: Металлургия, 1985. – 136 с.
7. Образцов, Д.В. Метод активного технологического контроля электрофизических параметров островковых пленочных катализаторов при вакуумном синтезе нанообъектов [Текст] / Д.В. Образцов, В.Н. Чернышов, В.П. Шелохвостов // Вестн. ТГТУ. – 2016. – Том 22. № 1. – С. 15-24.

Платёнкин Алексей Владимирович, канд.техн.наук, ст. преподаватель каф. «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции» ТГТУ, 392020, Тамбов, ул. Советская, 106, E-mail: lepilalex@yandex.ru Тел.: 8(905)123-13-59.

Чернышов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, зав. каф. «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции» ТГТУ, 392020, Тамбов, ул. Советская, 106; E-mail: elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru Тел.: 8(4752) 63-15-30.

SYNTHESIS OF NANOSIZED ZIRCONIUM DIOXIDE TO CREATE A SOLID OXIDE POWER SOURCES

Platekin A. V., Chernyshov V. N.
Russia, Tambov Tambov State Technical University

Reviewed by plasma-chemical method of obtaining nano-sized Zirconia and its use in the production of solid oxide fuel cells used as power sources of portable electronic devices and hybrid microcircuits.

Key words: nanosized Zirconia, plasma-chemical synthesis, solid oxide top liwnie elements.

Bibliography

1. Drenckahn, W. Fine Technical Ceramic [Text] / W. Drenckahn, H. Greiner, E. Ivers-Tiffée // Siemens Power Goarnal – 1994. – № 4. – P. 36 – 38.
2. Ivanov, V.V. Formirovanie mnogoslojnyh struktur tverdooksidnogo toplivnogo ehlementa [Tekst] / V. V. Ivanov, A. S. Lipilin, A. V. Spirin, Al. A. Rempel", S. N. Para-nin, V. R. Hrustov, S. N. SHkerin, A. V. Valencev, V. D. ZHuravlev // Mezhdunarodnyj nauch-nyj zhurnal Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya. – 2007, – № 2. – S. 75-88.
3. Tonkaya tekhnicheskaya keramika [Tekst]/ Pod red. H. YAnagida. – M.: Metallurgiya, 1986. – 276 s.
4. Pat. 2371381 Rossijskaya Federaciya, MKP B 82 V 3/00, C 30 B 30/00, C 30 B 29/60. Sposob i ustrojstvo plazmohimicheskogo sinteza nanoob"ektov [Tekst] / Barshutin S. N., Platonkin A.V. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «TGTU». – №2007147155/15. zayavl. 18.12.07, opubl. 27.10.09.
5. Platonkin, A.V. Sintez oksid-margancevyh nanoob"ektov v nizkotemperaturnoj plazme [Tekst] / A.V. Platenkin, D.V. Obrazcov, V.P. SHelohvostov, S.N. Barshutin // Vopro-sy sovremennoj nauki i praktiki. universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2007. – № 8. – S. 187-192.
6. Rutman, D.S. Vysokoogneupornye materialy iz dioksida cirkoniya [Tekst] / D.S. Rutman, YU.S. Toropov, S.YU. Pliner, – M.: Metallurgiya, 1985. – 136 s.
7. Obrazcov, D.V. Metod aktivnogo tekhnologicheskogo kontrolya ehlektrofizicheskikh parametrov ostrovkovykh plenochnykh katalizatorov pri vakuumnom sinteze nanoob"ektov [Tekst] / D.V. Obrazcov, V.N. CHernyshov, V.P. SHelohvostov // Vestn. TGTU. – 2016. – Tom 22. № 1. – S.15-24

Patinkin Aleksey Vladimirovich, Ph. D., lecturer of the Department. "Criminal law and applied computer science in jurisprudence" of TSTU, 392020, Tambov, Sovetskaya St., 106, E-mail: lepilalex@yandex.ru; Phone: 8(905)123-13-59.

Chernyshov Vladimir Nikolaevich, doctor of technical Sciences, Professor, head. DEP. "Criminal law and applied computer science in jurisprudence" of TSTU, 392020, Tambov, Sovetskaya St., 106, E-mail: elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru, Tel: 8(4752) 63-15-30.

УДК 541.136

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Образцов Д.В., Чернышов В.Н.

Россия, г.Тамбов, Тамбовский государственных технический университет

Рассмотрены основные виды и параметры современных литий-ионных аккумуляторов. Описана разработанная технология напыления в вакууме покрытий на поверхности электродов используемых при производстве литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: электроды; покрытия; вакуумное напыление; литий-ионные аккумуляторы.

Для накопления электроэнергии лучшими на сегодняшний день по удельной емкости являются литий-ионные аккумуляторы (ЛИА). Промышленностью налажен выпуск ЛИА (LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 или LiFePO_4) с удельной емкостью 110-170 Вт*ч/кг (количество циклов заряд-разряд 500-1000). Также существуют литий-серные аккумуляторы с емкостью 350 Вт*ч/кг, широкое использование данного типа аккумулятора ограничено относительно небольшим сроком службы 100-200 циклов заряд-разряд, в процессе химической реакции в LiS аккумуляторах возникают промежуточные вещества – полисульфиды, которые ухудшают характеристики батареи и

приводят к быстрому падению ее емкости. Большинство современных аккумуляторов изготавливаются по так называемым «намазным» технологиям – то есть на основе толстоплёночных электродов, имеющих большую поверхность соприкосновения с электролитом, благодаря чему размер и масса аккумулятора в целом невелики. Они способны работать на холоде и почти не разряжаются в отсутствие прямого расхода энергии, однако ёмкость таких батарей ограничена удельной ёмкостью графита ($372 \text{ мА} \cdot \text{ч/г}$) и феррофосфата лития ($150 \text{ мА} \cdot \text{ч/г}$) [1].

Основные недостатки серийно производимых ЛИА сдерживающих их широкое применение:

- значительная потеря емкости литий-ионных аккумуляторов при минусовых температурах;
- большинства типов литий-ионных аккумуляторов при повреждении оболочки (при заряженной батарее) происходит нагрев и возгорание;
- при глубоком разряде, необратимо, теряется большая часть емкости;
- превышения уровня заряда обычно приводит к потере емкости, нагреву и возгоранию;
- невозможная потеря емкости при длительном хранении полностью заряженного литий-ионного аккумулятора, рекомендуется хранить при 50% уровне заряда, что требует предварительной подзарядки при начале эксплуатации, что неприменимо в некоторых областях, в которых не может быть промедления, таких как стратегическая военная техника.

Применения специальных устройств для заряда и использование на аккумуляторах контроллеров разряда позволяют продлить срок службы литий-ионных аккумуляторов и сделать их относительно безопасными при нормальных условиях эксплуатации.

Самыми перспективными считаются литий-воздушные аккумуляторы с удельной емкостью $13000 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$ но для их практической реализации требует решение множества технических и научных задач, среди которых создание эффективного катализатора, литиевого анода и стабильного твердого электролита и др. Данный тип аккумулятора можно считать переходным от литий-ионных аккумуляторов к топливным элементам [2].

На сегодняшний день лучшие экспериментальные образцы литий-ионных аккумуляторов но они отличаются меньшим сроком службы по сравнению с серийно выпускаемыми и пока не могут прийти на их замену [3].

Основными производителями по доли на рынке литий-ионных аккумуляторов являются Китай, США, Япония (производители Coslight Technology International Group Limited, Benning, A123Systems, BYD Company, Shandong Hipower New Energy Group, China Sun Group, Lithium Technology Corporation, Thunder Sky Group, Valence Technology, K2 Energy, FULLRIVER Battery, Zhuhai Yintong Energy, Optimum Battery и др.)

Нанесение покрытий на электроды ЛИА многостадийный процесс, требующий проведения операций контроля на всех стадиях. Для получения электродов со стабильными параметрами предлагается проводить активный технологический контроль при синтезе тонкопленочного наноструктурированного катализатора на поверхности электродов литий-ионных аккумуляторов [4].

Для проверки работоспособности разработанного ранее метода [5] и корректности созданной модели проводили серию экспериментов напыления никелевой пленки при изменении доминирующих параметров - расстояния от испарителя до поверхности электродов, угол наклона электрода по отношению к атомарному потоку испаряемого вещества. Материалом для испарения служили наноразмерные порошки металлов, полученные химическим и плазмохимическим методом [6, 7].

Синтез наноструктурированного катализатора на поверхности электродов ЛИА производился методом вакуумного напыления веществ, который отличается от других тем, что позволяет получать химически чистые катализаторы с равномерным

распределением по поверхности электрода, что в дальнейшем положительно влияет на стабильность параметров ЛИА. Однако данный метод требует тщательной настройки, так как является многопараметричным и, следовательно, используя его, довольно сложно добиться необходимой повторяемости параметров и свойств тонкопленочных катализаторов и углеродных нанообъектов. Проведенные эксперименты показали, что применение метода активного контроля при вакуумном напылении позволяет снизить на 30-40% процентов отклонения в толщине синтезируемой пленки от заданных значений по сравнению с применяемыми на сегодняшний день методами и используемым оборудованием.

Список литературы

1. Chudinov, E.A. The negative electrode of a lithium-ion battery [Text] / E.A. Chudinov [et al.]. // Fundamental research. – 2014. – №. 6-7. – С. 1389-1392.
2. Ramadesigan, V. Subramanian Modeling and simulation of lithium-ion batteries from a systems engineering perspective [Text] / V. Ramadesigan, [et al.]. // Journal of The Electrochemical Society. – 2012. – Т. 159, №. 3. – С. 31-45.
3. Астрова, Е.В. Исследование структуры и состава кремниевых микроструктур, подвергшихся циклическому внедрению и экстракции лития [Текст] / Е.В. Астрова, [и др.] // Журнал технической физики. – 2015. – Т. 85, № 4. – С. 52-61.
4. Образцов Д.В., Гумбин В.В., Шелохвостов В.П., Чернышов В.Н., Макачук М.В. Способ синтеза наноструктурной пленки на изделии и устройство для его реализации: пат. 2466207 Российская Федерация. 2012. Бюл. №31. 23 с.
5. Метод и система активного технологического контроля синтеза нанообъектов [Текст] / Образцов Д.В., Чернышов В.Н., Шелохвостов В.П. // Наноинженерия. – 2015. – № 8. – С. 27-32.
6. Kilimnik, A.B. Electrochemical Behavior Of Nickel And Its Oxides In Concentrated Sodium Hydroxide Solutions [Text] / A.B. Kilimnik, E.Y. Nikiforova // Russian Journal Of Electrochemistry. – 2013. – Т. 49, № 12. – С. 1122-1126.
7. Платенкин, А.В. Разработка устройства воздействия электромагнитными полями на процесс плазмохимического синтеза нанообъектов [Текст] / А.В. Платенкин, В.П. Шелохвостов, С.Н. Баршутин // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2010. – Т. 15, № 1. – С. 240-241.

Образцов Денис Владимирович – канд. техн. наук, Тамбовский государственный технический университет, доцент кафедры “Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции”, г. Тамбов, ул. Советская д. 116, ТГТУ кор. С., odvru@rambler.ru.

Чернышов Владимир Николаевич – д-р техн. наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет заведующий кафедрой “Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции”. Автор более 100 научных работ в области микро- и нанотехнологии, конструкторско-технологической информатики., г. Тамбов, ул. Советская д.106, кор. Г., elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru, (4752) 63-15-30.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF VACUUM DEPOSITION OF NANOSTRUCTURED COATINGS ON THE SURFACE OF ELECTRODES OF LITHIUM-ION BATTERIES

Obraztsov D.V., Chernyshov V.N.
Russian Federation, Tambov, Tambov State Technical University

Considered the basic types and parameters of modern lithium-ion batteries. Describes the technology of coating in vacuum coating on the surface of the electrodes used in the manufacture of lithium-ion batteries.

Key words: electrodes; coatings; vacuum deposition; lithium-ion batteries.

Bibliography

1. Chudinov, E.A. The negative electrode of a lithium-ion battery [Tekst] / E. A. Chudinov, S. A. Tkachuk, V. S. Shishko, A. N. Kokorin // Fundamental research. – 2014. – №. 6-7. – s. 1389-1392.
2. Ramadesigan, V. Modeling and simulation of lithium-ion batteries from a systems engineering perspective [Tekst] / V. Ramadesigan, [et al.] // Journal of The Electrochemical Society. – 2012. – vol. 159, №. 3. – s. 31-45
3. Astrova, E.V. The study of the structure and composition of silicon microstructures subjected to cyclic introduction and extraction of the lithium [Tekst] / E.V. Astrova, [et al.] // Journal of technical physics, 2015. – vol. 85, № 4. – s. 52 – 61.
4. Obratsov, D.V., Gumbin, V.V., Shelokhovostov, V.P., Chernyshov, V.N., Makarchuk, M.V. Tambov State Technical University, Sposob sinteza nanostrukturnoi plenki na izdelii i ustroystvo dlya ego realizatsii [A method for synthesizing nanostructured film on the product and the device for its realization], Russian Federation, 2012, Pat. 2466207.
5. Obratsov, D.V. Method and system for active process control of the synthesis of nanoobjects [Tekst] / D.V. Obratsov, V.N. Chernyshov, V.P. Shelokhovostov // Nanoinzheneriya [Nano Engineering]. – 2015. – № 8. – s. 27-32.
6. Kilimnik, A.B. Electrochemical Behavior Of Nickel And Its Oxides In Concentrated Sodium Hydroxide Solutions [Tekst] / A.B. Kilimnik, E.Y. Nikiforova // Russian Journal Of Electrochemistry. – 2013. – vol. 49, № 12. – s. 1122-1126.
7. Platenkin, A.V. Working out of the device of influencing by electromagnetic fields on a process plasma-chemical synthesis of nano-objects [Tekst] / A.V. Platenkin, V.P. Shelokhovostov, S.N. Barshutin // Bulletin of Tambov University, Series: Natural and technical Sciences. – 2010. – vol. 15, №1. – s. 240-241.

Obratsov D.V. – Cand. Sci. (Eng.), Tambov State Technical University, assoc. professor of “Criminal law and applied informatics in jurisprudence”, 116 Sovetskaya St, Tambov, 392000 Russian Federation, odvru@rambler.ru.

Chernyshov V.N. – Dr. Sci. (Eng.), Tambov State Technical University, head of “Criminal law and applied informatics in jurisprudence”. Author of more than 100 publications in the field of nanotechnology, the design and technological informatics. Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya St, Tambov, 392000 Russian Federation, elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru, (4752) 63-15-30.

УДК 621.319.45

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТАНТАЛОВОГО КОНДЕНСАТОРА НА ХАРАКТЕР ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАРЯДЕ В ЦЕПИ С МАЛЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Барсуков В.К., Фокеев А.Е., Сибгатуллин Б.И.

Россия, г. Ижевск, ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашикова»

Выполнено моделирование процесса заряда структуры распределенного конденсатора методом конечных элементов, проанализированы результаты. Определено, что области конденсатора вблизи катодного вывода подвергаются воздействию больших значений перенапряжений и токов. Кроме того, скорость нарастания напряжения в этих областях может быть выше, чем вблизи анодного вывода, что может привести к снижению напряжения пробоя конденсатора. Адекватность рассмотренной модели подтверждена экспериментально.

Ключевые слова: распределенные параметры, танталовый конденсатор, переходные процессы, напряжение пробоя, конечно-элементный анализ.

Танталовые конденсаторы обладают высокой удельной емкостью, надежностью, долговечностью и стабильностью параметров, что обусловило их широкое применение в высоконадежной продукции военного и аэрокосмического назначения. Высокая удельная емкость достигается за счет развитой поверхности пористой структуры танталового

анода, изготавливаемого из мелкодисперсного танталового порошка, размеры частиц которого находятся в пределах от 2 до 10 мкм. Толщина диэлектрического слоя оксида тантала находится в пределах от 50 нм до 300 нм [1].

Анализ, проведенный в [2], показал, что при некоторых условиях расчет переходных процессов заряда танталового конденсатора с использованием лестничной и RCL схем замещения может дать различные результаты. Расхождение в результатах увеличивается при малых значениях сопротивления и индуктивности цепи, когда параметры цепи заряда в большей степени определяются параметрами конденсатора. В таких условиях конденсатор нельзя рассматривать как элемент с сосредоточенными параметрами.

Один из вариантов аппроксимации параметров конденсатора был предложен в [2]. Из-за различных значений постоянных времени RC -цепочек можно предположить, что переходные процессы заряда танталовых зерен в структуре конденсатора могут иметь различный характер.

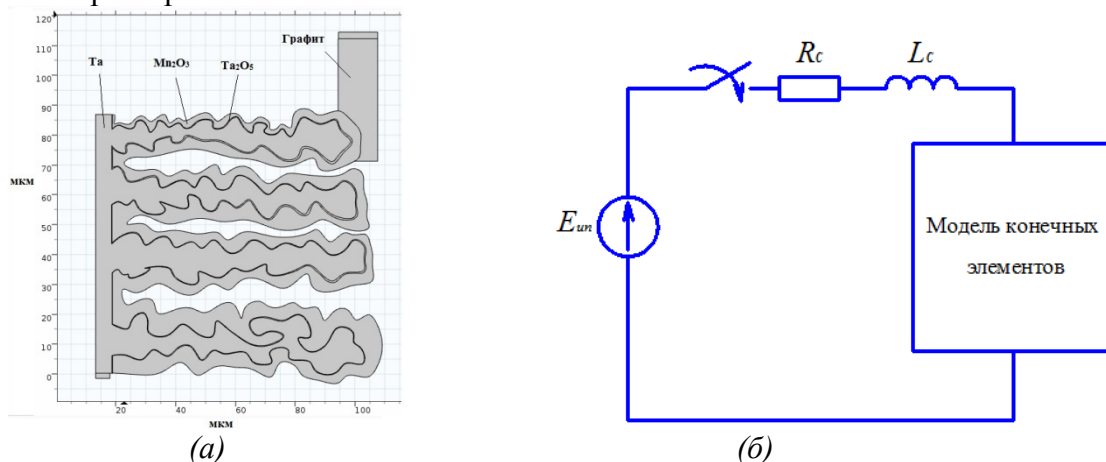


Рисунок 1 – Модель структуры конденсатора с распределенными параметрами (а), комбинация МКЭ и модели электрической цепи (б)

Для анализа влияния распределенности параметров танталового конденсатора на характер переходных процессов при заряде было проведено моделирование структуры конденсатора с распределенными параметрами (рисунок 1 а) методом конечных элементов (МКЭ) в программном пакете Comsol Multiphysics. Построенная модель с высокой степенью точности воспроизводит структуру танталового конденсатора. Для учета параметров внешней цепи заряда, построенная модель конденсатора совмещена с моделью электрической цепи, состоящей из источника постоянного напряжения, резистора и индуктивности (рисунок 1 б).

Построенная модель структуры конденсатора имеет емкость $C = 1,72$ мкФ и сопротивление $ESR = 1,11$ Ом. Частотная зависимость импеданса модели (рисунок 2 а) качественно совпадает с частотными характеристиками танталовых конденсаторов.

При малом значении сопротивления и индуктивности стэнда ($L_c = 10$ нГн, $R_c = 0,1$ Ом) переходные процессы согласно модели конечных элементов в значительной степени отличаются от переходных процессов, рассчитанных для RCL -схемы замещения (рисунок 2 б). При этом они имеют схожий характер с переходными процессами, рассчитанными с использованием лестничной схемы замещения (большее максимальное значение зарядного тока в начальный период заряда, быстрое нарастание напряжения на клеммах конденсатора). Это обусловлено неравномерным распределением по структуре модели плотности зарядного тока и напряженности электрического поля.

Таким образом, процесс заряда локальных областей структуры конденсатора может протекать с различной скоростью. Вследствие этого напряженность пробоя

диэлектрической пленки вблизи катодного вывода снижается, а вероятность пробоя увеличивается [3].

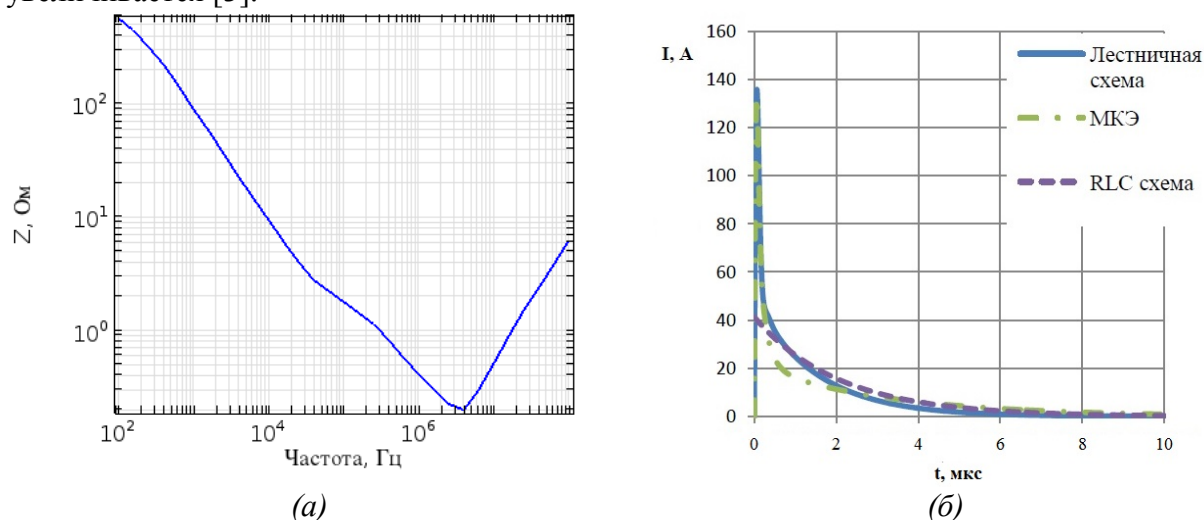


Рисунок 2 – Частотная зависимость импеданса модели структуры конденсатора (а), результаты расчета переходных процессов методом конечных элементов и с использованием RCL и лестничной схемами замещения (б)

Возможны условия, при которых переходные процессы заряда локальных областей структуры конденсатора могут иметь различный характер (апериодический или колебательный) при общем апериодическом характере переходного процесса. На рисунке 3 представлены результаты расчета переходных процессов методом конечных элементов и с использованием RCL-схемы замещения при $R_c = 0,1$ Ом, $L_c = 30$ нГн. Можно отметить, что процесс заряда области вблизи катодного вывода имеет колебательный характер, что приводит к возникновению кратковременного перенапряжения на диэлектрике (рисунок 3).

Таким образом, в условиях, когда импеданс зарядной цепи определяется в большей степени параметрами конденсатора, необходимо учитывать особенности его структуры и рассматривать конденсатор как элемент с распределенными параметрами. В этом случае лестничная схема замещения конденсатора дает более точные результаты.

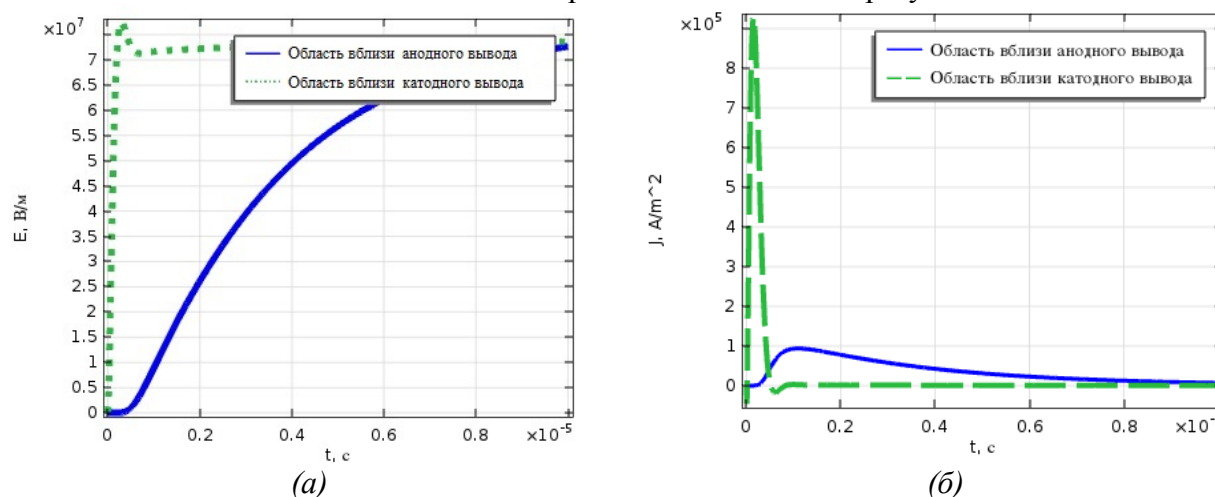


Рисунок 3 – Напряженность электрического поля (а) и плотность электрического тока (б) при заряде распределенной структуры конденсатора при $R_c = 0,1$ Ом, $L_c = 30$ нГн

Для проверки адекватности результатов моделирования, выполненного методом конечных элементов, и целесообразности использования лестничной схемы замещения при расчете переходных процессов были проведены измерения амплитуды импульса тока при заряде конденсатора в цепи с низким сопротивлением. Схема заряда конденсатора

состояла из электролитического конденсатора EPCOS емкостью $C = 22000$ мкФ, полевого транзистора IRF3077 и токоизмерительного шунта 75ШСМЗ. Сопротивление зарядной цепи не превышало 30 мОм, индуктивность – 50 нГн. Таким образом, сопротивление цепи заряда главным образом определялось ESR танталового конденсатора, которое имеет распределенный характер. График зарядного тока танталовых конденсаторов емкостью 68 мкФ и 680 мкФ приведен на рисунке 4. Для измерения тока использовался осциллограф Techtronix TDS2024C.

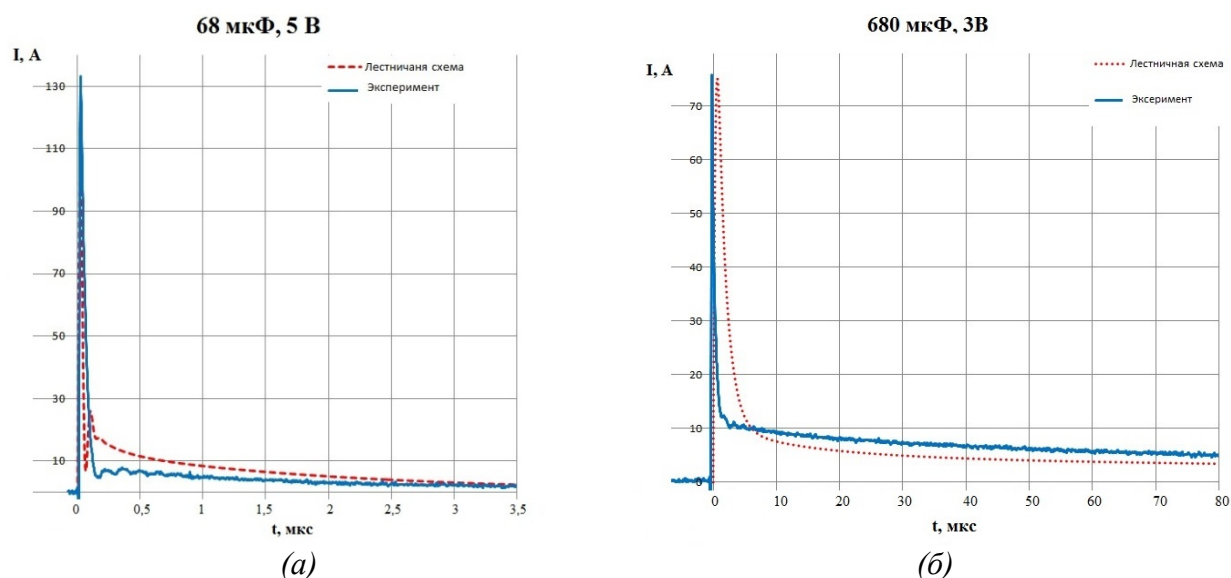


Рисунок 4 – График зарядного тока танталового конденсатора емкостью 68 мкФ (а) и 680 мкФ (б)

Таким образом, форма зарядного тока танталового конденсатора имеет аналогичный вид, получаемый при использовании МКЭ или лестничной схемы замещения, что подтверждает адекватность модели.

Результаты моделирования методом конечных элементов позволяют выдвинуть гипотезу о том, что при заряде танталового конденсатора локальные области диэлектрика подвергаются воздействию перенапряжений при апериодическом процессе заряда, что, в свою очередь, приводит к снижению напряжения пробоя конденсаторов в процессе заряда от источника с низким импедансом.

Список литературы

1. Беленький, Б. Танталовые конденсаторы – проблемы и перспективы [Текст] / Б. Беленький, Н. Горбунов // Электроника: наука, технология, бизнес. – №7. – 2008.
2. Барсуков, В.К. Расчет и моделирование переходных процессов при испытаниях танталовых конденсаторов импульсным током [Текст] / В.К. Барсуков, Б.И. Сибгатуллин // «Интеллектуальные системы в производстве». – 2015. – №1 (25). – С. 115-120.
3. Барсуков, В.К. Пробой оксидных пленок танталовых конденсаторов при воздействии зарядных токов большой амплитуды [Текст] / В.К. Барсуков, Б.И. Сибгатуллин // Н 34 Наука. Технология. Производство — 2016: Современные методы и средства диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования, средств и систем автоматики: материалы Всероссийской научно-технической конференции / редкол.: М.Г. Баширов и др.; под общ. ред. проф. М.Г. Баширова. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 23-26.

Барсуков Владимир Константинович, канд.техн.наук, профессор, ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7; e-mail: barsukov-v-k@ya.ru.

Фокеев Александр Евгеньевич, канд.техн.наук, доцент, ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7 energetic@idz.ru

Сибгатуллин Булат Ильфатович, аспирант ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7; e-mail: bullatts@gmail.com.

FINITE-ELEMENT ANALYSIS OF THE DISTRIBUTED PARAMETERS OF THE TANTALUM CAPACITOR ON THE TRANSIENTS DURING CHARGING FROM THE LOW IMPEDANCE CIRCUIT

Barsukov V.K., Fokeev A.E., Sibgatullin B.I.

Russian Federation, г. Izhevsk, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

The finite element analysis of the charging of the distributed capacitor structure is carried out, results are analyzed. It is determined that the near the cathode regions of the capacitor are exposed to the larger values of overvoltages and currents. In addition, the rate of voltage build-up in such areas of the capacitor may be higher than in the near the anode regions, which may lead to decreasing of the breakdown voltage of the capacitor. The adequacy of FEM has been proved experimentally

Keywords. Distributed parameters, tantalum capacitor, transients, breakdown voltage, finite element analysis.

Bibliography

1. Belen'kij, B. Tantalovye kondensatory – problemy i perspektivy [Text] / B. Belen'kij, N. Gorbunov // Elektronika: nauka, tehnologija, biznes. – №7. – 2008.

2. Barsukov, V.K. Raschet i modelirovanie perehodnyh processov pri ispytaniyah tantalovyh kondensatorov impul'snym tokom [Text] / V.K. Barsukov, B.I. Sibgatullin // «Intellectual'nye sistemy v proizvodstve». – 2015. – №1 (25). – P. 115-120.

3. Barsukov V.K. Proboj oksidnyh plenok tantalovyh kondensatorov pri vozdejstvii zarjadnyh tokov bol'shoj amplitudy [Text] / V.K. Barsukov, B.I. Sibgatullin // N 34 Nauka. Tehnologija. Proizvodstvo — 2016: Sovremennye metody i sredstva diagnostiki jelektrojenergeticheskogo i jelektrotehnicheskogo oborudovaniya, sredstv i sistem avtomatiki: materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii / redkol.: M.G. Bashirov i dr.; pod obshh. red. prof. M.G. Bashirova. – Ufa: Izd-vo UGNTU, 2016. – P. 23-26.

Barsukov Vladimir Konstantinovich, PhD, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 426069, Udmurtskaja Respublika, g. Izhevsk, ul. Studencheskaja, d. 7; barsukov-v-k@ya.ru.

Fokeev Aleksandr Evgen'evich, PhD, Assistant Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 426069, Udmurtskaja Respublika, g. Izhevsk, ul. Studencheskaja, d. 7 energetic@idz.ru.

Sibgatullin Bulat Il'fatovich, graduate student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, 426069, Udmurtskaja Respublika, g. Izhevsk, ul. Studencheskaja, d. 7, bullatts@gmail.com.

УДК 621.384.3

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА

Бабашкина А.П., Савинова К.С., Глинкин Е.И.

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Современная медицина немыслима без адекватного мониторинга физиологических переменных и их динамики, что обеспечивает правильное понимание процессов, происходящих в организме больного и проведение рациональных лечебных мероприятий. Сегодня большинство пациентов с сахарным диабетом (СД) сознают важность самоконтроля уровня сахара крови и, как правило, проводят его с помощью индивидуальных глюкометров, что крайне важно для предупреждения развития грозных поздних осложнений заболевания. Однако по последним данным международных исследований рутинные точечные измерения в дневное время не позволяют адекватно оценить амплитуду колебаний сахара в крови в течение суток. Более того наиболее сложным как для врача, так и для пациента представляется оценка уровня сахара в течение ночи [1].

Ключевые слова: моделирование, контроль глюкозы, неинвазивное измерение

Цель работы: создать инновацию, исключаящую методическую погрешность и повышающую оперативность.

Качество модели понимается нами как совокупность характеристик ее адекватности и эффективности, выражающих «согласованность информации, отражающей функциональные возможности модели, с имеющейся у исследователя информацией о реальном объекте моделирования и информацией о целях моделирования.

Эффективность — это ожидаемый эффект от использования инновации. Для определения эффективности необходимо сравнить инновацию с аналогами. Мерой эффективности инновации служит уровень обеспечиваемых ею технико-экономических показателей, т.е. технический уровень продукции или уровень ее качества. Адекватность — это уровень соответствия образа, создаваемого с помощью информации, реальному объекту, процессу, явлению.

Вопрос о необходимой и достаточной степени соответствия объекту –оригиналу или адекватности модели относится к числу важнейших в сфере модельной методологии. Процесс моделирования неизбежно протекает в условиях диалектического взаимодействия двух противостоящих друг другу тенденций. С одной стороны, исследователь всегда стремится к возможно более полному и точному воспроизведению в модели свойств и характеристик объекта. Неизбежным следствием такого подхода является рост сложности, которая проявляется в числе переменных, числе учитываемых связей и влияний, повышении требования к точности исходных данных и т.д. Именно эта сторона дела – требование полноты соответствия модели объекту – оригиналу акцентируется в большинстве философских работ и даже рассматривается некоторыми авторами как мера совершенства модели. Однако практика показала неопровержимо: эффективность модели находится в обратной зависимости от её сложности, быстро убывая с ростом последней. После того, как модель построена, необходимо удостовериться в её качестве. С этой целью выполняют проверку адекватности модели процессу, объекту или явлению, для которых она построена.

Проверить адекватность модели – значит установить, насколько хорошо модель описывает реальные процессы, происходящие в системе, насколько качественно она будет прогнозировать развитие данных процессов. Проверка адекватности проводится на основании некоторой экспериментальной информации, полученной на этапе функционирования системы или при проведении специального эксперимента, в ходе которого наблюдаются интересующие процессы.

Проверка адекватности заключается в доказательстве факта, что точность результатов, полученных по модели, будет не хуже точности расчетов, произведенных на основании экспериментальных данных.

Если рассматривать с точки зрения целевого предназначения моделируемого объекта, то под адекватностью модели понимают степень её соответствия этому предназначению.

Известен способ определения концентрации глюкозы в крови человека [см. №2518134 (РФ): Способ определения концентрации глюкозы в крови человека, А61В5/145,2014]. Изобретение относится к способам медицинского обследования человека нехирургическими методами, а именно к определению концентрации глюкозы в крови человека на основе измерения электрического сопротивления части тела.

К недостаткам способа относится то, что способ в соответствии с настоящим изобретением основан на вычислении значений приращения концентрации глюкозы в крови человека с последующим суммированием этих значений, следовательно, перед началом измерений импеданса производят измерение концентрации глюкозы в крови любым другим доступным способом, инвазивным или неинвазивным, значение которой принимают за начальное. Хотя изобретение и может быть реализовано в виде достаточно

простого измерительного устройства, имеющийся недостаток затруднит его реализацию в качестве неинвазивного глюкометра (будет требовать его калибровки).

В данной статье рассмотрим эффективность по точности μ разрабатываемого способа η^* (рисунок 1, кривая 1) относительно известных технических решений η (рисунок 1, кривая 2).

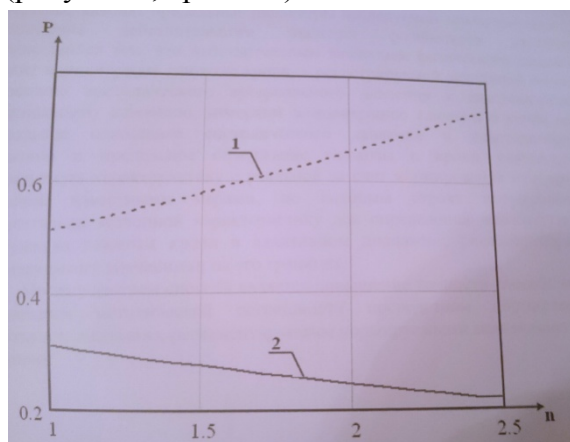


Рисунок 1 – Эффективность предлагаемого способа

Из графиков, приведенных на рисунок 1 видно, что эффективность разрабатываемого способа (кривая 1) в среднем более чем в 2 раза выше эффективности известных технических решений (кривая 2). Относительная эффективность по точности μ для $1,3 \leq n \leq 2,3$ лежит в пределах $1,905 \leq \mu \leq 3,127$. Следовательно, эффективность разрабатываемого способа более чем в 1,9 раз выше эффективности известных технических решений и растет с увеличением отношения давлений n .

Выводы:

1. Измерение глюкозы в крови по калибровочной характеристике с нормированными предельными параметрами, регламентируемыми нормируемыми значениями границ адаптивного диапазона, в отличие от известных технических решений, более чем в 2 раза повышает эффективность по точности, что ведет к снижению методической погрешности, и исключает инструментальную погрешность, носящих систематический и случайный характер, что в итоге повышает метрологическую эффективность определения концентрации глюкозы по давлению.

2. Оценка методической погрешности инновации доказывает повышение метрологической эффективности, а именно точности на несколько порядков, а оперативности не менее чем в 3 раза за счет замены статистического анализа фантома методом аналитического контроля по нормированным характеристикам конкретного пациента.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Академия творчества [Текст] / Е.И. Глинкин, И.В. Курбатова, А.А. Ферман. – Тамбов: ТГТУ, 2009. – 136 с.
2. Глинкин, Е.И. Мировоззрение творчества [Текст] / Е.И. Глинкин, Л.Н. Герасимова, И.Б. Маренкова. – Тамбов: ТГТУ, 2009. – 136 с

Бабашкина Анна Павловна, магистр 1 курса, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», e-mail: anuta.babashkina@yandex.ru.

Савинова Кристина Сергеевна, студентка 4 курса «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», e-mail: savinova.k94@mail.ru.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru.

THE EFFECTIVENESS OF A METHOD OF DETERMINING THE ACTUAL VALUE OF THE PHYSICAL PARAMETER

Babashkina A. P., Savinova K. S., Glinkin E.I.
Russia, Tambov, Tambov state technical university

Modern medicine is unthinkable without adequate monitoring of physiological variables and their dynamics to provide a good understanding of the processes occurring in the body of the patient and to conduct a rational treatment. Today the majority of patients with diabetes mellitus (DM) are aware of the importance of self-monitoring of blood sugar level and, as a rule, is carried out with the help of individual glucometers, which is extremely important to prevent the development of threatening late complications of the disease. However, according to the latest data of international researches the routine spot measurements in the daytime does not allow to adequately estimate the amplitude of fluctuations of blood sugar during the day. Moreover the most difficult both for the doctor and for the patient to assess blood sugar level during the night [1].

Keywords: modeling, control of glucose, non-invasive measurement

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Creation academy [Text] / E.I. Glinkin, I. V. Kurbatova, A. A. Ferman. – Tambov: TGTU, 2009. – 136 s.

2. Glinkin, E. I. Weltanschauung creation [Text] / E.I. Glinkin, L. N. Gerasimova, I. B. Marenkova. – Tambov: TGTU, 2009. – 136 s.

Babashkina Anna Pavlovna, master 1 course of the "Tambov State Technical University", e-mail: anuta.babashkina@yandex.ru.

Savinova Kristina Sergeevna, student of 4 course "Biomedical engineering", of the "Tambov State Technical University", e-mail: savinova.k94@mail.ru.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 616-71/616.379-008.64

МОНИТОРИНГ ГЛЮКОЗЫ ПО ТЕРМОГРАММЕ

Абуладзе О.К., Сергеева Ю.Б., Глинкин Е.И.

Россия, г.Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Разработан метод аналитического контроля мониторинга глюкозы по калибровочным характеристикам глюкотермограммы, адекватным эквиваленту натурного эксперимента за счет оптимизации предельных параметров по известным образцам границ адаптивного диапазона.

Ключевые слова: Неинвазивный метод определения концентрации глюкозы в крови, глюкотермограмма, контроль глюкозы крови, аналитический контроль.

Одним из жизненно важных процессов саморегулирования человеческого организма является регулирование концентрации глюкозы в крови. В настоящее время существуют различные способы определения концентрации глюкозы в крови, среди которых широкое распространение получил неинвазивный способ определения концентрации глюкозы в крови длительным мониторингом. В нашем случае используется неинвазивный метод определения концентрации глюкозы в крови длительным мониторингом по двум калибровочным характеристикам: термограмме и глюкограмме [1].

В методе определения концентрации глюкозы в крови, заключающемся в том, что накладывают термисторы над поверхностной веной головы испытуемого и измеряют температуру и концентрацию глюкозы в крови, в отличие от прототипа, определяют концентрацию глюкозы крови по двум калибровочным характеристикам: глюкограмме и термограмме, параметры которых априори отождествляют с верхней и нижней границами адаптивного диапазона двух известных пациентов с нормированными параметрами, параметры термограммы: постоянную времени T и максимальную температуру E , находят по измеренным избыточным температурам U_i для $i=1,2$ в два момента времени t_1 и бинарный $t_2=2t_1$, параметрами глюкограммы служат: предельная температура E_0 и предельная концентрация глюкозы P_0 крови, которые регистрируют по измеренным

концентрациям глюкозы P_j , где $j=1,2$ для двух максимальных температур E_1 и кратной $E_2=nE_1$ термограммы $U(t)$

$$U = E \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right),$$

с тождественными границам диапазона параметрами: постоянной времени T и максимальной температурой E

$$T = \frac{-t_1}{\ln\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right)}, \quad E = \frac{U_1}{2 - \frac{U_2}{U_1}}.$$

2. в способе по п.1, в отличие от прототипа, глюкограмма

$$P = P_0 \exp\left(\frac{E}{E_0}\right)$$

отражает физику натурального эксперимента, с тождественными границам диапазона параметрами: предельной температурой E_0 и предельной глюкозой P_0

$$E_0 = \frac{E_2 - E_1}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}, \quad P_0 = P_1 n^{-1} \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}, \quad \text{где } n = \frac{E_2}{E_1} [2].$$

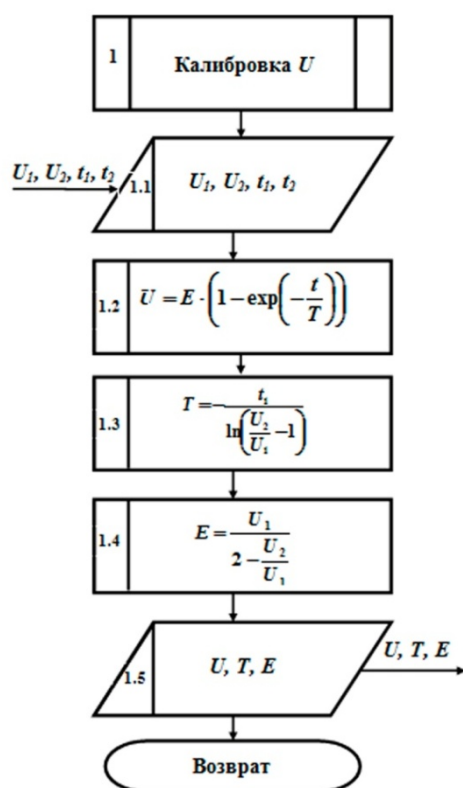


Рисунок 1 – Блок-схема подпрограммы 1 калибровки термограммы

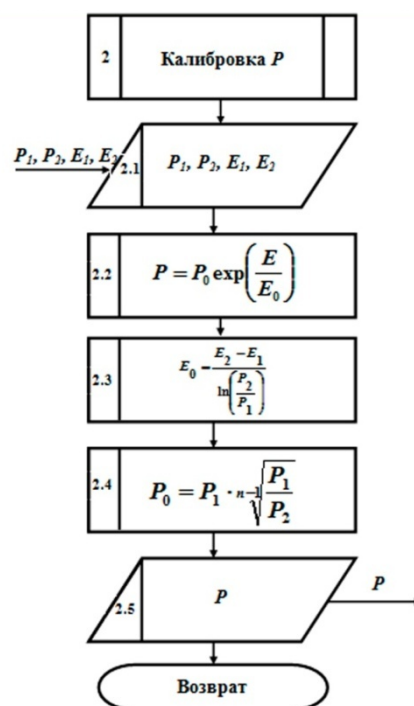


Рисунок 2 – Блок-схема 2 алгоритма калибровки глюкограммы

На рисунке 1 представлена блок-схема 1 подпрограммы калибровки термограммы. Блок-схема подпрограммы 1 термограммы состоит из блока ввода 1.1 данных U_1, U_2, t_1, t_2 , блока 1.2 расчета термограммы, два последовательно соединенных блока расчета предельных параметров: 1.3 постоянной времени T и 1.4 максимальной температуры E , и блока 1.5 вывода результатов.

Рисунок 2 иллюстрирует блок-схему 2 подпрограммы оптимизации параметров глюкограммы.

Блок-схема подпрограммы 2 глюкограммы состоит из блока ввода 2.1 данных P_1, P_2, E_1, E_2 , блока 2.2 расчета глюкограммы, два последовательно соединенных блока расчета предельных параметров: 2.3 предельной температуры E_0 и 2.4 предельной глюкозы P_0 и блока 2.5 вывода результата.

Представленные блок-схемы подпрограмм 1, 2 полно и четко отражают исследование мониторинга контроля концентрации глюкозы в крови по термограмме тела человека за счет алгоритмов оптимизации информативных параметров калибровочных характеристик глюкотермограммы.

Список литературы

1. Сергеева, Ю.Б. Методы неинвазивного измерения концентрации глюкозы крови [Текст] / Ю.Б. Сергеева, О.К. Абуладзе, Е.И. Глинкин // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах: тез. докл. II международ. конф. с элем. науч. школы. – М., 2015. – С.394.

2. Сергеева, Ю.Б. Моделирование термограммы статистического анализа крови [Текст] / Ю.Б. Сергеева, О.К. Абуладзе, Е.И. Глинкин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: матер. II-й международ. научно-практич. конф. – М., 2015. – С.154.

Абуладзе Ольга Константиновна - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: abuladze94@mail.ru.

Сергеева Юлия Борисовна - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: ulya_sergeeva94@mail.ru.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: glinkinei@rambler.ru.

NON-INVASIVE METHOD FOR MONITORING OF BLOOD GLUCOSE BY THERMOGRAMM

Abuladze O.K., Sergeeva J.B., Glinkin E.I.
Russia, Tambov, Tambov state technical university

A method for analytical monitoring of glucose control for calibration characteristics glyukotermogrammy, adequate equivalent of full-scale experiment by optimizing the limiting parameters of the known boundaries of the sample adaptive range.

Keywords: non-invasive method for determining the concentration of glucose in the blood, glyukotermogramma, blood glucose control, analytical control.

Bibliography

1. Sergeeva, Yu.B. Metody' neinvazivnogo izmereniya koncentracii glyukozy' krovi [Text] / Yu.B. Sergeeva, O.K. Abuladze, E.I. Glinkin // Aktual'ny'e problemy' e'nergoberezeniya i e'nergoe'ffektivnosti v texnicheskix sistemax: tez. dokl. II mezhdunarod. konf. s e'lem. nauch. shkoly'. – М., 2015. – С.394.

2. Sergeeva, Yu.B. Modelirovanie termogrammy' statisticheskogo analiza krovi [Text] / Yu.B. Sergeeva, O.K. Abuladze, E.I. Glinkin // Virtual'noe modelirovanie, prototipirovanie i promy'shlenny'j dizajn: mater. II-j mezhdunarod. nauchno-praktich. konf. – M., 2015. – S.154.

Abuladze Olga - Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, master of Bio-medical Technics Department, e-mail: abuladze94@mail.ru.

Sergeeva Julia - Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, master of Bio-medical Technics Department, e-mail: ulya_sergeeva94@mail.ru.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 621.45.038.72

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД С УЧЕТОМ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Голиков В.А.

Россия, г. Москва, Московский авиационный институт (НИИ)

Назаров В.В.

Россия, г. Москва, Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова

Приводятся исследования различных режимов технологии электроискрового нанесения жаростойких покрытий. На основе проведенных исследований осуществляется выбор параметров технологии нанесения покрытий с учетом износостойкости. Результаты работы позволяют усовершенствовать технологию нанесения и ремонта жаростойких покрытий для лопаток турбин ГТД и ГТУ при повышении энерго и ресурсосбережения технологического процесса.

Ключевые слова: жаростойкие покрытия, технология, нанесение, электроискровое легирование, лопатки ГТД.

Рабочие лопатки турбин работают при высоких температурах, испытывают большие статические, вибрационные и температурные напряжения.

Для защиты металлов от газовой коррозии существуют следующие основные методы: жаростойкое легирование, т.е. введение в сплав компонентов, повышающих жаростойкость; защитные покрытия [1-4], т.е. нанесение на поверхность металлических конструкций защитного металлического или неметаллического слоя.

Для нанесения жаростойких покрытий используют основные группы методов, отличающихся способом испарения наносимого материала: дуговое испарение, магнетронное распыление, электронно-лучевое испарение, электроискровое легирование.

Электроискровое легирование представляет собой энерго и ресурсосберегающую технологию для создания стабильного, высококачественного функционального покрытия с хорошей прочностью и фрикционной производительностью за счет электрического разряда с использованием электрода, содержащего материал покрытия, такого как металл и керамика.

Кроме того, технология электроискрового легирования не требует квалифицированных рабочих или предварительной и последующей обработки, она подходит для автоматизации производственной линии и экономии рабочей силы на ней. И, поскольку она не требует дорогостоящего оборудования, такого как камеры для нанесения покрытия, производственный процесс может быть упрощен, что приводит к снижению затрат и повышению энерго и ресурсосбережения.

Выбор режимов нанесения защитного покрытия осуществляется для обеспечения равномерного распределения покрытия на поверхности теплонапряженных деталей.

Для нанесения покрытий применялись электроды из сплава СДП-2 (NiCrAlY). Так же проводились исследования по нанесению многослойных (многокомпонентных) покрытий из материалов W, Cr, (Co, Ni), Al.

Выбор режимов нанесения теплозащитного покрытия осуществлялся для обеспечения равномерного распределения покрытия на поверхности теплонапряженных деталей.

Изнашивание испытываемой поверхности производился алмазным сферическим индентором. Выбор для этих целей алмаза обусловлен его малой изнашиваемостью. Оценку величины износа производят по ширине канавки, образующейся в результате изнашивания. Экспериментально установлено, что за первые 10-50 циклов скольжения индентора происходит пластическое передеформирование с образованием канавки приработки шириной b_n . Последующее увеличение ширины канавки b_k вызвано износом материала. В качестве критерия оценки несущей способности поверхностного слоя использовалась удельная характеристика ω :

$$\omega = V_n / P_n L \quad (1),$$

где P_n - погонная нагрузка; V_n - объем изношенного материала; L - путь трения.

Для определения величины ω проводились два последовательных испытания на разных участках поверхности с разным числом циклов скольжения алмазного индентора N_n и N_k . Затем производится измерение величин b_n и b_k .

На рис. 1 показаны канавки, образовавшиеся на поверхности покрытия NiCrAlY после 100 циклов и 1000 циклов изнашивания. Последние измерялись на инструментальном микроскопе ММИ-2 с точностью до 0.01 мм.

Исследования износостойкости разных покрытий представлено на рис. 3. Из анализа этих исследований следует, что на средних и минимальных режимах обработки износостойкость всех покрытий наиболее стабильна, а на максимальном режиме нанесения покрытия, только многослойное покрытие WCrNiAl выделяется наиболее износостойкими показателями (рис. 2).

Выбраны режимы нанесения защитных покрытий для обеспечения равномерного распределения покрытия на поверхности теплонапряженных деталей. При средних и минимальных режимах покрытие наносится более равномерно и сплошность такого покрытия выше.

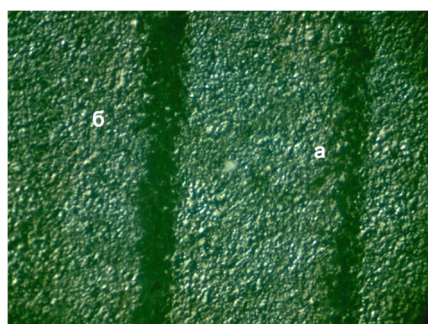


Рисунок 1 – Канавки, образовавшиеся на поверхности покрытия NiCrAlY после (а) 100 циклов и (б) 1000 циклов изнашивания

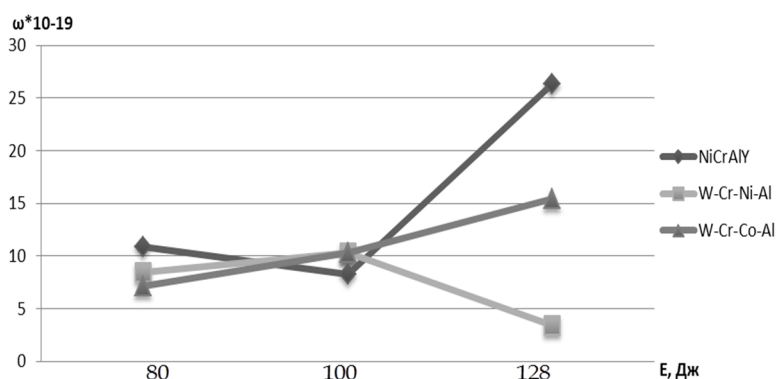


Рисунок 2 – Зависимость значений удельной характеристики ω всех покрытия от величины энергии импульса

Результаты работы можно использовать для выбора наиболее эффективных режимов электроискровой усовершенствованной технологии нанесения и ремонта

жаростойких покрытий для лопаток турбин ГТД и ГТУ при повышении энерго и ресурсосбережения технологического процесса.

Список литературы

1. Мубояджян С. А. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий [Текст] / Будиновский С. А., Гаямов А. М., Матвеев П. В. // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 1. С. 17–20.
2. Мубояджян С. А. Теплозащитные покрытия для деталей перспективных двигателей [Текст] / Головкин Ю.И., Горлов Д.С., Бычков Н.Г., Лепешкин А.Р., Першин А.В., Рекин А.Д. // Новые технологические процессы и надежность ГТД. Вып. 7. М.: ЦИАМ. 2008. С. 158-170.
3. Баженова А.В. Оценка теплозащитных свойств покрытий из различных материалов для теплонапряженных деталей газотурбинных двигателей [Текст] / Ильинская О.И. // Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодежная научная конференция: Т. 3. Сборник тезисов докладов. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2016. С. 89-90.
4. Lepeshkin A.R. Ceramic Coatings - Applications in Engineering. [Text] / Feng Shi. // Intech. – 2012. – 286 p.

Лепешкин Александр Роальдович, академик АЭН РФ, д-р техн.наук, профессор МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: lepeskin.ar@gmail.com.

Ильинская Ольга Игоревна, канд. техн. наук, доцент МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: madam.ilinskaya@yandex.ru.

Назаров Владлен Витальевич, научный сотрудник Института механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Мичуринский проспект, д. 1.

Голиков Владимир Александрович, студент МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: vladimir.golikov94@gmail.com.

THE CHOICE OF PARAMETERS OF THE RESOURCE SAVING TECHNOLOGY OF DRAWING OF HEAT-RESISTANT COATINGS FOR GTE TURBINE BLADES TAKING INTO ACCOUNT WEAR RESISTANCE

Lepeshkin A.R., Elianskaja O.I., Golikov V.A.
Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute ((NRU)
Nazarov V.V.

Russia, Moscow, Institute of Mechanics of Lomonosov Moscow State University

The results of studies of various modes of drawing technology of electric-heat-resistant coatings. On the basis of investigations the choice of parameters of coating technology taking into account wear resistance. The results of work allow to improve the heat-resistant coating technology for turbine blades of GTE and GTU at increase of energy and resource-saving process.

Keywords: heat-resistant coatings, technology, drawing, doping-tension, GTE blades.

Bibliography

1. Muboyadzhyan S. A. Vysokotemperaturnye zharostojkie pokrytiya i zharostojkie sloi dlya teplozashchitnyh pokrytij [Text] / Budinovskij S. A., Gayamov A. M., Matveev P. V. // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2013. № 1. S. 17–20.
2. Muboyadzhyan S. A. Teplozashchitnye pokrytiya dlya detalej perspektivnyh detalej perspektivnyh gazoturbinnih dvigatelej [Text] / Golovkin Y.I., Gorlov D.S., Bychkov N.G., Lepeshkin A.R., Pershin A.V., Rekin A.D. // Novye tekhnologicheskie processy i nadezhnost' GTD. Vyp. 7. M.: CIAM. 2008. S. 158-170.
3. Bazhenova A.V. Ocenka teplozashchitnyh svojstv pokrytij iz razlichnyh materialov dlya teplotnapryazhennyh detalej gazoturbinnih dvigatelej [Text] / Il'inskaya O.I. // Gagarinskie chteniya – 2016: XLII Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya: T. 3. Sbornik tezisov dokladov. M.: Moskovskij aviacionnyj institut (nacional'nyj issledovatel'skij universitet). 2016. S. 89-90.

4. Lepeshkin A.R. Ceramic Coatings - Applications in Engineering. [Text] / Feng Shi. // Intech. – 2012. – 286 p.

Lepeshkin Alexander Roaldovich, AEN Academician of the Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

Ilinskaja Olga Igorevna, Ph.D., associate professor of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: madam.ilinskaya@yandex.ru.

Nazarov Vladlen Vitalevich, Researcher, Institute of Mechanics of Lomonosov Moscow State University, Russia 119192, Moscow, Michurinsk prospect, 1.

Golikov Vladimir Alexandrovich, student of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: vladimir.golikov94@gmail.com.

УДК 628.5

ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Санаев Ю.И.

Россия, п. Семибратово, Ярославской области, ЗАО «КОНДОР-ЭКО»

В докладе представлены результаты исследования, разработки и внедрения новой энергоэффективной и ресурсосберегающей технологии -ЭГВ. Это обеспечено внедрением в электрофильтрах (ЭФ) специальных коронирующих и осадительных электродов и созданием пульсирующего коронного разряда. Разработаны новые конструктивные решения узлов и новые технологии эксплуатации ЭФ.

Ключевые слов: электрофильтр, повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, новая технология очистки газов.

В Указах Президента РФ № 899 от 7 июля 2011 г. и № 642 от 1 декабря 2016 г., касающихся научно - технологического развития РФ, отмечается, что возрастание антропогенной нагрузки на окружающую среду вызывает необходимость создания технологий предотвращения её загрязнения. Констатируя критичность таких технологий, в качестве направления их развития предлагается использовать приоритеты, связанные с энергоэффективностью и ресурсосбережением. Полученные технологии позволят снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду и обеспечат приоритет и перспективу по переходу к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике. В предлагаемом докладе представлены основные результаты по реализации планов научно-технологического развития РФ в области предотвращения загрязнения атмосферного воздуха.

Наибольшее распространение для очистки больших объёмов технологических газов в теплоэнергетике, чёрной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов и других производствах получил электростатический пылеуловитель или электрофильтр.

Под энергоэффективностью применительно к технологии электрической очистки газов следует понимать использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня эффективности очистки с помощью электрофильтра, а под ресурсосбережением понимается уменьшение расхода ресурсов в процессах производства и эксплуатации газоочистного оборудования. При этом уменьшение расхода ресурсов для изготовления чаще всего связывают со снижением металлоёмкости и затрат на производство единицы продукции, а снижение расходов на эксплуатацию - с повышением долговечности и снижением затрат на обеспечение требуемой эффективности при длительной эксплуатации.

Больше всего электрической энергии в электрофилтре расходуется на создание коронного разряда. Под действием коронного разряда частицы зола или пыли, находящиеся в потоке между коронирующими и осадительными электродами, приобретают заряд и движутся, в основном, к осадительному электроду. Увеличение скорости движения частиц (скорости дрейфа) является одним из условий, необходимым для повышения эффективности очистки.

Скорость дрейфа зависит от напряжения зажигания коронного разряда и от уровня пробивного напряжения, т.е. чем больше величина между этими значениями, называемая перенапряжением, тем эффективней электрическая очистка. Однако перенапряжение, приводящее к увеличению скорости дрейфа, требует дополнительных затрат энергии. Но если мощность коронного разряда зависит от напряжения прямолинейно, то скорость дрейфа возрастает в квадрате от напряжённости электрического поля.

Для снижения напряжения зажигания коронного разряда, острия иглол коронирующих элементов выполняют с минимальным радиусом кривизны. Проведённые исследования позволили разработать новую конструкцию элемента коронирующего электрода (патент № 2229939 от 10.06.2004 г., патент № 2448779 от 31.08.2010 г.) и технологию изготовления этого элемента. Суть технологии заключается в следующем: ранее иголки штамповались из поверхности пластины, и не удавалось добиться требуемого радиуса кривизны наконечника иголки, по предлагаемой технологии иголка формируется от края пластины путём предварительного наклёпа края, а затем отрезание под некоторым углом для образования иголки с последующим поворотом иголки до перпендикуляра с плоскостью пластины. При исследованиях скорость дрейфа возрастала до 40% и более, что соизмеримо с уменьшением габарита электрофилтра на эту же величину.

Для повышения пробивного напряжения, в особенности для больших аппаратов (высота электродов более 12 м), требуется обеспечить максимальную центровку разноимённых электродов по отношению друг друга. Для этого возникла необходимость создания такой технологии изготовления элементов осадительных электродов, которая позволила бы уменьшить отклонения от номинальных размеров до минимально возможных величин. В связи с этим была разработана и освоена новая технология изготовления элемента осадительного электрода (патент №2377071 от 29.08.2007 г., патент № 2423200 от 08.07.2009 г.). Суть нового способа изготовления элементов осадительного электрода заключается в том, что в отличие от ранее применяемой технологии, когда осуществлялась отрезка заготовки и последующее профилирование, сначала производится профилирование, а затем отрезание нужной длины. При использовании предлагаемого способа изготовления исключается развал концов профиля элемента осадительного электрода и уменьшаются от номинальных размеров другие отклонения профиля и габарита элемента при его изготовлении.

Дополнительный эффект для повышения скорости дрейфа даёт сочетание в одном электрофилтре конструкций разработанных элементов. При этом пробивной промежуток организуется таким образом, что расстояние от наконечника иголки до плоской части профиля элемента осадительного электрода минимально или равно расстояниям до других частей профиля. Уровень пробивных напряжений при одинаковом межэлектродном промежутке повышается до 5,2%, а скорость дрейфа, соответственно, до 10,7%.

Эффективность электрической очистки также повышается при применении пульсирующего коронного разряда. Технология пульсирующего коронного разряда реализуется путём организации импульсного питания (импульсного тока и импульсного напряжения), который создаёт пульсирующий (импульсный) коронный разряд. При этом возникает объёмный заряд с крутым фронтом пульсаций, что увеличивает мгновенную напряжённость в заданной точке разрядного промежутка. Задний фронт пульсации

объёмного заряда уменьшает мгновенную напряжённость в разрядном промежутке, но предельный заряд частиц определяется максимальной величиной мгновенной напряжённости в точке, где находится частица. Следовательно, при питании импульсным током для создания пульсирующего (импульсного) коронного разряда в промежутке возникает объёмный заряд, передний фронт которого увеличивает мгновенную напряжённость в промежутке, а частицы получают больший предельный заряд. Внедрение пульсирующего коронного разряда позволяет снизить потребление электроэнергии в 3-4 раза.

В результате комплекса теоретических и экспериментальных исследований в ЗАО «КОНДОР-ЭКО» разработана *новая технология ЭГAB* для установок газоочистки, которая включает использование принципиально новых осадительных и коронирующих элементов и пульсирующего коронного разряда. В результате внедрения технологии ЭГAB в действующих электрофильтрах теплоэнергетики удалось снизить выбросы золы более чем в 10 раз, что соизмеримо с уменьшением активного объёма аппарата на 31,4%.

Другим условием повышения эффективности очистки электрофильтрами является увеличение времени пребывания частиц под действием коронного разряда. При этом активный объём аппарата увеличивается как за счёт высоты электродных систем, так и уменьшения расстояния между электрическими полями по ходу газа, что соизмеримо с увеличением длины электродов. Однако повышенные габариты аппарата требуют увеличения затрат на изготовление, а также на обеспечение эффективной и долговечной работы электрофильтра по удалению частиц пыли (золы) с электродных систем, т.е. необходимости решения задач энерго-и ресурсосбережения.

Проведённые исследования позволили реализовать следующие мероприятия, направленные на снижение затрат при изготовлении механического оборудования электрофильтров:

- реализованная возможность увеличения высоты осадительных электродов привела к снижению затрат на их изготовление более чем на 5 %;
- направление ударного воздействия сверху вниз при встряхивании коронирующего электрода обеспечило эффективное распределение ударной энергии и снижение массы отдельных элементов конструкции электрода более чем на 15%;
- верхнее ударное воздействие по коронирующему электроду позволило снизить массу подвесной конструкции электрода более чем в 2 раза;
- создание и внедрение автоматизированных линий по производству усовершенствованных конструкций элементов осадительных и коронирующих электродов.

Задачи энергосбережения традиционно решались путём исследования процессов встряхивания электродных систем при ударном воздействии и определения оптимальных энергосиловых характеристик в зависимости от массы и жёсткости электродов. В результате выявлены закономерности распределения ускорений по поверхности электродов и созданы эффективные конструктивные варианты.

Изучение процессов ударно-усталостного разрушения, определяющих ресурс, позволило разработать конструкции в 2-4 раза долговечнее ранее применяемых.

Важным этапом повышения ресурса и снижения затрат энергии явились исследования по разработке оптимальных режимов регенерации электродов, учитывающих зависимость режимов регенерации от удельного электрического сопротивления пыли (золы) по полям электрофильтра. При этом затраты энергии снижены в 3-5 раз, а долговечность последующих за первым электрических полей последовательно возрастает не менее чем в 6 раз.

Положительные результаты научно-технической деятельности стали научной основой для создания новых способов очистки (RU261 9701) и нового перспективного класса газоочистного оборудования. Так для очистки газов от трудно улавливаемой золы

углей Экибастузского месторождения, впервые в отечественной практике была разработана конструкция комбинированного электрофильтра, состоящего из двух ступеней очистки: первая – электрофильтр в объёме одного поля с эффективностью очистки не менее 90 %, и вторая – рукавный фильтр также в объёме одного поля электрофильтра. В результате был получен синергетический эффект от слияния двух технологий очистки. При этом промышленный аппарат с высокой эффективностью очистки получился компактным и низко затратным при эксплуатации (RU241 9478).

Новые технологии электрической очистки позволили расширить исследования по ультратонкой очистке больших объёмов воздуха до средней выходной запылённости менее $0,08 \text{ мг/м}^3$, что актуально для надёжной работы газовых турбинных установок при получении электрической энергии. Также запланировано дальнейшее изучение электростатических процессов для очистки воздуха в помещениях до уровня счётных концентраций.

Список литературы

1. Чекалов, Л. В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения [Текст]: автореферат докторской диссертации /Л. В. Чекалов. - Москва, 2007. - 40 с.

2. Гузаев, В.А. Основные направления повышения долговечности электрофильтров [Текст]/ В. А. Гузаев. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва, 2013. - №11. - С. 46-48.

3. Санаев, Ю.И. Повышение эффективности электрофильтров с использованием их рабочих характеристик [Текст] / Ю.И. Санаев. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва, 2015. - №8. - С. 33-35.

4. Чекалов, Л. В. Анализ работы электрофильтров при высокой концентрации мелкодисперсной фазы [Текст] /Л. В. Чекалов. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва, 2016. - №3. - С. 27-30.

5. Чекалов, Л.В. Типовые решения для реконструкции газоочистного оборудования предприятий теплоэнергетики на основе новых технологий очистки дымовых газов [Текст] /Л. В. Чекалов, В. А. Гузаев // Сборник докладов и каталог восьмой Всероссийской конференции «РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ- 2016». – Москва, 7-8 июня 2016. - С.113-116.

6. Чекалов, Л.В. Новые российские электрофильтры и модернизация действующих электрофильтров для повышения эффективности золоулавливания [Текст] /Л. В. Чекалов, В. А. Гузаев, М. Е. Смирнов, И. П. Верещагин, С. И. Хренов, К. А. Смагин, Е. М. Тимофеев. // Труды Международной научно-практической конференции «Уголь Эко – 2016» (Москва, 27-28 сентября 2016.). – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. - С.139-147.

Чекалов Лев Валентинович, д-р техн. наук, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ, ЗАО «Кондор-Эко», генеральный директор, 152101, Российская Федерация, Ярославская область, п. Семибратово, ул. Павлова, д. 5., info@kondor-eco.ru, 8(48536) 53-096.

Гузаев Виталий Александрович, канд.техн.наук, ЗАО «Кондор-Эко», начальник отдела, 152101, Российская Федерация, Ярославская область, п. Семибратово, ул. Павлова, д. 5., guzaev@kondor-eco.ru, 8(48536)53-008; 54-011.

Санаев Юрий Иванович, канд.техн.наук, с.н.с., ЗАО «Кондор-Эко», инженер консультант, 152101, Российская Федерация, Ярославская область, п. Семибратово, ул. Павлова, д. 5., info@kondor-eco.ru, 8(48536)53-008; 54-011.

RESEARCH, DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY ELECTRICAL PURIFICATION OF GASES IN INDUSTRY.

Chekalov L.V., Guzaev V. A., Sanaev, Y. I.

Russia, Semibratovo Village, Yaroslavl Region, ZAO «CONDOR-ECO»

The report presents the results of research, development and implementation of new energy-saving technologies -EGAV. It is secured by the introduction of electrostatic precipitators (ESPS) special corona and the collecting electrodes and creating a pulsed corona discharge. Developed new design solutions of the nodes and new

technologies for the ESPS.

Key words: the precipitator, energy efficiency and resource saving, the new technology of purification of gases.

Bibliography

1. Chekalov, L. V. Nauchnye osnovy sozdaniya ehlektrogazoochistnogo oborudovaniya novogo pokoleniya [Tekst]: avtoreferat doktorskoj dissertacii /L. V. Chekalov. - Moskva, 2007. - 40 s.
2. Guzaev, V.A. Osnovnye napravleniya povysheniya dolgovechnosti ehlektrofil'trov [Tekst] / V. A. Guzaev. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – Moskva, 2013. - №11. - S. 46-48.
3. Sanaev, Y.U.I. Povysenie ehffektivnosti ehlektrofil'trov s ispol'zovaniem ih rabochih harakteristik [Tekst] / Y.U.I. Sanaev. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – Moskva, 2015. - №8. - S. 33-35.
4. Chekalov, L. V. Analiz raboty ehlektrofil'trov pri vysokoj koncentracii melkodispersnoj fazy [Tekst] /L. V. Chekalov. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – Moskva, 2016. - №3. - S. 27-30.
5. Chekalov, L.V. Tipovye resheniya dlya rekonstrukcii gazoochistnogo oborudovaniya predpriyatij teploehnergetiki na osnove novyh tekhnologij ochistki dymovyh gazov [Tekst] /L. V. Chekalov, V. A. Guzaev // Sbornik dokladov i katalog vos'moj Vserossijskoj konferencii «REKONSTRUKCIYA EHNERGETIKI- 2016». – Moskva, 7-8 iyunya 2016. - S.113-116.
6. Chekalov, L.V. Novye rossijskie ehlektrofil'try i modernizaciya dejstvuyushchih ehlektrofil'trov dlya povysheniya ehffektivnosti zoloulavlivaniya [Tekst] /L. V. Chekalov, V. A. Guzaev, M. E. Smirnov, I. P. Vereshchagin, S. I. Hrenov, K. A. Smagin, E. M. Timofeev. // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ugol' EHko – 2016» (Moskva, 27-28 sentyabrya 2016.). – Moskva: Izdatel'skij dom MEHI, 2016. - S.139-147.

Chekalov Lev Valentinovitch, doctor of technical Sciences, corresponding member of Academy of electrotechnical Sciences, JSC "Kondor-EKO", the Director-General, 152101, Russian Federation, Jaroslavl region, street Pavlova, d. 5., info@kondor-eco, 8(48536)53-096.

Guzaev Vitaly Alexandrovitch, Ph. D., JSC "Kondor-EKO", head of Department, 152101, Russian Federation, Jaroslavl region, street Pavlova, d. 5., guzaev@kondor-eco, 8(48536)53-008; 54-011.

Sanaev, Yriy, Ivanovitch, Ph. D., senior researcher, JSC "Kondor-EKO", engineer and consultant, 152101, Russian Federation, Jaroslavl region, street Pavlova, d. 5., info@kondor-eco, 8(48536)53-008; 54-011.

УДК 538.97; 621.382.037.37

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ

Матюхин С.И., Писарев А.А.

Россия, г.Орел, ФГБОУ «ОГУ имени И.С.Тургенева»

Ставцев А.В.

Россия, г.Орел, ЗАО «Протон-Электротекс»

Представлены результаты компьютерного моделирования воздействия накопленной дозы радиации на вольтамперные характеристики мощных полупроводниковых диодов и тиристоров. Показано, что в отличие от маломощных приборов, у которых действие радиации приводит к падению порогового напряжения и заметному росту дифференциального сопротивления, пороговое напряжение мощных высоковольтных приборов под действием радиации, как правило, растёт, а дифференциальное сопротивление практически не меняется.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; Comsol Multiphysics; силовые полупроводниковые приборы; вольтамперная характеристика; воздействие радиации

В настоящее время силовая электроника, которая проникает практически во все сферы человеческой жизни, превращается ещё и в мощный фактор энерго- и

ресурсосбережения, поскольку позволяет заметно снизить потери, связанные с преобразованием одних видов энергии в другие. Как показывает мировой опыт, введение одного только электронного регулирования, без изменения технологии, обеспечивает снижение удельного расхода энергии на 20 – 30 %. В то же время широкомасштабное использование силовой электроники приводит к постоянному расширению спектра условий, в которых приходится функционировать силовым полупроводниковым приборам (СПП).

Часть этих условий связана с воздействием на приборы проникающей радиации. Это, в частности, обусловлено внедрением новейших электронных разработок в атомной энергетике и в ускорительной технике, на высотном воздушном транспорте, а также всё более и более интенсивным применением силовой электроники в космических исследованиях, включая межпланетные перелёты. Всё это, совместно с современными требованиями к уровням безопасности и безотказной работы силовых устройств и приборов, делает весьма актуальными исследования в области воздействия радиации на различные характеристики СПП.

Одной из наиболее важных является вольтамперная характеристика (ВАХ) СПП, определяющая нагрузочную способность приборов.

Ранее было показано [1 – 2], что ВАХ мощных полупроводниковых приборов, работающих при высоких плотностях тока и высоких уровнях инжекции, под действием радиации ведет себя иначе, чем ВАХ маломощных приборов. Если у маломощных приборов действие радиации приводит к падению их порогового напряжения и росту дифференциального сопротивления [3], то у высоковольтных силовых приборов дифференциальное сопротивление под действием радиации меняется слабо или практически не меняется, а пороговое напряжение, как правило, растёт.

Указанные различия в поведении ВАХ объясняются разницей в физических эффектах, определяющих характеристики мощных и маломощных полупроводниковых приборов. Основными факторами, определяющими ВАХ силовых приборов, являются эффекты, связанные с взаимодействием носителей заряда друг с другом: снижение коэффициентов инжекции эмиттерных переходов, электронно-дырочное рассеяние (ЭДР) и появление дополнительного канала Оже-рекомбинации. В то время как ВАХ обычных, маломощных приборов определяется, в основном, взаимодействием инжектированных носителей заряда с глубокими примесными уровнями, играющими роль центров рекомбинации и прилипания.

В настоящей работе теоретические выводы исследований [1 – 2] были проверены путём компьютерного моделирования воздействия радиации на прямую ветвь ВАХ силовых диодов и тиристоров.

Следует отметить, что при высоких уровнях инжекции, при которых работают СПП, прямые ветви ВАХ диодов и тиристоров, которые имеют аналогичную структуру, определяются одними и теми же физическими эффектами и практически не отличаются друг от друга. Вследствие этого воздействие радиации на ВАХ указанных приборов моделировалось на примере серийного сварочного диода, выпускаемого ЗАО «Протон-Электротекс» (г. Орёл). В качестве среды для моделирования использовалась программная среда пакета Comsol Multiphysics, предназначенная для решения научных и технических задач с помощью дифференциальных уравнений в частных производных [4].

Задача отыскания ВАХ полупроводникового прибора решалась в Comsol Multiphysics в дрейфово-диффузионном приближении, методом конечных элементов. При этом считалось, что под действием радиации [5]:

1) увеличивается удельное сопротивление кремния; 2) снижается время жизни носителей заряда. При моделировании использовались значения соответствующих радиационных коэффициентов, приведенные в работе [5] для «тянутого» кремния, облучаемого быстрыми нейтронами.

Результаты компьютерного моделирования воздействия нейтронного облучения на ВАХ серийного силового диода представлены на рисунке 1.

Как показывает этот рисунок, облучение СПП действительно приводит к существенному росту их порогового напряжения. Что касается дифференциального сопротивления приборов, то оно существенно растет в области малых прямых токов, когда уровень инжекции остается низким, и, как и предсказывает теория [1 – 2], практически не изменяется в области больших токов, когда уровень инжекции становится высоким и в игру вступают эффекты, связанные с взаимодействием носителей заряда друг с другом: снижение коэффициентов инжекции эмиттерных переходов, ЭДР и Оже-рекомбинация.

Вызванное радиацией повышение порогового напряжения СПП (даже при неизменном дифференциальном сопротивлении прибора) приводит к росту тепловых потерь, а следовательно, – к падению нагрузочной способности и эффективности преобразования энергии при помощи устройств силовой электроники. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании и конструировании СПП, предназначенных для работы в условиях радиации.

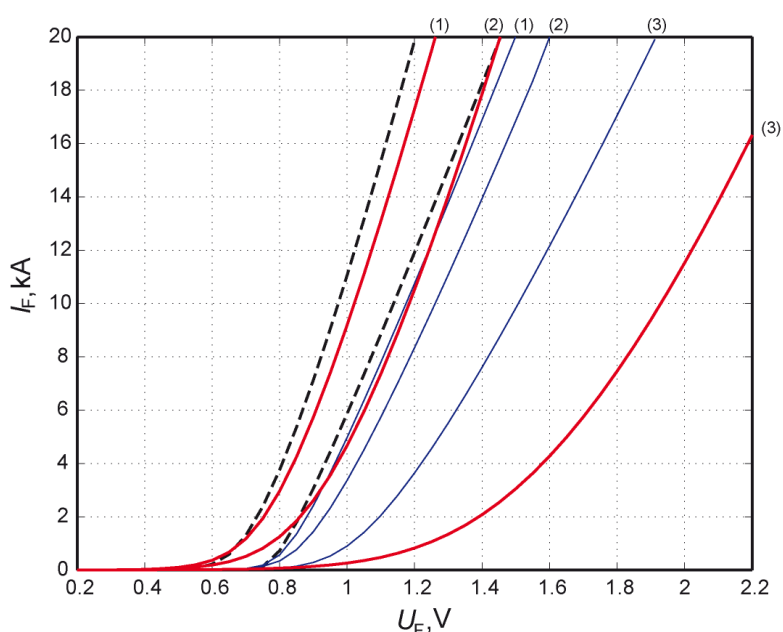


Рисунок 1 – Результаты компьютерного моделирования ВАХ силового диода, облученного нейтронами (сплошные кривые): (1) – $\Phi = 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$; (2) – $\Phi = 10^{13} \text{ см}^{-2}$; (3) – $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Тонкие кривые – $T = 298 \text{ К}$, жирные – $T = 443 \text{ К}$. Пунктир – ВАХ необлученного диода

Список литературы

1. Матюхин, С.И. Действие радиации на вольтамперные характеристики мощных полупроводниковых диодов и тиристоров [Текст] / С.И. Матюхин, В.О. Турин, А.В. Ставцев // Энерго- и ресурсосбережение. XXI век. Материалы XII междунар. научно-практич. интернет-конф. – Орёл, 2014. – С.145-148.
2. Матюхин, С.И. Действие радиации на вольтамперные характеристики силовых полупроводниковых приборов на основе кремния [Текст] / С.И. Матюхин, В.О. Турин, А.В. Ставцев, Д.О. Малый, А.А. Писарев, Д.А. Титушкин // ВАНТ. Серия: «Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру». – 2015. – Вып.3. – С.39-43.
3. Вологдин, Э.Н. Радиационные эффекты в некоторых классах полупроводниковых приборах [Текст] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – Москва, 2001. – 70 с.
4. Comsol Multiphysics User's Guide [Текст]. – Comsol, 2012.
5. Вологдин, Э.Н. Интегральные радиационные изменения параметров полупроводниковых материалов [Текст] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – Москва, 1998. – 94 с.

Матюхин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., доцент, ФГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», заведующий кафедрой технической физики. Тел. (4862) 41-98-81; e-mail: sim1@mail.ru.

Писарев Александр Андреевич, ФГОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», аспирант. Тел. (4862) 41-98-89; e-mail: a.pisarev@proton-electrotex.com.

Ставцев Александр Валерьевич, ЗАО «Протон-Электротекс», технический директор. Тел. (4862) 43-41-42; e-mail: a.stavtsev@proton-electrotex.com.

COMPUTER SIMULATION OF NEUTRON IRRADIATION EFFECT ON THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF POWER SEMICONDUCTOR DIODES AND TIRISTERS

Matyukhin S.I., Pisarev A.A.

Russia, Orel, Oryol State University

Stavtsev A.V.

Russia, Orel, Proton-Electrotex Inc.

The results of the computer simulation of the radiation accumulated dose effect on the current-voltage characteristics of silicon power semiconductor diodes and thyristors are presented. It is shown that in contrast to the low-power devices where the radiation effect leads to noticeable decrease of the threshold voltage and increase of the differential resistance, the threshold voltage of the power devices under influence of radiation usually increases, and the differential resistance does not change practically.

Keywords: computer simulation, Comsol Multiphysics, power semiconductor devices, current-voltage characteristic, radiation effect.

Bibliography

1. Matyukhin, S.I. Deystviye radiatsii na vol'tampernyye kharakteristiki moshchnykh poluprovodnikovyykh diodov i tiristorov [Tekst] / S.I. Matyukhin, V.O. Turin, A.V. Stavtsev // Energo- i resursosberezheniye. XXI vek. Materialy XII mezhdunar. nauchno-praktich. internet-konf. – Orel, 2014. – s. 145-148.

2. Matyukhin, S.I. Deystviye radiatsii na vol'tampernyye kharakteristiki silovykh poluprovodnikovyykh priborov na osnove kremniya [Tekst] / S.I. Matyukhin, V.O. Turin, A.V. Stavtsev, D.O. Malyi, A.A. Pisarev, D.A. Titushkin // VANT. Seriya: «Fizika radiatsionnogo vozdeystviya na radioelektronnyy apparaturu». – 2015. – V.3. – s. 39-43.

3. Vologdin, E.N. Radiatsionnyye efekty v nekotorykh klassakh poluprovodnikovyykh priborakh [Tekst] / E.N. Vologdin, A.P. Lysenko. – Moskva, 2001. – 70 s.

4. Comsol Multiphysics User's Guide [Tekst]. – Comsol, 2012.

5. Vologdin, E.N. Integral'nyye radiatsionnyye izmeneniya parametrov poluprovodnikovyykh materialov [Tekst] / E.N. Vologdin, A.P. Lysenko. – Moskva, 1998. – 94 s.

Matyukhin Sergey Ivanovich, Dr.Sc., Oryol State University, Chair of Technical Physics Department. Fone: (4862) 41-98-81; e-mail: siml@mail.ru.

Pisarev Aleksander Andreevich, Oryol State University, Graduate Student. Fone: (4862) 41-98-89; e-mail: a.pisarev@proton-electrotex.com.

Stavtsev Aleksander Valerievich, Proton-Electrotex Inc., Technical Director. Fone: (4862) 43-41-42; e-mail: a.stavtsev@proton-electrotex.com.

СЕКЦИЯ №8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Руководитель:

Савин Леонид Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», pmpl@ostu.ru

Гамова Л.Г.

Россия, Елец, Елецкий государственный университет

Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проведен анализ информационной технологии проектирования для создания высокоэффективных автоматических компьютерных анализаторов состава и свойств веществ.

Ключевые слова: нелинейные, линейные схемы, информативные параметры, вольтамперные характеристики, статистический анализ, аналитический контроль, информационные технологии, градуировка и калибровка

Проанализирована информационная технология калибровки как целенаправленная последовательность статистического анализа стандартов с фиксированной градуировочной характеристикой к аналитическому контролю инноваций с программно управляемыми калибровочными характеристиками, тождественными желаемому эквиваленту за счет оптимизации по известным образцам с нормированными мерами границ адаптивного диапазона.

Оценка эффективности технических решений [1 – 5] итерационными методами анализа – сложная задача из-за неопределенности эквивалентов и мер оценок, незнания закономерностей и регламентируемых критериев, отсутствия известных образцов и нормируемых мер. Статистический анализ градуировочной характеристики стандартов и аналитический контроль калибровочных характеристик инноваций систематизированы в информационную технологию калибровки с позиций структурной и параметрической оптимизации характеристик преобразования, а также оценке метрологической эффективности градуировки стандартов и калибровки инноваций. Сопоставительный анализ структур, параметров и оценок характеристик позволяет с единых позиций выявить достоинства и недостатки ограничительных и отличительных признаков технических решений на различных уровнях иерархии, решений прямой и обратной задач градуировки стандартов и калибровки инноваций, оценки фантома после факта (*post factum*) и эффективности оптимума заранее (*a priori*).

Структура ГХ объективно определяется множеством иерархических уровней операторов счисления и исчисления нетождественных между собой из-за различия алгоритмов анализа и синтеза, а число операторов оценивают субъективно по минимуму координат (степени полинома, условных мер) с максимальной точностью тождественности субъективных эквивалентов неопределенному образу среднестатистического фантома исследуемого процесса преобразования. Структурная аппроксимация точечной характеристики подменяется итерационным анализом последовательного перебора полиномов счисления с поиском приемлемой структуры градуировочной характеристики узкоспециализированного тестера из-за не тождественности математических операторов счисления и исчисления, неадекватных физике натурального эксперимента за счет незнания закономерностей аналитического контроля, что регламентирует среднестатистический образ эфемерного фантома, отражающего псевдоновацию.

Вид синусоидальной функции однозначно характеризуют несколько максимальных значений периода T и амплитуды U_m , которые интегрируют множество ненормированных значений времени t и напряжения u . Использование информативными параметрами множество ненормированных мгновенных значений u , t приводит к статистическому анализу градуировочной характеристики и сводится к расчету

множества ненормированных коэффициентов по приближенным полиномам с априори фиксированной дисперсией не менее 30%.

По ГОСТ оценки эффективности на дифференциальном и интегральном уровне локальных и обобщенных показателей метрологической эффективности условны и необъективны из-за субъективного выбора по стандартам приведенных норм действительного X_0 значения и среднестатистических мер их отклонения от действительной нормы, квалиметрических весовых коэффициентов M_i и приведенных погрешностей ε_i , интегральных критериев показателя оценки K и весовых коэффициентов M_i в виде кода НДФ. По стандартам оценку эффективности организуют постфактум, после проведения измерений по фиксированной градуировочной характеристике узкоспециализированного тестера с жесткой комбинаторной структурой. За эквивалент исследуемой градуировочной характеристики принимают поверочную характеристику образцового или эталонного средства измерения, электрического сигнала или материала с нормируемыми составом и свойствами границ диапазона. Оценка метрологических характеристик: нелинейности и достоверности, дрейфа и воспроизводимости, диапазона и погрешности, - необъективны и условны из-за условных информативных параметров измерения и действительных значений контроля, статистических градуировочных и метрологических характеристик, субъективных мер и критериев оценки.

Тождественность структурам калибровки градуировочной характеристики фантома необходима для выбора физического эквивалента с известными формами представления схем и программ, моделей и алгоритмов на уровне структурной оптимизации, а также выявления физических закономерностей проектирования линейных интегральных схем и параметрической оптимизации информативных параметров калибровочных характеристик. В отличие от случайного выбора структур из множества нетождественных полиномов при статистическом анализе множества ненормированных измерений, аналитический контроль предлагает структурную оптимизацию градуировочной характеристики по эквивалентам информационных форм представления науки и техники, систематизированным в адресное пространство физических процессов статики, кинетики и динамики. Адекватные физике явления и процессам преобразования, архитектура техники и научное обеспечение содержат тождественные эквиваленты схем и программ, моделей и алгоритмов, характеристик преобразования и метрологической оценки для структурной оптимизации калибровочной характеристики методами тождественности эквивалентам и экстремума производных для систематизации оценок характеристик в информационную технологию калибровки.

Уровень метрологической эффективности параметрической оптимизации определяют информативные параметры, развивающиеся от мгновенных и амплитудных через удельные к диффузионным и предельным нормированным мерам отсчета. Удельные электрические параметры не зависят от топологии конструкции: длины, площади и объема, - за счет интеграции мгновенных и амплитудных параметров. Диффузионные ток и напряжение интегрируют множество ненормированных измерений, определяют однозначно структуру ВАХ как асимптоты, которые целесообразны для нормирования ординат ВАХ по мерам отсчета границ адаптивного диапазона. Диффузионные параметры: ток и напряжение, сопротивление и проводимость, - интегрируют множество мгновенных, амплитудных и удельных измерений, однозначно определяют структуры ВАХ, ВОХ и ВСХ в виде асимптот, нормирующих ординаты характеристик для их оптимизации по известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона контроля действительных величин.

Закономерности экстремума производных, в отличие от качественной оптимизации тождественности эквивалентам множества измерений, математически строго и объективно оценивают количественно эффективность диффузионных параметров, как

регламентированных калибров действительных значений, известных образцов и мер отсчета границ адаптивного диапазона контроля. Закономерности ИКР экстремума производных, в отличие от качественной оптимизации тождественности эквивалентам, математически строго доказывают эффективность диффузионных параметров ВОХ и АОХ, как действительных значений известных образцов и мер отсчета границ адаптивного диапазона. Закономерности оптимизации доказывают не только максимум и интеграцию параметров множества ненормированных измерений, но и служат асимптотами ординат характеристик, регламентирующих желаемый образ инновации, тождественной ИКР исследуемого информационного процесса для организации информационной технологии калибровки высокоэффективных метрологических средств компьютерных анализаторов состава и свойств веществ и материалов. Предельные параметры влажность и концентрация, температура и сопротивление интегрируют множество диффузионных параметров калибровочных характеристик в виде асимптот для нормирования ординат оптимально известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона компьютерных анализаторов состава и свойств веществ.

Таким образом, вектор развития информативных параметров направлен от мгновенных, амплитудных и удельных к диффузионным и предельным параметрам для последовательного исключения влияния множественности и ненормируемости измерений, асинхронности и конструкции, электромагнитных и случайных возмущений. Показана высокоэффективная метрологическая оценка калибровки инноваций в отличие от градуировки стандартов за счет интеграции множества коэффициентов градуировочных характеристик в удельные, диффузионные и предельные параметры калибровочных характеристик по числу нормируемых мер ординат для их оптимизации по известным образцам границ адаптивного диапазона.

Выводы:

1. Систематизирована информационная технология калибровки из статистического анализа и аналитического контроля, структурной и параметрической оптимизацией характеристик и информативных параметров с повышенной метрологической эффективностью измерения действительной величины.

2. В рамках стандартов структурная аппроксимация точечной характеристики подменяется итерационным анализом последовательного перебора полиномов счисления с поиском приемлемой структуры градуировочной характеристики узкоспециализированного тестера из-за не тождественности математических операторов счисления и исчисления, неадекватных физике натурального эксперимента за счет незнания закономерностей аналитического контроля, что регламентирует среднестатистический образ эфемерного фантома, отражающего псевдоновацию.

3. Параметрическая оптимизация градуировочной характеристики статистического анализа множества мгновенных и амплитудных измерений, сводится к расчету множества ненормированных коэффициентов по приближенным полиномам с априори фиксированной дисперсией не менее 30%.

4. Показана низкая метрологическая эффективность градуировки, т.к. локальные и обобщенные показатели оценки эффективности условны и необъективны из-за субъективного выбора постфактум приведенных норм действительного значения и среднестатистических мер их отклонения от действительной нормы, квалитетических весовых коэффициентов и приведенных погрешностей.

5. В отличие от случайного выбора структур из множества нетождественных полиномов при статистическом анализе множества ненормированных измерений, аналитический контроль предлагает структурную оптимизацию градуировочной характеристики по эквивалентам информационных форм представления науки и техники, систематизированным в адресное пространство физических процессов статики, кинетики и динамики.

6. Диффузионные параметры: ток и напряжение, сопротивление и проводимость, – интегрируют множество мгновенных, амплитудных и удельных измерений, однозначно определяют структуры ВАХ, ВОХ и ВСХ в виде асимптот, которые нормируют ординаты характеристик для их оптимизации по известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона контроля действительных величин.

7. Показана высокоэффективная метрологическая оценка калибровки инноваций в отличие от градуировки стандартов за счет интеграции множества коэффициентов градуировочных характеристик в удельные, диффузионные и предельные параметры калибровочных характеристик по числу нормируемых мер ординат для их оптимизации по известным образцам границ адаптивного диапазона.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных средств [Текст]/ Е.И. Глинкин., М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2013.-148с.
2. Глинкин, Е.И. Техника творчества. [Текст]/ Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168с.
3. Глинкин, Е.И. Технология аналого-цифровых преобразователей [Текст]/ Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2008.-140с.
4. Глинкин, Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем [Текст]/ Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 152с.
5. Чичев, С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий [Текст]. С.И. Чичев, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин – М.: Спектр, 2014. – 228с.

Гамова Людмила Геннадиевна, Елецкий государственный университет, г. Елец, Российская Федерация, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Безопасность жизни деятельности и основы медицинских знаний», e-mail: Gamo@packart.ru.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

ANALYSIS OF CALIBRATION INFORMATION TECHNOLOGY

Gamova L.G

Russia, Yelets, Yelets State University

Glinkin E.I.

Russia, Tambov, Tambov State Technical University

The information technology of designing for creation of highly effective automatic computer analyzers of composition and properties of substances is analyzed.

Keywords: nonlinear, linear schemes, informative parameters, volt-ampere characteristics, statistical analysis, analytical control, information technology, calibration and calibration

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Circuitry of microprocessor means [Text] / E.I. Glinkin., M.E. Glyn-kin. - Tambov: TSTU, 2013.-148s.
2. Glinkin, E.I. Technique of creativity. [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2010. - 168s.
3. Glinkin, E.I. Technology of analog-to-digital converters [Text] / E.I. Glinkin, M.E. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2008.-140s.
4. Glinkin, E.I. Circuitry of analog integrated circuits [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2012. - 152p.
5. Chichev, S.I. Methodology for designing a digital substation in the format of new technologies [Text]. S.I. Chichev, V.F. Kalinin, E.I. Glinkin - M.: Spectrum, 2014. - 228s.

Gamova Lyudmila Gennadiyevna, Eletssky state university, Yelets, Russian Federation, Candidate of Biology, associate professor "Safety of life of activity and basic medical training", e-mail: Gamo@packart.ru.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 681.335 (07)

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Глинкин М.Е., Глинкин Е.И.

Россия, г. Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проанализирован вектор развития информативных параметров от мгновенных, амплитудных и удельных к диффузионным и предельным параметрам для повышения метрологической эффективности компьютерных средств аналитического контроля.

Ключевые слова: информативные параметры, мгновенные и удельные, диффузионные и предельные, статистический анализ, аналитический контроль, закономерности, градуировочные и калибровочные характеристики

Градуировочную характеристику (ГХ) отождествляют с образом точечной характеристики из множества переменных измерения и контроля за счет параметрической оптимизации ГХ, которую заменяют итерационным анализом перебора множества ненормированных коэффициентов, пропорциональных множеству координат точечной характеристики образа фантома. Если параметрическая тождественна структурной оптимизации из-за итерационного анализа множества ненормированных коэффициентов, пропорциональных переменным измерения и контроля, то информативные параметры, функционально связанные с измеряемой величиной, требуют сопоставительного анализа для выявления закономерностей оптимизации.

Процессы преобразования дифференцируют сигналы [1 – 3] на аналоговые (непрерывные), импульсные (временные) и цифровые (дискретные) механических и гидравлических, тепловых и диффузионных, электромагнитных и физико-химических процессов. Например, электрические сигналы (тока и напряжения, сопротивления и проводимости) измеряют мгновенными величинами времени t и напряжения u , а также максимальными значениями периода T и амплитуды U_m .

Мгновенные и амплитудные величины иллюстрирует синусоидальный сигнал

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где также мгновенными значениями служат циклическая частота $\omega = 2\pi f$ и линейная f с фазой φ , а максимальным значениям соответствуют линейная частота $F = 1/T$ периода T и частота $\Omega = 2\pi F$ цикла.

Из выражения (1) следует, что максимальные значения периода T и амплитуды U_m интегрируют множество переменных мгновенных величин времени t и напряжения u :

$$\begin{matrix} \text{opt } u = U_m, & \text{opt } t = T, \\ t=T/4 & u=0 \end{matrix} \quad (2)$$

что доказывают закономерности оптимизации измерений (2) из пределов.

$$\lim_{t \rightarrow T/4} u = U_m \sin\left(\frac{2\pi \cdot T}{T \cdot 4}\right) = U_m \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = U_m, \quad \lim_{u \rightarrow 0} t = \frac{T}{2\pi} \arcsin\left(\frac{0}{U_m}\right) = T,$$

т.к. $\sin(\pi/2) = 1$, соответственно $\arcsin(0/U_m) = 0$.

Следовательно, вид функции (1) однозначно характеризуют несколько максимальных значений периода T и амплитуды U_m , которые интегрируют множество

ненормированных значений времени t и напряжения u . Использование информативными параметрами множество ненормированных мгновенных значений u , t приводит к статистическому анализу градуировочной характеристики, а выбор за информативные параметры двух максимальных значений периода T и амплитуды U_m инициирует аналитический контроль по калибровочным характеристикам.

Удельные параметры систематизируют мгновенные и амплитудные значения за счет исключения конструктивов топологии: длины l , площади s и объема v . Иллюстрируют удельные параметры [3, с. 13 – 16] плотность тока $\delta = I/s$ (отношение тока I к площади s), напряженность электрического поля $E = U/l$ (отношение напряжения U к длине l) и удельные сопротивление $\rho = E/\delta$ и проводимость $\chi = 1/\rho$. Удельное сопротивление ρ связано с амплитудами сопротивления R , тока I и напряжения U соотношением

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (3)$$

т.к. по закону Ома сопротивление R тождественно

$$R = \frac{U}{I} = \frac{El}{\delta s} = \rho \frac{l}{s}.$$

Из выражения (3) видна зависимость электрического сопротивления R от конструктивных параметров измерительной ячейки – расстояния l между электродами и их площадью s , тогда как удельное сопротивление ρ от конструкции ячейки не зависит, но интегрирует амплитудные R, U, I и мгновенные r, u, i значения.

Следовательно, удельные электрические параметры не зависят от топологии конструкции: длины, площади и объема, - за счет интеграции мгновенных и амплитудных параметров.

Диффузионные параметры служат асимптотами статических, динамических и кинетических характеристик, не зависят от электромагнитных полей за счет интеграции мгновенных, амплитудных и удельных параметров. Закономерности диффузионных параметров: тока I_0 и напряжения U_0 , проводимости $Y_0 = I_0/U_0$ и сопротивления $R_0 = 1/Y_0$, - проанализируем на примере кинетики вольтамперных (ВАХ), вольтсименсных (ВСХ) и вольтонных (ВОХ) характеристик.

ВАХ p - n перехода полупроводника представляется [2, с. 156 – 162] в интегральной форме алгебраической моделью

$$i = I_0 (e^{u/U_0} - 1), \quad (4)$$

где u и i - множество ненормированных измерений напряжения и тока, U_0 и I_0 - два параметра ВАХ: диффузионное напряжение (электрохимический потенциал, обратное напряжение p - n перехода) и диффузионный (обратный, темновой) ток. Диффузионные параметры однозначно определяют ВАХ, т.к. отражают физические закономерности интеграции множества измерений при их оптимизации [1, с. 129 – 149]

$$\lim_{u \rightarrow -\infty} i = I_0, \quad \lim_{i \rightarrow 2I_0/3} u = U_0. \quad (4a)$$

Закономерности (4a) следуют из пределов

$$\lim_{u \rightarrow -\infty} i = I_0 (e^{-\infty/U_0} - 1) = I_0 (-1) = -I_0,$$

$$\lim_{i \rightarrow 2I_0/3} u = U_0 \ln \left[1 + \frac{I_0 (e^{-U_0/U_0} - 1)}{I_0} \right] = U_0 \ln(e^{-1}) = -U_0,$$

т.е. диффузионный ток $-I_0$ является предельным максимальным током ВАХ при обратном напряжении $u = -\infty$ на бесконечности, а диффузионное напряжение $-U_0$ отражает точку перегиба ВАХ при обратном токе $i \approx -2I_0/3$. В отличие от множества ненормированных измерений тока i и напряжения u , диффузионные параметры тока I_0 и напряжения U_0 служат асимптотами ВАХ для нормирования ординат i, u по известным образцам границ адаптивного диапазона контроля.

Следовательно, диффузионные ток и напряжение интегрируют множество ненормированных измерений, определяют однозначно структуру ВАХ как асимптоты, которые целесообразны для нормирования ординат ВАХ по мерам отсчета границ адаптивного диапазона.

Независимость диффузионных параметров докажем на примере вольтсисменсных и вольтонных характеристик для тока (4) и инверсной модели ВАХ напряжения

$$u = U_0 \ln(1 + i / I_0).$$

Сопротивление r определяют по закону Ома отношением $r = u/i$ напряжения u к току i , из которого следует нелинейная BOX

$$r = \frac{u}{i} = \frac{U_0 \ln(1 + i / I_0)}{I_0(e^{u/U_0} - 1)} = R_0 e^{-u/U_0} = R_0 \eta_r, \quad (5)$$

где $R_0 = U_0/I_0$ – диффузионное сопротивление, η_r – нелинейность BOX в виде убывающей экспоненты

$$\eta_r = \frac{r}{R_0} = e^{-u/U_0}. \quad (5a)$$

Зависимость (5a) находят после несложных преобразований при подстановке в (5) тока (4)

$$\eta_r = \frac{\ln(1 + i / I_0)}{e^{u/U_0} - 1} = e^{-u/U_0} \frac{\ln(1 + I_0(e^{u/U_0} - 1)/I_0)}{(1 + u/U_0 - 1)} = e^{-u/U_0} \frac{\ln e^{u/U_0}}{u/U_0} = e^{-u/U_0}.$$

Из (5) следует закономерность оптимизации сопротивления r при единичном уровне нелинейности [8, с. 170 – 203]

$$\underset{\eta_r=1}{opt} r = R_0, \quad \underset{u=0}{opt} \eta_r = 1, \quad (5b)$$

что соответствует нулевому напряжению $u = 0$, когда $e^0 = 1$ согласно нелинейности (5a). Закономерности (5b) доказывают, что диффузионное сопротивление R_0 – постоянная величина при единичной нелинейности $\eta_r = 1$ и нулевом напряжении $u = 0$, которая в виде асимптоты нормирует ординату сопротивления r BOX для оптимизации по границам диапазона аналитического контроля.

Тождественные закономерности следуют из ВСХ, как производной тока i (4) по напряжению u – электрической проводимости y

$$y = \frac{di}{du} = \frac{dI_0(e^{u/U_0} - 1)}{du} = Y_0 e^{u/U_0} = Y_0 \eta_y, \quad (6)$$

где $Y_0 = I_0/U_0$ – диффузионная проводимость ВСХ.

Для ВСХ справедливы закономерности оптимизации параметров

$$\underset{u=0}{opt} y = Y_0, \quad \underset{y=Y_0}{opt} u = U_0, \quad (6a)$$

доказывающие, что диффузионные проводимость Y_0 и напряжение U_0 служат асимптотами ВСХ по известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона.

Из ВСХ по закону Ома $r = 1/y$ находим ВОХ

$$r = \frac{1}{y} = \frac{1}{Y_0 e^{u/U_0}} = R_0 e^{-u/U_0} = R_0 \eta_r, \quad (7)$$

тождественную зависимости (5) с закономерностями (5б), а также для напряжения

$$\underset{\eta_r=1}{opt} r = R_0, \quad \underset{r=R_0/e}{opt} u = U_0, \quad (7a)$$

что подтверждает предел

$$\lim_{r \rightarrow R_0/e} u = \lim_{r \rightarrow R_0/e} [-U_0 \ln(r/R_0)] = -U_0 \ln(R_0 e^{-1}/R_0) = -U_0(-1) = U_0.$$

Следовательно, диффузионные параметры: ток и напряжение, сопротивление и проводимость,— интегрируют множество ненормированных измерений, однозначно определяют структуры ВАХ, ВОХ и ВСХ в виде асимптот, которые нормируют ординаты характеристик для их оптимизации по известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона аналитического контроля.

Предельные параметры исключают внешние возмущения диффузионных параметров и служат оптимальными параметрами калибровочных характеристик компьютерных анализаторов состава и свойств веществ. Иллюстрируют предельные параметры калибровочные характеристики влажности w , температуры t и концентрации n глюкозы от проводимости Y . В основу калибровочных характеристик положены аналогии физических явлений: объема v , давления p и температуры t , систематизируемые законом Менделеева-Клапейрона. Предельные параметры: влажность и концентрация, температура и сопротивление, — интегрируют множество диффузионных параметров калибровочных характеристик в виде асимптот для нормирования ординат оптимально известным образцам мер отсчета границ адаптивного диапазона компьютерных анализаторов состава и свойств веществ.

Таким образом, вектор развития информативных параметров направлен от мгновенных, амплитудных и удельных к диффузионным и предельным параметрам для последовательного исключения зависимости множественности и ненормируемости измерения, асинхронности и конструкции, электромагнитных и случайных возмущений. При этом множество ненормированных коэффициентов градуировочных характеристик последовательно интегрируются в удельные, диффузионные и предельные параметры калибровочных характеристик по числу нормируемых мер ординат для оптимизации известными образцами границ адаптивного диапазона.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных средств [Текст]/ Е.И. Глинкин., М.Е. Глинкин. — Тамбов: ТГТУ, 2013.-148с.
2. Глинкин, Е.И. Техника творчества. [Текст]/ Е.И. Глинкин. — Тамбов: ТГТУ, 2010. — 168с.
3. Касаткин, А.С. Основы электротехники [Текст]/ А.С. Касаткин. — М.: Высш. шк., 1975. — 304с.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Глинкин Михаил Евгеньевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, докторант кафедры биомедицинской техники, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru.

Glinkin M.E., Glinkin E.I.
Russia, Tambov, Tambov State Technical University

The vector of development of informative parameters from instantaneous, amplitude and specific to diffusion and limiting parameters is analyzed to improve the metrological efficiency of computer analytical monitoring tools.

Key words: informative parameters, instantaneous and specific, diffusion and limiting, statistical analysis, analytical control, regularities, calibration and calibration characteristics

Bibliography

1. Glinkin, E.I. Circuitry of microprocessor means [Text] / E.I. Glinkin., M.E. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2013. - 148s.
2. Glinkin, E.I. Technique of creativity. [Text] / E.I. Glinkin. - Tambov: TSTU, 2010. - 168s.
3. Kasatkin, A.S. Fundamentals of electrical engineering [Text] / A.C. Kasatkin. - M.: Higher education. Shk., 1975. - 304s.

Glinkin Mikhail Evgenyevich, Tambov state technical university, Tambov, Russian Federation, Candidate of **Technical Sciences**, doctoral candidate of chair of biomedical equipment, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru.

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 519.7+621.3

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭКВИВАЛЕНТНОЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В., Сысоев А.С.
Россия, Липецк, ЛГТУ

Эквивалентное моделирование сложных систем представлено как аналог эквивалентирования электроэнергетических систем.

Ключевые слова: эквивалентирование, эквивалентное моделирование.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 17-47-480305-р_а

Диакоптика, как метод исследования сложных систем по частям [1], послужила основой хорошо известных электрикам и энергетикам методов эквивалентирования электроэнергетических систем; см., например, одну из недавних работ [2]. Задача эквивалентирования трактуется как преобразование исходной математической модели в другую, более простую, но сохраняющую основные, существенные для решения поставленной задачи свойства системы. При этом расчленение сложной системы на подсистемы, для каждой из которых в отдельности строится ее частная математическая модель, с последующим сочленением этих частных моделей подсистем в общую модель системы является эффективным и ориентированным на компьютерное моделирование подходом к эквивалентированию. В дальнейшем этот подход был распространен на сложные системы самой различной природы – производственные, технические, технологические, экономические, экологические и сопровождающие их организационные, информационные, вычислительные и др.

Преобразование, трансформация одних математических моделей в другие трактуется в настоящее время как моделирование в широком смысле этого слова; близкими к моделированию (remodeling, [3]) подходами являются суррогатное

(surrogate, [4]) и метамоделирование (metamodeling, [5]); подход к сочленению моделей подсистем сформировался в ко-симулирование (co-simulation, [6]).

В зависимости от целей и конкретных прикладных задач возможны разнообразные частные трактовки ремоделирования. Так, уже в четырех основных этапах математического моделирования – собственно построении модели, ее математическом анализе, содержательной интерпретации результатов и адаптации – ремоделирование присутствует на четвертом этапе, когда может возникнуть (и, как правило, возникает) необходимость преобразования построенной модели в новую, более совершенную; это может быть охарактеризовано как адаптивное ремоделирование. Теоретическая модель некоторой зависимости, построенная на основе законов предметной области, может иметь структуру, достаточно сложную для дальнейшего анализа; в этом случае с использованием ее компьютерной реализации может быть сформирован массив данных о зависимости (который в реальных условиях в достаточном объеме может быть недоступен) и выполнена параметрическая идентификация более простой модели некоторой стандартной структуры, с требуемой точностью аппроксимирующей исходную модель; это может быть охарактеризовано как аппроксимационное ремоделирование; такой подход в связи с некоторыми прикладными задачами металлургического производства был предложен в свое время в [7]. В связи с другими его задачами в ситуации, когда подсистемы сложной системы описываются разнородными моделями, возникает задача, для их эффективного сочленения, трансформировать их в модели некоторого единого ремоделирующего класса; это может быть охарактеризовано как однородное ремоделирование; в [8] для этой цели предложены нейросетевые и нейронечеткие модели, что может быть охарактеризовано как нейроструктурное ремоделирование. Традиционное описание структуры, топологии сложной системы при помощи графа может оказаться чрезмерно громоздким, необозримым, неприемлемым для дальнейшего анализа; расчленению на подсистемы адекватно использование более развитых графовых структур, в частности, гиперграфов и метаграфов [9]; это может быть охарактеризовано как графоструктурное ремоделирование.

Термин «эквивалентирование» подразумевает преобразование модели в эквивалентную ей; эквивалентное ремоделирование сложных систем может быть охарактеризовано как аналог эквивалентирования электроэнергетических систем.

Классическим примером эквивалентного ремоделирования является приведение канонической системы разрешенных относительно старших производных обыкновенных дифференциальных уравнений различных порядков, описывающих модель непрерывной сосредоточенной динамической системы, к эквивалентной ей системе в нормальной форме Коши, в которой все уравнения, как дифференциальные, имеют первый порядок, а система, как система уравнений, имеет порядок, то есть число уравнений в ней, который складывается из порядков дифференциальных уравнений исходной системы. То же относится к моделям дискретных сосредоточенных динамических систем, описываемым системами обыкновенных разностных уравнений.

Базовая модель дискретной распределенной динамической 2D-системы [9] описывается разностным уравнением с частными разностями

$$\begin{aligned}x[t,s] &= A_1 x[t-1,s] + A_2 x[t,s-1] + Bu[t,s], t,s \in N = \{0,1,2,\dots\}, \\x[0,0] &= x_0, x[t,s] = 0, u[t,s] = 0 \text{ при } t < 0 \text{ или } s < 0.\end{aligned}$$

Ее эквивалентным ремоделированием – ключевым шагом в разработке теории включающих 2D-системы дискретно-аргументных систем [10] – является приведение к эквивалентной ассоциированной «сосредоточенной» модели переменной структуры, описываемой «обыкновенным» разностным уравнением в «ассоциированном» времени, определяемым следующим образом.

Дискретная плоская решетка $N \times N$ – первый квадрант дискретной плоскости – разбивается на «уровни» $L["t"]$, номера $"t" \in N$ которых, идущие в северо-восточном направлении на плоскости, и определяют «ассоциированное время». «Уровень» с номером $"t"$ содержит $"t"+1$ естественным образом упорядоченных точек $[t, s], t + s = "t"$:

$$L["t"] = \{["t", 0], ["t"-1, 1], ["t"-2, 2], \dots, [2, "t"-2], [1, "t"-1], [0, "t"]\}.$$

Ассоциированная модель 2D-системы описывается уравнением:

$$x["t"] = A["t"]x["t"-1] + B["t"]u["t"], x["0"] = x_0,$$

где

$$x["t"] = \begin{bmatrix} \cdot \\ x[t, s] \\ \cdot \end{bmatrix}_{t+s="t"}, \quad u["t"] = \begin{bmatrix} \cdot \\ u[t, s] \\ \cdot \end{bmatrix}_{t+s="t"}, \quad A["t"] = \begin{bmatrix} A_1 & & & \\ A_2 & A_1 & & \\ & A_2 & \dots & \\ & & \dots & \dots \end{bmatrix}_{("t"+1) \times "t"}$$

$$B["t"] = I_{"t"+1} \otimes B = \begin{bmatrix} B & & & \\ & B & & \\ & & B & \\ & & & \dots \end{bmatrix}_{("t"+1) \times ("t"+1)}$$

(здесь нулевые блоки блочных ленточной и диагональной матриц опущены).

Как указано выше, здесь может быть использовано и графоструктурное ремоделирование, использующее орграф, гиперграф и метаграф следующим образом.

С базовой моделью 2D-системы ассоциируется орграф, представленный своим фрагментом (косые черточки у номеров «уровней» показывают эти «уровни»):

$$\begin{array}{ccccccc} [0,3] & \rightarrow & [1,3] & \rightarrow & [2,3] & \rightarrow & [3,3] \\ \uparrow & \backslash "3" & \uparrow & \backslash "4" & \uparrow & \backslash "5" & \uparrow \\ [0,2] & \rightarrow & [1,2] & \rightarrow & [2,2] & \rightarrow & [3,2] \\ \uparrow & \backslash "2" & \uparrow & \backslash "3" & \uparrow & \backslash "4" & \uparrow \\ [0,1] & \rightarrow & [1,1] & \rightarrow & [2,1] & \rightarrow & [3,1] \\ \uparrow & \backslash "1" & \uparrow & \backslash "2" & \uparrow & \backslash "3" & \uparrow \\ [0,0] & \rightarrow & [1,0] & \rightarrow & [2,0] & \rightarrow & [3,0] \end{array}$$

С ассоциированной моделью 2D-системы, помимо этого орграфа, ассоциируются также гиперграф и метаграф, причем гиперребра гиперграфа совпадают с метавершинами метаграфа, а их упорядоченные пары – метадуги метаграфа – являются дугами некоторого вспомогательного орграфа.

Представляется естественным считать метавершинами метаграфа определенные выше «уровни»; но локальная структура ассоциированного орграфа подсказывает определение двух типов метавершин – одноэлементных $[t, s]$ и двухэлементных $\{[t+1, s], [t, s+1]\}$, а определение метадуг – как упорядоченных пар $([t, s], \{[t+1, s], [t, s+1]\})$, так что «уровни» могут рассматриваться как объединения соответствующих метавершин. Именно это соответствует структуре матриц $A["t"]$ ассоциированной модели.

Изложенное, при надлежащих уточнениях, распространяется на некоторые другие классы дискретно-аргументных систем [10]. Этим определяется ключевая роль

эквивалентного и графоструктурного ремоделирования в теории таких достаточно сложных дискретных распределенных систем.

Список литературы

1. Kron, G. Diakoptics: the piecewise solution of large scale systems [Text] / G. Kron. – London: Mc Donald, 1963. – 468 p.
2. Воронов, П.Л. Эквивалентирование и упрощение сложных электрических систем по частям при моделировании [Текст] / П.Л. Воронов, В.А. Щедрин // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 44-55.
3. Li, T. Remodeling for fuzzy PID controller based on neural networks [Text] / T. Li, Y. Su, B. Zhong // Fuzzy Inf. and Eng.: Proc. Int. Conf. – NY: ASC, 2011. – P. 714–725.
4. Huang, C. Uncertainty analysis of deep drawing using surrogate model based probabilistic method [Text] / C. Huang, B. Radi, A. Hami // Int. J. Adv. Manufact. Techn. – 2016.- Vol. 86, Iss. 9.- P. 3229–3240.
5. Burnaev, E. Construction of the metamodels in support of stiffened panel optimization [Text] / E. Burnaev, S. Grihon // Math. Methods in Reliability: Proc. Int. Conf. – M.: CPI, 2009. – P. 124–128.
6. Gomes, C. Co-simulation: state of the art [Text] / C. Gomes, C. Thule, D. Broman, P. Larsen, H. Vangheluwe // arXiv:1702.00686v1. – 47 p.
7. Блюмин, С.Л. Применение несимметричного ортогонального планирования при исследовании процессов прокатки [Текст] / С.Л. Блюмин, В.Г. Барышев, С.Л. Коцарь, Б.А. Поляков // Применение ЭВМ в металлургии: I Всесоюз. науч.-техн. конф. – М.: МИСиС, 1973. – С. 118-119.
8. Сараев, П.В. Нейросетевое и нейронечеткое ремоделирование в управлении металлургическими процессами [Текст] / П.В. Сараев, С.Л. Блюмин, А.В. Галкин // Современные проблемы науки и производства: XIII Всеросс. науч.-прак. конф. – Старый Оскол: СТИ МИСиС, 2016. – Т. II. – С. 102-104.
9. Блюмин, С.Л. Графы, гиперграфы, метаграфы, ассоциированные с 2D-системами [Текст] / С.Л. Блюмин // Современная математика и ее приложения: Междунар. науч.-прак. конф. – Уфа: БГУ, 2017. – С. 125-130.
10. Блюмин, С.Л. Соотношения типа Кэли-Гамильтона в теории дискретно-аргументных систем [Текст] / С.Л. Блюмин // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 9. – С. 133-142.

Блюмин Семен Львович, д-р физ.- мат. наук, профессор, Липецкий государственный технический университет, профессор кафедры прикладной математики, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, sabl@lipetsk.ru , (4742)328050.

Галкин Александр Васильевич, канд.техн. наук, доц., Липецкий государственный технический университет, заведующий кафедрой прикладной математики, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, avgalkin82@mail.ru , (4742)328050.

Сараев Павел Викторович, д-р.техн.наук, доц., Липецкий государственный технический университет, декан факультета автоматизации и информатики, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, psaraev@yandex.ru , (4742)328002.

Сысоев Антон Сергеевич, канд. техн.наук, Липецкий государственный технический университет, доц. кафедры прикладной математики, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, anton_syssoyev@mail.ru , (4742)328051.

EQUALIZING OF ELECTRIC ENERGETIC SYSTEMS AND EQUIVALENT REMODELING OF LARGE SCALE SYSTEMS

Blyumin S., Galkin A., Saraev P., Sysoev A.
Russia, Lipetsk, LSTU

Equivalent remodeling of large scale systems is presented as analog of equalizing of electric energetic systems.

Key words: equalizing, equivalent remodeling.

Bibliography

1. Kron, G. Diakoptics: the piecewise solution of large scale systems [Text] / G. Kron. – London: Mc Donald, 1963. – 468 p.
2. Voronov, P. Ekvivalentirovanie i uproshtchenie slozhnykh elektricheskikh system po chastyam pri modelirovanii [Text] / P. Voronov, V. Shchedrin // Vestnik Chuvashskogo Universiteta. – 2015. – № 1. – S. 44-55.
3. Li, T. Remodeling for fuzzy PID controller based on neural networks [Text] / T. Li, Y. Su, B. Zhong // Fuzzy Inf. and Eng.: Proc. Int. Conf. – NY: ASC, 2011. – P. 714–725.
4. Huang, C. Uncertainty analysis of deep drawing using surrogate model based probabilistic method [Text] / C. Huang, B. Radi, A. Hami // Int. J. Adv. Manufact. Techn. – 2016.- Vol. 86, Iss. 9.- P. 3229–3240.
5. Burnaev, E. Construction of the metamodels in support of stiffened panel optimization [Text] / E. Burnaev, S. Grihon // Math. Methods in Reliability: Proc. Int. Conf. – M.: CPI, 2009. – P. 124–128.
6. Gomes, C. Co-simulation: state of the art [Text] / C. Gomes, C. Thule, D. Broman, P. Larsen, H. Vangheluwe // arXiv:1702.00686v1. – 47 p.
7. Blyumin, S. Primenenie nesimmetrichnogo ortogonal'nogo planirovaniya pri issledovanii processov prokatki [Text] / S. Blyumin, V. Baryshev, S. Kotsar, B. Polyakov // Primenenie EVM v metallurgii: I Vsesoyuzn. nauch.-tehn. konf. – M.: MISiS, 1973. – S. 118-119.
8. Saraev, P. Neyrosetevoe i neyronechetkoe remodelirovanie v upravlenii metallurgicheskimi processami [Text] / P. Saraev, S. Blyumin, A. Galkin // Sovremennye problemy nauki i proizvodstva: XIII Vseross. nauch.-prak. konf. – Staryy Oskol: STI MISiS, 2016. – T. II. – S. 102-104.
9. Blyumin, S. Grafy, gipergrafy, metagrafy, associirovannye s 2D-sistemami [Text] / S. Blyumin // Sovremennaya matematika ii ee prilozheniya: Mezhdunar. nauch.-prak. konf. – Ufa: BGU, 2017. – S. 125-130.
10. Blyumin, S. Sootnosheniya tipa Keli-Gamil'tona v teorii diskretno-argumentnykh system [Text] / S. Blyumin // Avtomatika ii telemekhanika. – 1981. – № 9. – S. 133-142.

Blyumin Semen L'vovich, D.Sc. Ph.-Math., prof., Lipetsk State Technical University, prof. of applied mathematics department, 398055, Lipetsk, Moskovskaya 30, sabl@lipetsk.ru, (4742)328050.

Galkin Aleksandr Vasil'evich, Cand.Sc. Techn., assoc. prof., Lipetsk State Technical University, head of applied mathematics department, 398055, Lipetsk, Moskovskaya 30, avgalkin82@mail.ru, (4742)328050.

Saraev Pavel Viktorovich, D.Sc. Techn., assoc. prof., Lipetsk State Technical University, dean of automation and informatics faculty, 398055, Lipetsk, Moskovskaya 30, psaraev@yandex.ru, (4742)328002.

Sysoev Anton Sergeevich, Cand.Sc. Techn., Lipetsk State Technical University, assoc. prof. of applied mathematics department, 398055, Lipetsk, Moskovskaya 30, anton_sysoyev@mail.ru, (4742)328051.

УДК 621.316.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Морозов А.В.

Россия, г. Ижевск, ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т.Калашикова»

Рассмотрена система управления инвертором тягового привода унифицированной машины технологического электротранспорта. Описан процесс настройки параметров системы векторного управления, а также результаты моделирования работы системы.

Ключевые слова: векторное управление, электропривод, схема замещения.

Публикация подготовлена в рамках работ по проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта, реализуемому на основании Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации

российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Участники проекта: ФГБОУ ВО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова", ОАО "Сарапульский электрогенераторный завод" (договор № 02.G25.31.0132 от 01.12.2015 г.). НИОКТР выполнены в ФГБОУ ВО "Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова".

Унифицированная машина технологического электротранспорта (УМТЭТ) – автономное транспортное средство, предназначенное для эксплуатации в различных отраслях хозяйства. Номинальное напряжение аккумуляторной батареи 48 В, а емкость 350 А·ч. Собственная масса порожней УМТЭТ равна 1,5 т, а максимальная масса перевозимого груза - 3 т. Расчетные условия эксплуатации УМТЭТ предполагают возможность движения с грузом по различному типу горизонтального дорожного покрытия – асфальт, грунт, укатанный снег, сырой песок, а также преодоление уклона в 12 %. Максимальная сила трения качения при этом составляет до 7650 Н.

Привод должен обеспечить возможность разгона порожней УМТЭТ до 25 км/ч и груженой до 20 км/ч в зависимости от условий движения. При использовании понижающего редуктора с передаточным отношением 15,36 тяговый двигатель должен создавать максимальный вращающий момент на валу двигателя не менее 150 Н·м. Максимальная частота вращения вала равна 3500 об/мин, что соответствует движению УМТЭТ со скоростью 26 км/ч при радиусе колеса 0,3 м.

За основу привода принят низковольтный асинхронный двигатель с АДТ-6с разработки ОАО «СЭГЗ». В качестве алгоритма управления инвертора выбрано векторное управление по принципу косвенной ориентации по полю ротора – FOC. Система FOC позволяет с высокой точностью контролировать момент и рабочий магнитный поток двигателей переменного тока. Параметры САУ оптимизируются для получения максимального статического момента.

Силовая часть тягового привода содержит трехфазный инвертор напряжения на полевых транзисторах, а также двунаправленный импульсный преобразователь тока, обеспечивающий рекуперацию в ионистор и подпитку от него инвертора при перегрузках. Схема FOC, рис. 2, повторяет внутреннюю структуру модели асинхронного двигателя, управляемого током или напряжением статора [1]. В составе САУ реализованы два контура с обратными связями для регулирования продольной и поперечной проекций тока статора. Для этого пространственный вектор тока разлагается на проекции в декартовой системе отсчета, связанной с потокоцеплением ротора. Внешний контур, предназначенный для регулирования скорости, вырабатывает сигнал задания поперечного тока, регулирующего момент. Вычислитель потока осуществляет формирование рабочего потока двигателя относительно скорости вращения за счет изменения продольного тока I_d . Оптимизация потока на низких скоростях выполнена с целью поддержания постоянства момента и требуемой перегрузочной способности двигателя, позволяющей стронуться с места в наиболее тяжелых расчетных условиях эксплуатации, рис. 1. С ростом частоты вращения при достижении максимальной мощности поток уменьшается для ограничения перегрузки по мощности. Кривая намагничивания двигателя АДТ-6 показывает возможность увеличения продольного тока до 80 А без насыщения магнитной системы. Дальнейшее увеличение тока I_d вносит нелинейность в состав передаточной функции объекта управления и вызывает ухудшение качества регулирования магнитного потока, а также повышенный нагрев магнитопровода двигателя.

В системе регулирования скорости двигателя относительно сигнала задания ω_{on} должны присутствовать датчики токов фаз статора I_{ab} , датчик частоты вращения вала ω и вычислительное устройство, осуществляющее обработку сигналов обратных связей по алгоритму FOC. Структурная схема системы автоматического управления содержит блок прямых преобразований по алгоритмам Парка и Кларка для расчета проекций векторов

тока статора во вращающейся со скоростью ω_e системе отсчета dq , связанной с потокосцеплением ротора [2]. Для вычисления ω_e используются значение частоты вращения вала ω , помноженное на число пар полюсов p и вычисленная косвенным образом частота скольжения ω_s . В системе присутствуют ПИД-регуляторы проекций токов статора $P_T d$ и $P_T q$ обрабатывающие ошибки регулирования токов, а также скорости РС. По алгоритмам обратных преобразований Парка и Кларка осуществляется обработка сигналов регулирования продольной и поперечной проекций вектора напряжения статора и последующий расчет интервалов проводимости T_{abc} транзисторов полумостов инвертора. Таким образом, на выходе инвертора за счет ШИМ формируются необходимые мгновенные фазные напряжения, обеспечивающие регулировку токов статора в соответствии с их заданными значениями.

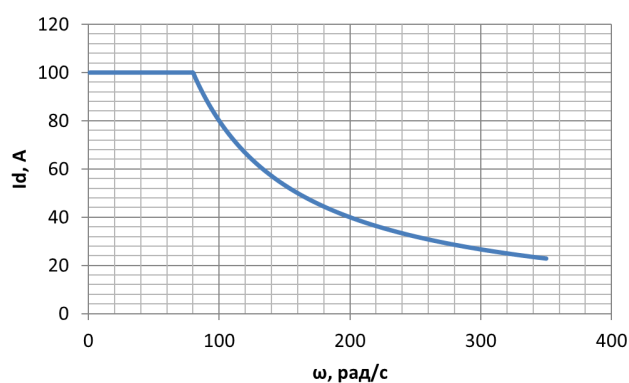


Рисунок 1 – Закон регулирования тока возбуждения

Адаптация FOC под конкретный объект управления- двигатель АДТ-6 заключается в настройке вычислителя скольжения и блока компенсации перекрестных связей (БКПС). Затем осуществляется подстройка коэффициентов ПИД-регуляторов токов и скорости, для оптимизации переходных характеристик данных контуров регулирования. По опытным данным были определены параметры Т-образной схемы замещения двигателя.

В системе регулирования скорости двигателя относительно сигнала задания ω_{on} должны присутствовать датчики токов фаз статора I_{ab} , датчик частоты вращения вала ω и вычислительное устройство, осуществляющее обработку сигналов обратных связей по алгоритму FOC. Структурная схема системы автоматического управления содержит блок прямых преобразований по алгоритмам Парка и Кларка для расчета проекций векторов тока статора во вращающейся со скоростью ω_e системе отсчета dq , связанной с потокосцеплением ротора [2]. Для вычисления ω_e используются значение частоты вращения вала ω , помноженное на число пар полюсов p и вычисленная косвенным образом частота скольжения ω_s . В системе присутствуют ПИД-регуляторы проекций токов статора $P_T d$ и $P_T q$ обрабатывающие ошибки регулирования токов, а также скорости РС. По алгоритмам обратных преобразований Парка и Кларка осуществляется обработка сигналов регулирования продольной и поперечной проекций вектора напряжения статора и последующий расчет интервалов проводимости T_{abc} транзисторов полумостов инвертора. Таким образом, на выходе инвертора за счет ШИМ формируются необходимые мгновенные фазные напряжения, обеспечивающие регулировку токов статора в соответствии с их заданными значениями.

Адаптация FOC под конкретный объект управления- двигатель АДТ-6 заключается в настройке вычислителя скольжения и блока компенсации перекрестных связей (БКПС). Затем осуществляется подстройка коэффициентов ПИД-регуляторов токов и скорости, для оптимизации переходных характеристик данных контуров регулирования. По опытным данным были определены параметры Т-образной схемы замещения двигателя.

Таблица 1 – Данные опытов холостого хода и короткого замыкания и параметры схемы замещения при частоте напряжения 50 Гц.

Параметр	I	U_L	P	$\cos\phi$	R	Z	X	L
Ед. изм.	А	В	кВт		Ом	Ом	Ом	мГн
Опыт КЗ	105	3,9	0,45	0,64	0,013	0,021	0,016	0,0518
Опыт ХХ	50	30	0,03	0,01	0,003	0,346	0,346	1,104

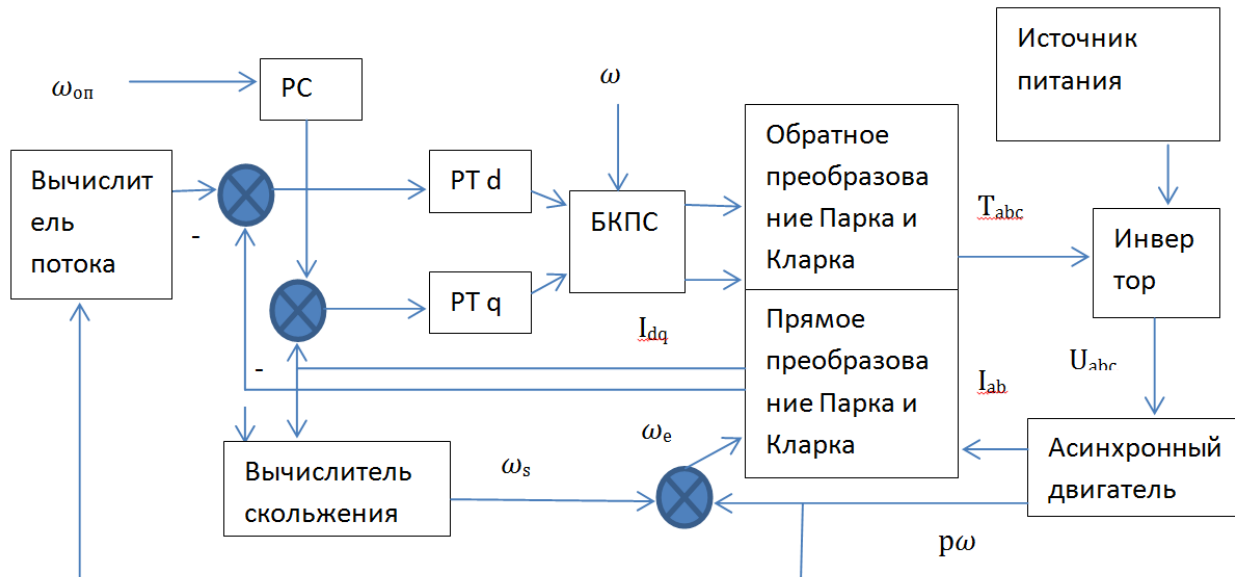


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления

Среднее активное сопротивление фаз статора R_1 составляет 7,44 мОм. Активное сопротивление ротора

$$R_2 = R_{\kappa 3} - R_1 = 5,56 \text{ мОм.}$$

Постоянная времени ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} \approx \frac{L_{xx}}{R_2} = \frac{1,104}{5,56} = 0,2 \text{ с.}$$

Скорость скольжения двигателя, выраженная через проекции тока статора:

$$\omega_s = \frac{2R_2 M}{3p\psi_r^2} = \frac{2R_2 L_{xx} I_d I_q}{3 \cdot 2L_{xx}^2 I_d^2} = \frac{I_q}{3T_2 I_d} = \frac{1}{3 \cdot 0,2} \frac{I_q}{I_d} = 1,66 \frac{I_q}{I_d}.$$

БКПС предназначен для устранения взаимного влияния каналов регулирования d и q проекций вектора тока статора. Его работа блока основана на формировании компенсационных воздействий в контурах регулирования проекций тока. Компенсационные воздействия равны по величине d и q проекциям ЭДС вращения и противоположны им по знаку. ЭДС вращения возникают в составе уравнений Киргхофа для цепей статора и ротора при переходе от неподвижной системы отсчета к вращающейся с синхронной скоростью системе отсчета dq.

$$\bar{u}_1^{dq} = r_1 \bar{i}_1^{dq} + \frac{d\bar{\Psi}_1^{dq}}{dt} + j\omega_1 \bar{\Psi}_1^{dq} \Rightarrow \begin{cases} u_{1d} = r_1 i_{1d} + \frac{d\Psi_{1d}}{dt} + \omega_1 \Psi_{1q} \\ u_{1q} = r_1 i_{1q} + \frac{d\Psi_{1q}}{dt} - j\omega_1 \Psi_{1d} \end{cases},$$

где u_1^{dq} - пространственный вектор напряжения статора в системе отсчета dq, $\frac{d\Psi_1^{dq}}{dt}$ - ЭДС трансформации статора, $\omega_1 \Psi_1$ - ЭДС вращения статора;

ЭДС вращения статора, выраженные через проекции тока i_1^{dq} :

$$\begin{aligned} U'_d &= \omega_1 \Psi_{1q} \approx \omega_1 I_{1q} L_{\kappa 3} \\ U'_q &= -j\omega_1 \Psi_{1d} \approx -\omega_1 I_{1d} L_{xx} \end{aligned}$$

В программе MATLAB Simulink произведено исследование системы управления при управлении моделью асинхронного двигателя с параметрами АДТ-6с. Условия моделирования были приняты следующие: приведенный к валу момент инерции $1,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, момент сопротивления $10 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что соответствует движению полностью груженой УМТЭТ по горизонтальному асфальту. Сначала осуществлялся разгон до скорости 140 рад/с , затем реверс в момент времени 4 с , рис.3.

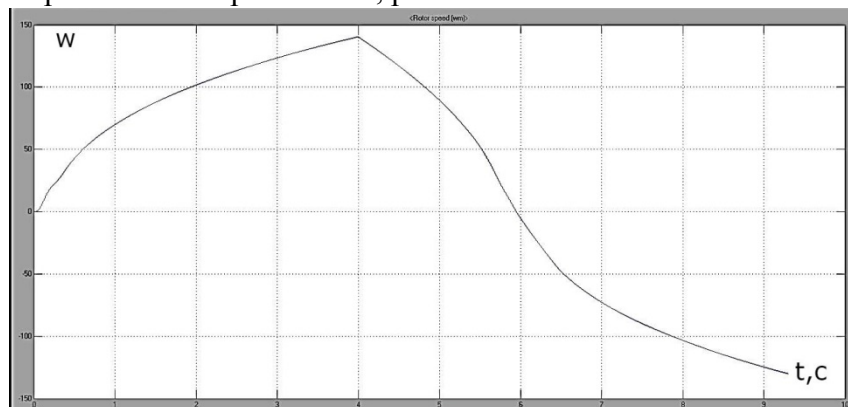


Рисунок 3 – Угловая частота вала, рад/с

Максимальная электромагнитная мощность двигателя P , рис 4, ограничена значением 5 кВт за счет регулирования продольного тока I_d и ограничения тем самым момента на валу M . В связи с тем, что постоянная времени статора

$$T_1 \approx \frac{L_m}{R_1} = 0,15 \text{ с}$$

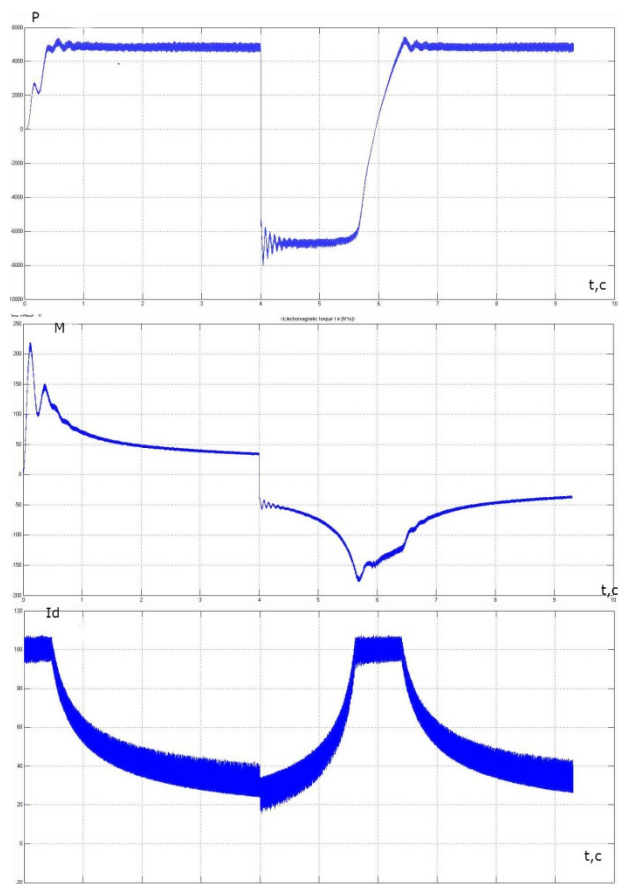


Рисунок 4 – Электромагнитная мощность P , Вт; момент M , Н·м и продольный ток I_d , А

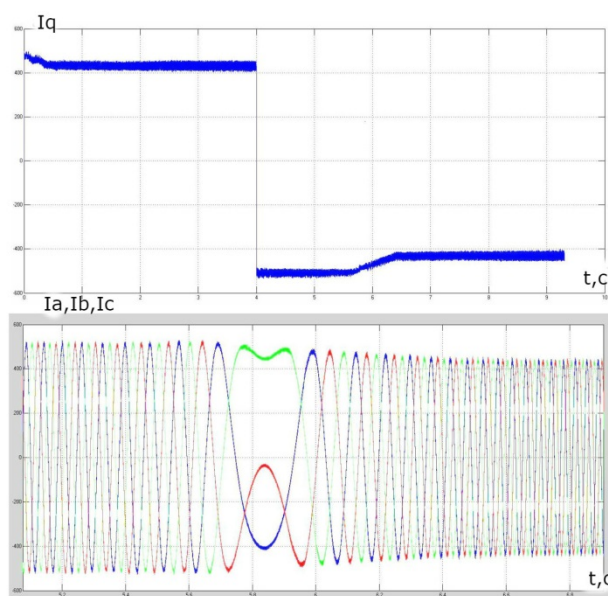


Рисунок 5 - Поперечный ток I_q , А и фазные токи I_a , I_b , I_c , А в момент реверса

пренебрежимо мала по сравнению с электромеханической постоянной времени привода, продольный ток регулируется непосредственно в функции частоты вращения без ограничения скорости его изменения.

Контур формирования поперечного тока настроен в режиме пропорционально-дифференциального регулирования с обеспечением максимального быстродействия. Максимальная величина поперечного тока I_q ограничена значением 500 А, рис. 5. Кривые фазных токов статора в момент реверса показывают изменение направления чередования фаз в автоматическом режиме.

Моделирование подтверждает работоспособность векторно системы автоматического управления тяговым асинхронным двигателем с подчиненным регулированием момента. САУ осуществляет независимое управление рабочим потоком и моментом двигателя за счет регулирования составляющих тока статора. Компенсация перекрестных связей устраняет взаимовлияние каналов регулирования. Настройка САУ произведена с использованием данных опытов холостого хода и короткого замыкания, а также заданных в техническом задании параметров УМТЭТ.

Список литературы

1. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст]: учебное пособие / А.А.Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
2. Калачев, Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика) [Текст]: Электрон. Текстовые дан. – Режим доступа: http://www.privod-news.ru/docs/Vector_Kalachev.pdf.

Морозов Александр Вадимович, старший преподаватель кафедры «Электротехника» ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова», e-mail: avmoroz16@rambler.ru, адр. г. Ижевск, ул. Первомайская, д.2, кв. 28, тел. 8(912)015-40-73

MODELING OF THE DRIVE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH VECTOR CONTROL

Morozov A.V.

Russia, Izhevsk, «Kalashnikov ISTU»,

The control system of the inverter of the induction motor forelectromobile is considered. The process of adjusting the parameters of the vector control system, as well as the results of modeling the operation of the system, is described.

Key words: vector control, electric drive, replacement circuit.

Bibliography

1. Usoltsev, A.A. Vector control of induction motors [Текст] / A.A.Usoltsev. – SPb: SPBGU IMTO, 2006. – 94 p.
2. Kalachev, U.N. Vector control (Practice notes):[Текст] – : http://www.privod-news.ru/docs/Vector_Kalachev.pdf

Morozov Alexander Vadimovich, prof. dep. «Electrical Engineering», «Kalashnikov ISTU», Russia, Izhevsk, e-mail: avmoroz16@rambler.ru, addr. Izhevsk, Pervomayskaya street, 2-28, phone num: 8(912)015-40-73.

УДК 621.311.4-52

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА СПК107

Комаристый А.С., Чаленко В.В.

Россия, г. Орел ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

*В статье описано устройство автоматического ввода резерва на базе контроллера СПК107.
The article describes the device for automatic reserve input based on the SPK107 controller.*

В системах электроснабжения промышленных предприятий с использованием нетрадиционных источников электропитания особое значение приобретает автоматический ввод резерва (АВР) — как способ обеспечения надежного электроснабжения потребителей. Задача АВР заключается в автоматическом подключении к потребителям резервного источника питания в случае потери основного. В данной статье рассмотрен АВР с двумя независимыми источниками питания, двумя секциями шин и секционным автоматическим выключателем. Все автоматическое управление осуществляется при помощи контроллера фирмы Овен.

СПК107 представляет собой устройство класса человеко-машинный интерфейс со встроенными функциями свободно программируемого контроллера, предназначен для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных областях промышленности, энергетики, ЖКХ.

Отличительные характеристики:

- Панель оператора и программируемый логический контроллер в одном корпусе
- Графический экран с диагональю 7 дюймов
- Количество цветов 65535 (16 бит)
- Сенсорное управление экраном
- Два независимых последовательных интерфейса RS-232/RS-485
- Встроенная операционная система Linux
- Поддержка протоколов Modbus/OWEN.

С целью создания универсального, обособленного и имеющего максимально доступный для обслуживающего персонала интерфейс устройства автоматического ввода резерва была разработана программа в среде программирования CODESYS, которая позволяет при помощи визуализаций не только отслеживать все происходящие в системе электроснабжения процессы, но и управлять ими с панели оператора.

Программа предусматривает наличие трех основных режимов работы: ручной (управление с кнопок), режим «включенной логики» (когда включение или отключение выключателей происходит автоматически) и режим «отключенной логики» (когда управление осуществляется вручную с панели оператора).

Разработанная программа имеет 3 основных видовых экрана. Первый представляет собой главный экран (рисунок 1), на котором отображены состояния вводных и секционного автоматов, индикация наличия напряжения на вводах, режим работы, имя пользователя, текущие дата и время, кнопки управления, а также визуализированы все выдержки времени (защита от пульсации напряжения, время восстановления нормальной схемы электроснабжения, предотвращающее переключения системы в случае временного восстановления напряжения). Визуализация осуществляется путем задания параметров невидимости того или иного изображения и в неактивном состоянии представляет собой набор элементов, наложенных друг на друга.

Предусмотрено также наличие трех пользователей: обычного пользователя, сервисного пользователя и администратора. Кнопка «Параметры» недоступна для обычного пользователя и позволяет задать основные выдержки времени, а также включить или отключить логику. Второй видовой экран, который появляется после нажатия кнопки «Параметры» приведен на рисунке 2. Кнопка «Конфигурация пользователей» доступна только для администратора и позволяет менять логин и пароль других пользователей.

Кнопка «Журнал» позволяет открыть третий видовой экран (рисунок 3), где отображен журнал аварий и изменение всех основных параметров системы. Кнопка «История» также недоступна для обычного пользователя.

Работа АВР в автоматическом режиме основывается на показаниях реле контроля напряжения, установленных на обоих вводах. При потере напряжения или несоответствии его параметров на одном из вводов, автоматический выключатель, установленный на данном вводе отключается и включается секционный автоматический выключатель.

После появления стабильного напряжения на поврежденном вводе, система электроснабжения переводится в нормальный режим работы. Также отслеживаются все нештатные режимы работы автоматических выключателей, в том числе если сигнал на включение/отключение автоматического выключателя был дан, но изменение положения дополнительного контакта не зафиксировалось.

Разработанная программа позволяет не только увеличить надежность системы электроснабжения, но и упростить управление данной системой.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание 7, дата актуализации -21.05.2015.
2. Маркевич, А.И. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения : Учебно-методическое пособие. – Псков: Издательство ПсковГУ, 2012. -138 с.

Комаристый Александр Семенович - канд.экон.наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ОГУ имени И.С. Тургенева, тел. 8 (4862) 41 98 30.

Чаленко Виктория Владимировна – студентка группы 21-ЭО(з)-М, ОГУ имени И.С. Тургенева, тел. 8 953 814 65 29.

УДК 631.71:621

НЕЧЕТКО-ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

Никольский О.К., Мартко Е.О., Мозоль В.И.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрена проблема принятия решений в человеко-машинных системах вида «Человек-Электроустановка-Среда», относящихся к классу слабо формализованных динамических объектов. Предложен новый подход к оценке рисков опасности электроустановок производственных объектов в условиях реального времени на основе построения нечетко-темпоральных моделей.

Ключевые слова: человеко-машинная система, техногенный риск электроустановки, нечетко-темпоральные модели.

Введение

В конце XX века в работах по искусственному интеллекту сформировалось новое направление в области разработки интеллектуальных систем (ИС), способных обеспечивать эффективную экспертную поддержку лицам, принимающим решения (ЛПР)[1]. Известно, что ЧМС «Ч-ЭУ-С» функционирует в условиях наличия различного вида неопределённостей, проявляющихся в неполноте, нечетности и противоречивости исходных данных [2]. В этой связи для создания поддерживающих ИС необходима разработка математических моделей, способных адекватно решать динамические особенности предметной области (ПО) и формировать нечетко-динамическую базу знаний (БЗ). В слабо структурированных ПО получение новых знаний традиционно опирается либо на опыт специалистов-экспертов, либо на использование специальных методов диагностики и проведение экспериментальных исследований. Однако, независимо от инструментов получения необходимой информации БЗ должна удовлетворять ряду требований, как то: наличие знаний, позволяющих проводить анализ объекта при неполных исходных данных, возможность для ЛПР её корректировки в рабочем режиме. Для формирования БЗ необходимы программные средства, с помощью

которых можно получать результаты при решении трудных для человека задач, не уступающих по эффективности решениям, получаемым экспертом. Таким образом, экспертные системы (ЭС) используются для решения так называемых неформализованных задач, где особо важную роль играют качественные и нечетко-логические(лингвистические) методы анализа. Основание для этого является: а) невозможность точного количественного описания и использование содержательного символического рассуждения, позволяющего наиболее естественным образом моделировать высказывания экспертов; б) проблематичность выражения цели исследования в терминах точно определённой целевой функции; в) отсутствие алгоритмического решения задачи. Отметим также, что отличие ЭС от стандартных программ состоит в возможности достижения экспертного уровня решений в конкретной предметной области, используя при этом сложные правила, минимизируя избыточность знаний и соответственно требующих минимальных вычислительных ресурсов для их хранения и обработки.

Человеко-машинная система вида «Ч-ЭУ-С» представляет собой эргатическую слабо структурированную модель, в которой процессы формирования знаний могут опираться либо на накопленный опыт и статистические данные, либо на интуицию и анализ специалистов-экспертов в данной предметной области.

Изучение причин аварий показало, что среди используемых в настоящее время видов энергии большую опасность представляет энергия электрического тока и электромагнитного поля, носителями которых являются системы электроснабжения и электроустановки. Анализ статистических данных показывает, что характерной чертой аварии, травм и пожаров является некоторая совокупность так называемых иницирующих условий (предпосылок), образующих причинно-следственные цепи. Наиболее типичной причинной цепью, представляется последовательность следующих предпосылок:

- ошибки человека (оператора, персонала, населения);
- отказы электроустановок (в т. ч. отсутствие или неисправность средств защиты);
- негативные (сверхнормативные) воздействия факторов внешней среды.

Несмотря на то, что перечисленные предпосылки являются случайными, можно установить присущие им закономерности. Во-первых, возникновение каждого техногенного происшествия следует рассматривать как следствие не отдельной причины, а результат появления цепи соответствующих предпосылок. Во-вторых, все виды опасностей, возникающие в электроустановках, можно интерпретировать как поток случайных событий, количество которых на ограниченном интервале времени (например, одного года) распределяется по закону Пуассона, а время между появлением отдельных происшествий – по экспоненциальному распределению.

В настоящее время сформулирована единая научно обоснованная методология, объясняющая закономерность возникновения и развития техногенных опасностей, сущность которой базируется на так называемой энергоэнтропийной концепции[2]. Применительно к электроустановкам (рисунок 1) к основным положениям этой концепции, не противоречащим фундаментальным законам энтропии, отнесём следующее:

1) эксплуатация электроустановок потенциально опасна, т.к. связана с электропотреблением и накоплением энергии;

2) энергия электроустановки обладает свойством переходить в тепло, равномерно распределяемое среди окружающих тел; т.е. система стремится перейти в состояние максимальной энтропии, характеризующее отсутствием энергетических потенциалов; попытки вывести систему из состояния наибольшей степени дезорганизации требуют преодоления естественных энергетических барьеров и рассматриваются как приводящее её в неустойчивое опасное состояние;

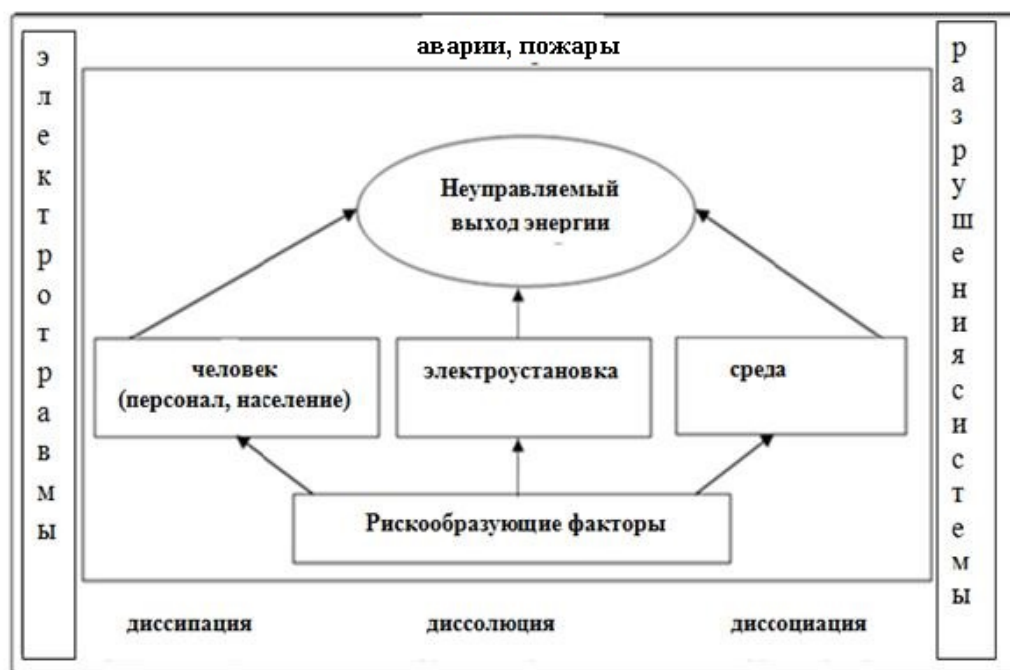


Рисунок 1 – Иллюстрация энтропийной концепции техногенных опасностей электроустановки

3) опасность электроустановки проявляется в результате неуправляемого выброса энергии, накопленной в технологическом электрооборудовании; выброс энергии приводит к повреждению электроустановки, электротравматизму людей, загрязнению окружающей среды (пожарам).

Таким образом, опасность электроустановок обусловлена естественным стремлением энтропии к постепенному или скачкообразному ухудшению свойств материального объекта из-за разрушения связей между его элементами. Ущерб электроустановки проявляется в процессе её старения и износа, формирования происшествий, которые рассматриваются как результат неконтролируемого высвобождения энергии и опасного её воздействия на человека и среду обитания. Изложенное является основанием считать, что система «Ч-ЭУ-С» относится к категории открытых нелинейных систем, её поведение представляется слабо предсказуемым. Опасные экстремальные явления в электроустановках, связанные с неконтролируемыми выбросами энергии, обуславливаются специфическим режимом функционирования – неустойчивостью техногенной системы, что вызывает поражающие события в виде тяжёлых аварий, электротравм и пожаров. Анализ эмпирических распределений опасных выбросов энергии показывает, что эти распределения не описываются нормальным законом, а имеют так называемые «тяжелые хвосты». Иницирующими или исходными событиями этих выбросов могут быть внутренние и внешние факторы. Внутренние факторы – отказы электроустановки и её элементов (электрической защиты), ошибочные действия персонала и т.д. Внешние факторы опосредованно могут оказывать негативное воздействие на функционирование рассматриваемой человеко-машинной системы. К ним следует отнести состояние законодательной и нормативной базы, макроэкономические показатели региона и др. (рисунок 2)

Выделим наиболее типичные виды техногенных рисков системы «Ч-ЭУ-С»:

– режимные, возникающие при штатном функционировании электроустановки, обеспечивающие прогнозируемые последствия и нормативную защищённость персонала и населения;

– проектные, обусловленные выходом за допустимые пределы эксплуатационных режимов с приемлемым риском и достаточной защищённостью;

– запроектные, вызванные необратимыми повреждениями отдельных элементов электроустановки, гибелью людей и высокими ущербами;

Нечёткие модели. В противоположность точными детерминированным математическим уравнения в моделях нечеткой логики используются нечеткие множества для оценки и управления техногенными рисками ЧМС «Ч-ЭУ-С» [3]. Нечёткие модели (НМ) и нечеткий логический вывод (НЛВ), применяемый к задачам управления, образуют область знаний, называемую управляемой нечеткой логикой (fuzzylogiccontrol). НЛВ представляет собой аппроксимацию зависимостей «входы-выход» на основе лингвистических высказываний вида «если,..., то» и выполнение логических операций над нечёткими множествами.

Для идентификации источников и причин техногенных опасностей могут быть использованы логико-алгебраические модели семиотического типа и методы нечетко-логического вывода, образующего основной механизм принятия решений [4]. Так, например, для определения возможности возникновения электротравмы персонала при эксплуатации ЭУ используем логико-лингвистическую модель представления исходной информации, в удобной форме знания экспертов [5]. В этих случаях особенность лингвистической оценки состоит в том, что взаимосвязь «входы-выход» задаются как экспертные рассуждения, которые представляют иерархическую базу знаний. Другими словами, БЗ представляет собой совокупность правил ЕСЛИ-«входы», ТО-«выход», основанная на опыте эксперта и его понимания причинно следственных связей для формирования нечеткого вывода. Сама система «входы-выход» представляет собой совокупность лингвистических переменных, оцениваемых терм-множеством.

Построение логико-лингвистической модели осуществляется в два этапа:

– структурная идентификация направлена на создание нечеткой базы знаний на основе экспертных оценок;

– параметрическая идентификация предполагает проведение точной нечеткой модели путем ее обучения по экспериментальным данным [6]. Целью нашей настройки является расхождение между экспериментальным и модельным описанием рассматриваемых объектов.

Основой разработки логических правил и схемы нечеткого вывода является установление рискообразующих факторов, построение дерева рисков опасных техногенных ситуаций (см. рисунок 2) и иерархической базы знаний. Дерево рисков ОТС в общем случае представляет собой графическую структуру классификации РОФ, с помощью которой выявляется сценарий развития опасных техногенных происшествий. Разработанное дерево определяет последовательность возникновения аварии в электроустановке (рисунок 3).

$$R_k = F[X_q; Y_{zy}; Z_c],$$

$$\text{где } X_q = \sum_i^n \mu(x_i), \quad Y_{zy} = \sum_j^m \mu(y_j), \quad Z_c = \sum_k^p \mu(z_k).$$

Здесь $i = 1, \bar{n}$, $j = 1, \bar{m}$, $k = 1, \bar{p}$ – количество РОФ каждого компонента рассматриваемой ЧМС.

Для оценки данных лингвистических переменных X, Y и Z используем следующее терм-множество:

$$T_i = \{t_1, \dots, t_k, \dots, t_c\}.$$

Названия отдельных термов (t_k) могут отличаться один от другого для рискообразующих лингвистических переменных.

²Темпоральные модели.

Особенность оценки и управления техногенными рисками опасностей электроустановок производственного объекта обуславливает ряд требований к моделям, способным обеспечивать экспертную поддержку ЛПР в условиях неопределённости.* Эти требования кратко можно свести к следующему.

Модель должна:

1) описывать функционирование рассматриваемых ЧМС во взаимодействии компонентов;

2) позволять рассматривать строгие (функциональные) связи и «мягкие» (приближенные) отношения, при этом быть легко интерпретируемой;

3) обеспечивать удобство и высокую скорость выполнения расчетов при различной степени неопределенности и неполноты исходных данных;

4) база знаний ИС для ЧМС должна представлять собой систему нечетких признаков (факторов), зависящих от времени и проявляющихся с определенной закономерностью во времени. Получить подобную модель, отвечающую перечисленным требованиям, позволяет аппарат темпоральных логик, основанный на представлении динамической информации в виде нечетко-темпоральных высказываний [8].

Известно, что время является одним из базовых понятий при описании реального мира. Современные подходы к формализации представления времени как особой субстанции можно разделить на группы. К первой группе отнесём моделирование изменений системы во времени (ситуационное исчисление), и ко второй - явное моделирование времени.

При моделировании изменений базовым понятием является состояние системы, рассматриваемое как мгновенная картина реальности, не обладающая длительностью во времени. Методы анализа рассматриваемой в пространстве состояний человеко-машинной системы могут давать приблизительную оценку времени. Состояние системы здесь характеризуется некой базой данных фактов в конкретный момент времени. Ситуационное моделирование основано на методах анализа пространственных состояний для решения проблемно-ориентированных задач, где знание представлено в виде конечного или бесконечного ряда состояний системы, каждое из которых является описанием реальности в конкретный момент времени. Данный класс обладает существенными ограничениями по представлению сложных временных зависимостей, например: событий, имеющих длительность; событий, перекрывающихся во времени; событий, обладающих сложными причинно-следственными взаимосвязями и т. д.

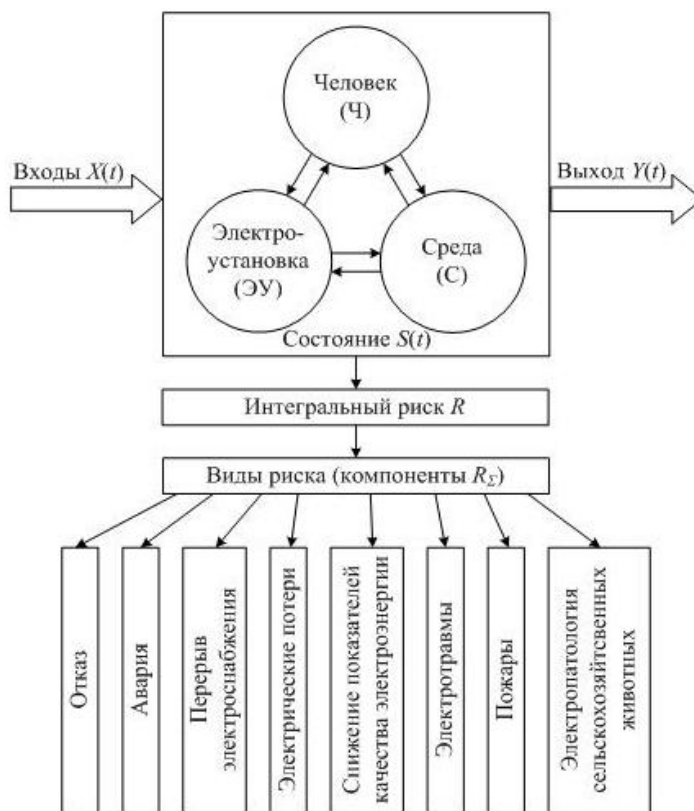


Рисунок 2 – Структурно-функциональная модель системы «человек-электроустановка-среда»

* Речь идёт о методах получения, представления и обработки знаний с НЕ- факторами [7]

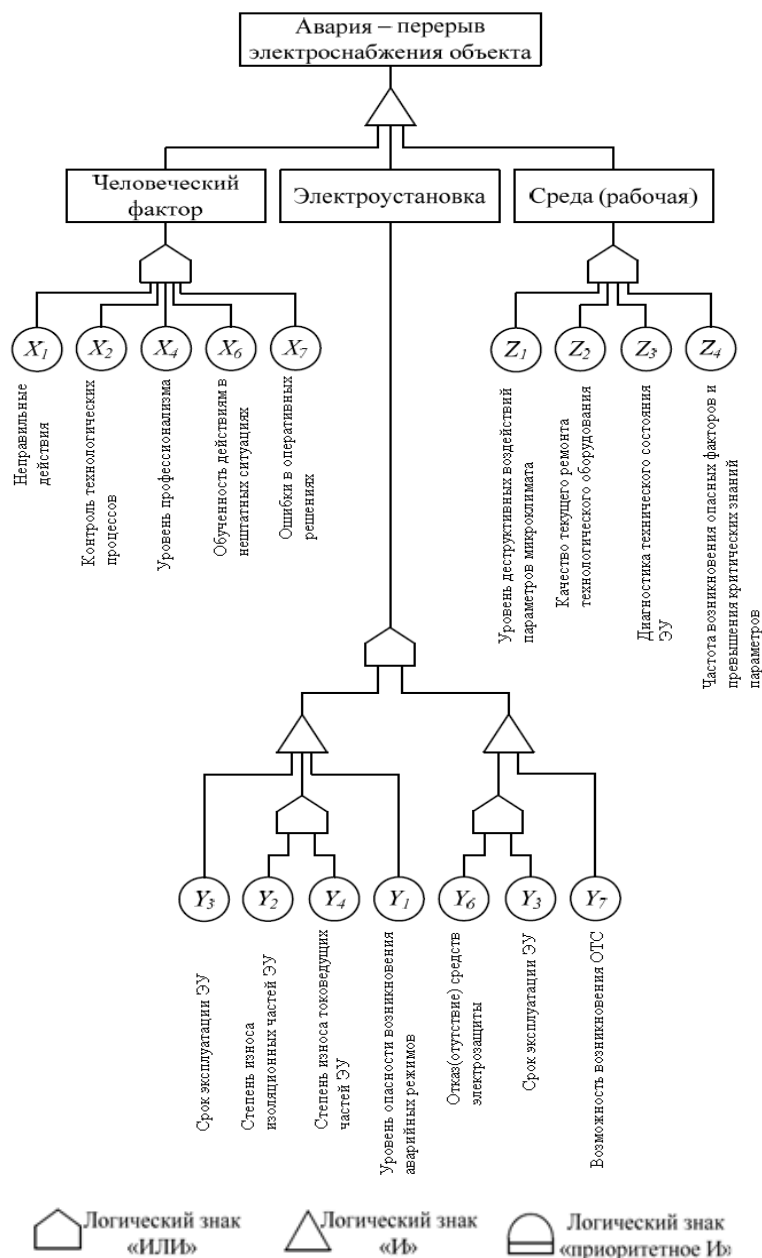


Рисунок 3-Дерево возникновения аварий в электроустановке

интервального формализма обусловлено её достаточной выразительностью. Проведённые расчеты электроопасности установок с использованием темпоральных зависимостей между рискообразующими факторами показывают, что переход от статического моделирования к динамическому способствует более глубокому анализу и адекватной оценки техногенных угроз в реальных производственных объектах.

Список литературы

1. Пospelов, Д.А. Логико-лингвистическая модель в системах управления [Текст] / Д.А. Пospelов. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 134 с.
2. Теория и практика управления техногенными рисками: учебн. пособие [Текст] / О.К. Никольский и др. / под общей ред. заслуженного деятеля науки и техники России, докт. техн. наук О.К. Никольского. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 219 с.

Явное моделирование времени описывает динамическую информацию и дает возможность использовать «гибкие» формализованные языки, позволяющие проводить рассуждения, построенные в виде высказывательной формы, истинностные значения которых «привязаны» к определённому моменту или интервалу времени и могут с течением времени изменяться. В эту группу входят различные временные (темпоральные) логики, которые обладают большими выразительными возможностями представления реальных временных конструкций в сравнении с системами на основе моделирования изменений.

В рамках рассматриваемой задачи наибольший интерес представляют подходы, основанные на явном моделировании времени с использованием точечных временных примитивов или построенные не интервальной временной логике и допускающей построение точек в виде интервалов нулевой длины. Использование логики Аллена [9] в качестве основы построения точечно-

3. Никольский, О.К. Проблема неопределенности при анализе рисков электроустановок. статья [Текст] / О.К. Никольский, А.Ф. Костюков, Н.И. Черкасова // Ползуновский вестник. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – т.1–С. 140-146.

4.Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений [Текст] / О.И.Ларичев, Е.М.Мошкович. – Москва : Наука, Физматлит, 1996 – 208с.

5. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – Москва : Мир, 1976 – 167 с.

6.Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев. – Москва: Радио и связь, 1989. – 304 с.

7.Еремеев, А.П. Методы представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений[Текст] / А.П. Еремеев, В.В. Троицкий // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2003. – № 5. – С.75-88.

8.Качесова, Л.Ю. О возможности использования темпоральной логики в интеллектуальных системы поддержки принятия решений по управлению техногенными рисками опасности электроустановок[Текст] / А.Н. Тушев, Л.Ю. Качесова // Ползуновский альманах. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2016. – №2. – С.151-153

9.Никольский, О.К. Использование аппаратов темпоральной логики для управления техногенными рисками человеко-машинной-системы [Текст] / О.К. Никольский, А.Н. Тушев, Л.Ю. Качесова // Достижения науки техники АПК. – Москва : ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2017. – №3. – Том 31. – С.41-45

Никольский Олег Константинович, д-р техн.наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ им. И. И. Ползунова), заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» (ЭПБ), epb_401@mail.ru, 8 (3852) 29-08-82.

Мартко Екатерина Олеговна, к.т.н., АлтГТУ им. И. И. Ползунова, доцент кафедры ЭПБ, epb_401@mail.ru, 8 (3852) 29-08-82.

Мозоль Владимир Иванович, АлтГТУ им. И. И. Ползунова, доцент кафедры ЭПБ, epb_401@mail.ru, 8 (3852) 29-08-82.

THE AMORPHIC TEMPORAL PRINCIPLES OF RISK ASSESSMENT IN HUMAN-MACHINE SYSTEMS.

Nikoskiy O.K., Martko E.O., Mozol V.I.
Russia, Barnaul, Altaian Technical University

Discusses the problem of making decisions in human-machine systems of human-power-to-environment type that belong to a class of poorly formalized dynamic objects. A new approach to risk assessment of plant installations in real time, based on the construction of amorphic temporal models, has been proposed.

Key words: The human-machine system, the technology-related risk of electrical installation, the amorphic temporal models.

Bibliography

1. Pospelov, D. A. Logic-Linguistic Model in Management Systems [Text]/ D.A. Pospelov. Moscow : Energoizdat, 1981. - 134 C.

2. The Theory and Practice of the Management of Technology-Related Risks: study guide [Text]/ D.C. Nikolskiy et al. /endorsed by honored worker of Russian science and technology, D. Sc. in engineering, O.K. Nikolskiy. – Barnaul : Academic Press of Altaian State Technical University, 2015. - p. 219.

3. Nikolskiy, O.K. The Issue of Uncertainty in the Analysis of the Risks of the Installations. Article [Text] / O.K. Nikolskiy, A.F. Kostyukov, N.I. Cherkasova // Polzunovskij Gazette. Barnaul: Academic Press of Altaian State Technical University, 2014. - vol.1. - pp. 140-146.

4. Larichev, O.I. Quality Decision-Making. Verbal Analysis of Decisions [Text] / O.I. Larichev, E.M. Moshkovich. Moscow: Science, Fizmatlit, 1996. - p. 208.

5. Zadeh, L. The Concept of a Linguistic Variable and the Appliance to the Adoption of Approximate Decisions [Text] / L. Zadeh. Moscow : Mir, 1976. - 167 C.

6. Borisov, A.N. Processing of Fuzzy Information in Decision-Making Systems [Text] / A.N. Borisov, A.V. Alexeev, G.V. Merkuriev. – Moscow : Radio and Communications, 1989. - p.304.

7. Yermeev A.P. Methods of Representing of Time Constraints in Intelligent Decision Support Systems [Text] / A.P. Yermeev, V.V. Troitskiy // The RAS News. The Theory and Management Systems. 2003. - No. 5. - pp. 75-88.

8. Kachesova, L.Y. About the Possibility of Using the Temporal Logic in Intelligent Systems to Support Decision-Making on the Management of Technical-Related Hazards of Power Plants [Text] / A. N. Tushev, L.Y. Kachesova // Polzunovskij Almanac. – Barnaul : Academic Press of Altaian State Technical University, 2016. - №2. - pp. 151-153.

9. Nikolskiy, O.K. Using the Temporal Logic Devices for Managing Technology-Related Human-Machine Risks [Text] / O.K. Nikolskiy, A.N. Tushev, L.Y. Kachesova // Accomplishments of Scientists and Technology of APC. Moscow : OOO "Editorship of the Magazine "The Accomplishments of Science and Technology of APC," 2017. - No. 3. -Vol. 31. - pp. 41-45

Nikolskiy Oleg Konstantinovich, DScTech, Professor, Altaian State Technical University of Polzunov I. I. (AltSTU of Polzunov I.I.), Electrification of Manufacturing and Living Conditions Department Chairman, epb-401@mail.ru, +7(3852)29-08-82.

Martko Ekaterina Olegovna, Ph.D. in Engineering Science, AltSTU of I.I. Polzunov, Associate Professor of Electrification of Manufacturing and Living Conditions Department, epb_401@mail.ru, +7(3852)29-08-82.

Mozol Vladimir Ivanovich, AltSTU of I.I. Polzunov, Associate Professor of Electrification of Manufacturing and Living Conditions Department, epb_401@mail.ru, +7(3852)29-08-82.

УДК 621.317.7

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Новоселов М.Л., Гизатуллина О.Л., Барсуков В.К.

Российская Федерация, г. Ижевск, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В статье приводится описание разработанной системы измерения параметров трёхфазной электрической сети. Выделены особенности работы и основные конструктивные параметры аппаратной и программной частей.

Ключевые слова: анализатор качества электрической энергии, несимметрия, нелинейные потребители, трёхфазный годограф

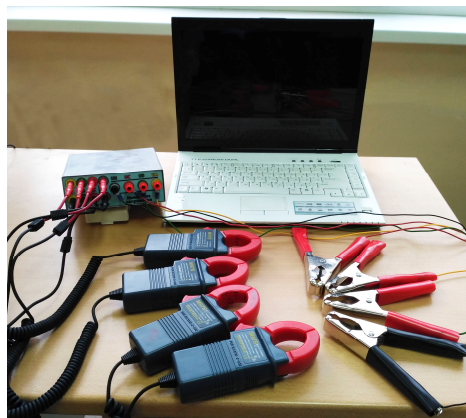


Рисунок 1 – Общий вид системы измерения электропараметров трёхфазной сети

При исследовании электрических сетей с использованием анализаторов качества, представленных на рынке, часто бывает недостаточно данных, полученных методом усреднения мгновенных значений, измеренных через определённый интервал времени. Для получения полной картины характера динамики электрической системы, необходимо производить непрерывную регистрацию мгновенных значений тока и напряжения сети во временном промежутке, не меньшем нескольких периодов синусоиды.

Разработанная система (рис. 1) позволяет собирать данные о состоянии электрической сети в течение требуемого времени (час, день, неделя, месяц, год). Полученные данные позволяют определить наличие несимметрии в фазах, характер тока, потребляемого нагрузкой в виде трёхфазного годографа тока [1], коэффициент

нелинейных искажений, амплитудно и фазо-частотные характеристики тока и напряжения. Эта информация даёт динамическую картину работы электрической сети во времени, используя её, можно перераспределить потребителей таким образом, чтобы уменьшить общую несимметрию нагрузки и влияние нелинейных потребителей электроэнергии на качество питающего напряжения.

Система состоит из аппаратной части: блок преобразования, персональный компьютер и программной части: виртуальный прибор, созданный в графической среде программирования LabVIEW.

На лицевой стороне блока преобразования (рис. 2а) располагаются разъёмы IA, IB, IC, IN для подключения токоизмерительных клещей и разъёмы UA, UB, UC, UN для подключения фазного напряжения с шины питания.



Рисунок 2 - Лицевая (а) и задняя (б) стороны блока преобразования

На задней стороне блока преобразования (рис. 2б) расположен порт для подключения компьютера и селектор переключения диапазонов измеряемого тока. Весь рабочий диапазон устройства разбит на 5 значений: до 3 А, до 16 А, до 30 А, до 160 А и до 300 А.

Работа блока преобразования основана на АЦП NI USB-6009 OEM. Максимальная частота дискретизации при использовании нескольких каналов измерения составляет 42 кГц. В нашем случае используется 7 аналоговых каналов, подключенных по схеме с общим нулём: три канала напряжения и четыре канала тока.

Фазные напряжения подаются в блок преобразования напрямую с шин. Максимальное входное измеряемое напряжение АЦП при подключении с общим нулём составляет ± 10 В. Для того чтобы напряжение на входе в АЦП не превышало требуемое значение в схеме использованы усилители: DA5 - для фазы А, DA6 - для фазы В и DA7- для фазы С (рис. 3). Усилители обеспечивают гальваническую развязку с сетью и уменьшают фазное напряжение до 10 В.

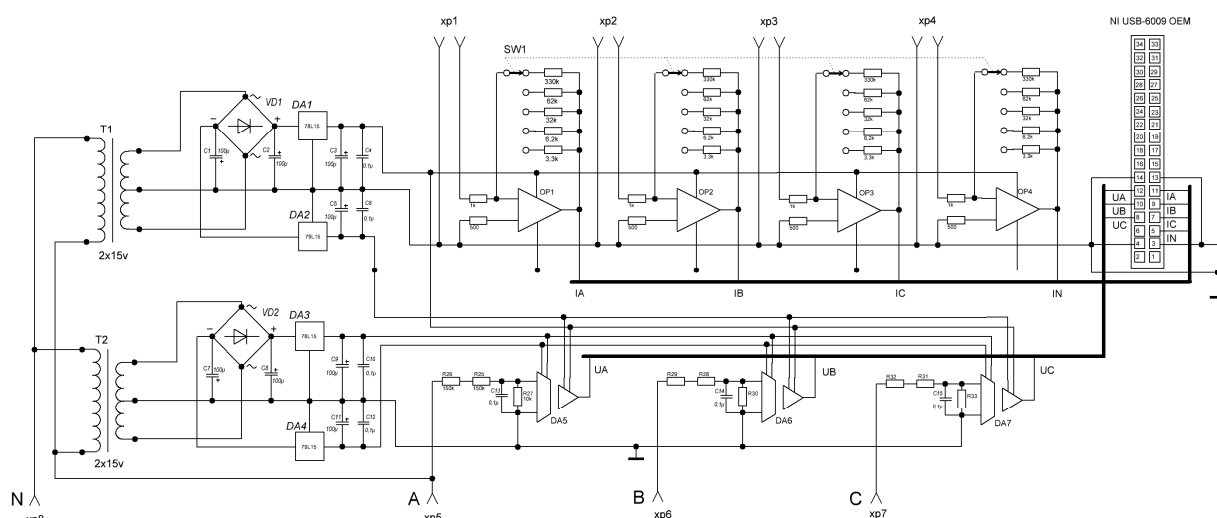


Рисунок 3 – Схема блока преобразования

Фазные токи и ток нейтрали снимаются с помощью токоизмерительных клещей Mastech M97B. Диапазон измерения тока составляет от 0,1 А до 300 А. Выходное напряжение составляет 1 мВ на 0,1 А измеряемого тока. Для уменьшения влияния внутренних шумов устройства и АЦП напряжение с токоизмерительных клещей масштабируется с помощью операционных усилителей OP1-OP4 для фаз А, В, С и нейтрали соответственно. Коэффициент масштабирования выбирается многопозиционным переключателем SW1.

АЦП подключается к компьютеру через USB вход и передаёт измеренные данные. Обработка и визуализация данных производится в среде графического программирования LabVIEW.



Рисунок 4 – Частотные спектры напряжений и токов

На лицевой панели виртуального прибора можно проанализировать форму напряжения и тока в сети трёхфазными годографами напряжения и тока. Частотные спектры напряжений и токов в каждой фазе (рис. 4) позволяют оценить наличие высших гармоник в сети, а частотный спектр тока в нейтральном проводе показывает взаимодействие гармоник прямой, обратной, а самое главное нулевой последовательности. Контроль уровня гармоник нулевой последовательности в нейтральном проводе важен, поскольку они не исключают друг друга, а накапливаются, вызывая рост тока. При бесконтрольном возрастании тока в нейтральном проводнике происходит его нагрев, преждевременное старение, а возможно и полное разрушение проводника, называемое «отгорание нуля».

Список литературы

1. Новосёлов, М.Л. Трёхфазный годограф в электрических сетях с нелинейными потребителями [Текст] / М.Л. Новосёлов, В.К. Барсуков // Фёдоровские чтения – 2015 : XLV Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 11-13 ноября 2015 г.) / под общей ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 308 с.

Новосёлов Михаил Львович аспирант кафедры «Электротехника» ИжГТУ имени М.Т. Калашникова; почт. адр.: г. Ижевск, улица Студенческая, д. 7; e-mail: infinitus@istu.ru; моб. тел. +7905-877-3879.

Гизатуллина Ольга Леонидовна аспирант кафедры «Электротехника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; почт. адр.: г. Ижевск, улица Студенческая, д. 7; e-mail: giz.ol@ya.ru; моб. тел. +7950-173-0972.

Барсуков Владимир Константинович профессор кафедры «Электротехника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; почт. адр.: г. Ижевск, улица Студенческая, д. 7; e-mail: barsukov-v-k@ya.ru; моб. тел. +7912-460-7210.

SYSTEM OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THREE-PHASE ELECTRIC NETWORK

Novoselov M.L., Gizatullina O.L., Barsukov V.K.
Russia, Izhevsk, Kalashnikov ISTU

The article describes the developed system for measuring the parameters of a three-phase electrical network. The features of the work and the main design parameters of the hardware and software are identified.
Keywords: energy quality analyzer, asymmetry, nonlinear consumers, three-phase hodograph

Bibliography

1. Novosolov, M.L. Trjohfaznyj godograf v jelektricheskikh setjah s nelinejnymi potrebiteljami [Text] / M.L. Novosolov, V.K. Barsukov // Fodorovskiye chteniya - 2015: XLV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s elementami nauchnoy shkoly (Moskva, 11-13 noyabrya 2015 g.) / pod obschey red. B.I. Kudrina, YU.V. Matyuninoy. - M. : Izdatel'skiy dom MEI, 2015. - 308 p.

Novoselov Mikhail Lvovich, Post-graduate, Kalashnikov ISTU; Izhevsk, Studencheskaya st., 7; e-mail: infinitus@istu.ru; mob. phone +7905-877-3879.

Gizatullina Olga Leonidovna, Post-graduate, Kalashnikov ISTU; Izhevsk, Studencheskaya st., 7; e-mail: giz.ol@ya.ru; mob. phone +7950-173-0972.

Barsukov Vladimir Konstantinovich, PhD in Engineering; Kalashnikov ISTU; Izhevsk, Studencheskaya st., 7; e-mail: barsukov-v-k@ya.ru; mob. phone +7912-460-7210.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ	7
Горлов А.Н., Филатов Е.А., Бирюлин В.И. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ	7
Голощапов А.А., Глинкин Е.И. ГРАДУИРОВКА СТАНДАРТОВ	9
Мезенцева А.В., Данилин А.В. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЕВ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ	12
Коростелкина И.А., Дедкова Е.Г. УГРОЗЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ФАКТОРЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	16
Никольский О.К., Качесова Л.Ю., Юрченков А.С., Юрченкова И.В. ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	20
Смородина А.А., Воробьев Н.П. МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАТЕНТА № 2556299 СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ.....	23
Калинин А.Ф., Ерёмина Т.В. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	27
СЕКЦИЯ 2. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ.....	30
Глинкин Е.И., Комаристая Л.С. КАЛИБРОВКА ИННОВАЦИЙ	30
Власова Е.В., Глинкин Е.И. ТОЖДЕСТВЕННОСТЬ СТРУКТУР КАЛИБРОВКИ.....	34
Кудрин Б.И. ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИЯ ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ.....	37
Королева Т.Г. СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	41
Мезенцева А.В., Никулин А.А. АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	45
Мезенцева А.В., Шалимов М.С. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	49

Комаристый А.С., Крючков Ю.А.

ФИЛЬТРАЦИЯ НЕКАНОНИЧЕСКИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ 53

Михайленко К.П., Титова Г.Р.

ВЛИЯНИЕ ПУСКОВЫХ ТОКОВ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ НА
ПОСТРОЕНИЕ ЦЕПИ ПИТАНИЯ 55

Воробьев Н.П., Попов А.Н., Кааль Р.В.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНОК ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВЛЭП 110 КВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 58

Воробьев Н.П., Попов А.Н., Кааль Р.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЛЭП 110 КВ С
ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ И ВИДОВ ЕЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ
SCILAB 67

Боярков Д.А.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ РИСКОВ
ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ 74

СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ 77

Судник Л.В., Рудницкий К.Ф., Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ В
ПРОЦЕССЕ РЕЦИКЛИНГА МЕТАЛЛООТХОДОВ 77

Птицын Д.В., Птицына Е.В., Кувалдин А.Б.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ
С ПИТАНИЕМ ТОКОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ 82

Бирюкова А.С., Титова Г.Р.

ВЫРАВНИВАНИЕ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ
ПОМОЩИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА 86

Качанов А.Н., Гладышев А.В.

К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ ПРИМЫКАЮЩИХ ИНДУКТОРОВ НА
УСТАНОВКАХ ОЦИНКОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ELCUT 89

Лепешкин С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ПРИ ВРАЩЕНИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 93

Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А., Лепешкин А.Р., Голиков В.А.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК
ТУРБИН ПРИ ВЧ НАГРЕВЕ 96

Кондрашов В.П., Лыков А.Г., Погребиский М.Я., Булгаков, А.С.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСПЛАВОВ 98

Мигалёв И. Е., Титов Е.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ЗАМЕРОВ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ 103

Кувалдин А.Б., Федин М.А., Генералов И.М., Кислов А.П. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	106
Федин М. А., Кувалдин А. Б., Кулешов А. О., Ахметьянов С.В. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ПРОВОДЯЩИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ ТИГЛЕМ С УЧЕТОМ ДВУХСЛОЙНОСТИ ЗАГРУЗКИ	109
Халин М.В., Востриков Е.И., Дорош А.Б., Сологубов А.В., Часовщиков Д.Г. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ЭКОНОМИКИ.....	112
Макаров А.Н. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО ОБЪЕМА В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ	116
Макаров А.Н., Асина О.А., Соколова Ю.М. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ	120
Макаров А.Н. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИОНИЗИРОВАННЫХ И НЕИОНИЗИРОВАННЫХ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ И ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ.....	123
Качанов А.Н., Ховрин О.И., Селиверстова О.С. МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ШПОНА	128
Качанов А.Н., Герасименко Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СИСТЕМЕ «ИНДУКТОР – ПЛОСКАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ЗАГРУЗКА»	130
СЕКЦИЯ №4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ.....	134
Загрядцкий В.И., Алехин В.С., Миронов Е.А., Шведов С.А. МОДЕЛЬ ПОГРУЖНОЙ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	134
Степанова Е.Ю., Бурнашов М.А., Степанов Ю.С. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАКОСМИЧЕСКОМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ.....	137
Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядунов И.М. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫМ ЛОКАЛЬНЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ	142
Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В., Кручинина И.Ю. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СРЕДСТВАМИ РЕАКТИВНОГО РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	151

СЕКЦИЯ №5. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	155
Сошников А.А., Компанеев Б.С., Каменев А.О. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	155
Ревякин М.М., Жосан А.А., Головин С.И. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК АСПЕКТ СТРАТЕГИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	158
Крысанов В.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЛИНИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ И ЭКСТРУЗИИ.....	162
Халина Т.М., Стальная М.И., Еремочкин С.Ю., Титова А.А., Королёв Д.А. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	167
Дробязко О.Н. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ.....	172
СЕКЦИЯ №6. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	175
Васильева М.В., Алимов С.А. ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ КАК СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ	176
Попова Л.В., Дудина К.Э. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	181
Маслова И.А., Алимова М.С. ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	184
Коростелкин М.М. ФИНАНСОВЫЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	188
Варакса Н.Г., Рождественская Е.С. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	191
Маслов Б.Г., Бондарева А.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЛИНГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	194

СЕКЦИЯ №7. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ	197
Одиноква А.А., Глинкин Е.И. КАЛИБРОВКА ПРОЦЕССА СВЁРТЫВАНИЯ КРОВИ.....	197
Рухлова Е.А., Глинкин Е.И. КАЛИБРОВКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПЕДАНСА БИООБЪЕКТА	201
Швырева К.Е., Суслова Ю.В., Глинкин Е.И. ОЦЕНКА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ	204
Коробов А.А., Глинкин Е.И. МЕТОД ТОЖДЕСТВЕННОСТИ ЭКВИВАЛЕНТАМ ПРИ СТАНДАРТНОМ И ПРЕЦИЗИОННОМ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ.....	207
Титушкин Д.А, Матюхин С.И., Сурма А.М., Ставцев А.В. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, СВЯЗАННЫЕ С ПОВЫШЕНИЕМ НАДЁЖНОСТИ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ.....	210
Платёнкин А.В., Чернышов В.Н. СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ.....	213
Образцов Д.В., Чернышов В.Н. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	217
Барсуков В.К., Фокеев А.Е., Сибгатуллин Б.И. КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТАНТАЛОВОГО КОНДЕНСАТОРА НА ХАРАКТЕР ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАРЯДЕ В ЦЕПИ С МАЛЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.....	220
Бабашкина А.П., Савинова К.С., Глинкин Е.И. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА.....	224
Абуладзе О.К., Сергеева Ю.Б., Глинкин Е.И. МОНИТОРИНГ ГЛЮКОЗЫ ПО ТЕРМОГРАММЕ.....	227
Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Голиков В.А., Назаров В.В. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД С УЧЕТОМ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ	230
Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Санаев Ю.И. ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	233
Матюхин С.И., Писарев А.А., Ставцев А.В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ.....	237

СЕКЦИЯ №8. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	240
Гамова Л.Г., Глинкин Е.И. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КАЛИБРОВКИ	241
Глинкин М.Е., Глинкин Е.И. ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ.....	245
Блюмин С.Л., Галкин А.В., Сараев П.В., Сысоев А.С. ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭКВИВАЛЕНТНОЕ РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.....	249
Морозов А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	253
Комаристый А.С., Чаленко В.В. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА СПК107	258
Никольский О.К., Мартко Е.О., Мозоль В.И. НЕЧЕТКО-ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ.....	261
Новоселов М.Л., Гизатуллина О.Л., Барсуков В.К. СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	268

Научное издание

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**МАТЕРИАЛЫ XV МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ИНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦИИ**

15 марта – 30 июня 2017 г., г. Орёл

Материалы конференции печатаются в авторской редакции

Компьютерная верстка и оригинал-макет Коренков Д.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95, <http://oreluniver.ru>

Электронный адрес размещения:
<http://oreluniver.ru/science/confs/2017/ee/publ>

Подписано в печать «___» _____ 2017 Формат 60x84 1/8
Печать ризография. Бумага офсетная. Гарнитура Times
_____ Усл. печ. л. Тираж _____ экз. Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65