

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Орловский региональный центр энергосбережения



ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

15 март – 30 июня 2016 г., г. Орёл

ENERGY AND RESOURCES SAVING XXI CENTURY

15th March – 30th June 2016, Oryol

Орёл 2016

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 ВПО «АлтГТУ им. И.И. ПОЛЗУНОВА» (г. Барнаул)
ГУ «ОРЛОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»
АО «ОРЕЛОБЛЭНЕРГО»
ЗАО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» (г. Орёл)
ФИЛИАЛ ОАО «МРСК ЦЕНТРА» – «ОРЕЛЭНЕРГО»
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ОРЕЛНАНО»
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**Материалы XII международной
научно-практической интернет-конференции
15 марта – 30 июня 2016 г., г. Орёл**

Орёл

ОГУ имени И.С. Тургенева

2016

УДК 620.92 (063)
ББК 31.15Я 431
Э65

Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2016 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, 2016. – 282 с.

ISBN 978-5-9708-0570-1

В сборник материалов XIV 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/2016/ee/publ>) с 15 марта по 30 июня 2016 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. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
5. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
6. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
7. 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 978-5-9708-0570-1

© ОГУ им. И.С. Тургенева, 2016
© ГУ «ОрёлРЦЭ», 2016
© Коллектив авторов, 2016

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-р. техн. наук, 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 - заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН РФ, главный ученый секретарь АЭН РФ.
5. Клименко Сергей Анатольевич - д-р техн. наук, 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-р техн. наук, профессор, член-корр. РАН, зав. кафедрой «Физико-химические процессы и технологии», директор НОЦ «Нанотехнологии» ТулГТУ.
7. Степанов Юрий Сергеевич – зам. председателя программного комитета, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, лауреат премий Президента и Правительства РФ, директор НОЦ нанотехнологий ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
8. Хейфиц Михаил Львович - д-р техн. наук, профессор, заместитель академика – секретаря Отделения физико-технических наук Национальной академии наук Белоруссии.
9. Иноземцев Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Автоматизированные станочные системы» ФГБОУ ВО ТулГТУ, г. Тула.
10. Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., президент Energy Saving International AS
11. Jiří Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universitat Plzeň, Elek-trotechnische Fakultät
12. Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
13. Andrzej Buchacz (Польша), Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
14. Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
15. Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
16. Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universitat Ilmenau, Fachgebiet Elektrotermische Energiewandlung.
17. Коренков Дмитрий Андреевич - технический секретарь программного комитета, аспирант каф. ЭиЭ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Пилипенко Ольга Васильевна – председатель оргкомитета, д-р техн. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
2. Вакулко Анатолий Георгиевич – канд. техн. наук, доцент, лауреат Государственной премии РФ, директор НТИЦ ЭТТ, Национальный исследовательский университет «МЭИ».
3. Гамазин Станислав Иванович – д-р техн. наук, профессор каф. «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
4. Голенков Вячеслав Александрович – д-р техн. наук, профессор, лауреат Государственных премий РФ, президент ФГБОУ ВО «ПГУ», директор ГУ «Орловский региональный центр энергосбережения».
5. Зенютич Евгений Аркадьевич – канд. техн. наук, доцент, лауреат Премии Правительства РФ, директор НИИ энергоэффективных технологий ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».
6. Качанов Александр Николаевич - зам. председателя организационного комитета, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН РФ, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».
7. Кувалдин Александр Борисович – заслуженный деятель науки РФ, академик АЭН РФ, д-р техн. наук, профессор каф. АЭТУС ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
8. Никольский Олег Константинович – заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрификация производства и быта» ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. Ползунова И.И.», г. Барнаул.
9. Семенов Александр Юрьевич, генеральный директор ЗАО «Протон-Электротекс», г. Орёл.
10. Радченко Сергей Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, и.о. проректора по научной работе ФГБОУ ВО «ПГУ», г. Орёл.
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».

PROGRAMMAUSSCHUB

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 Wasilijewitsch - 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, Direktor des Wissenschafts- und Ausbildungszentrums für Nanotechnologien (FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“)
8. Hejphitz Michail Lwowitsch - Dr-Ing., Prof., stellvertretender Akademiemitglied und Sekretär der Abteilung für physikalisch-technische Wissenschaften der Nationalwissenschaftsakademie Weißrußlands
9. Inosemzew Alexander Nikolajewitsch - Dr-Ing., Prof., Leiter des Lehrstuhls für Automatische Werkzeugmaschinensysteme an der Tulaer Staatlichen Technischen Universität
10. Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., President Energy Saving International AS
11. Jiří Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universität Plzeň, Elektrotechnische Fakultät
12. Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
13. Andrzej Buchacz (Польша), Doc. Sc., Eng. Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
14. Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
15. Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
16. Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektrothermische Energiewandlung.
17. Korenkow Dmitrij Andrejewitsch - technischer Sekretär des Programmausschusses, Aspirant des Lehrstuhls für die Elektroausrüstung und Energieaufbewahrung an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“

ORGANISATIONSAUSSCHUB

1. Pilipenko Olga Wasilijewna - Vorsitzende des Organisationsausschusses, Dr.-Ing., Prof., amtierende Rektorin der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“
2. Wakulko Anatolij Georgiewitsch – Kandidat der technischen Wissenschaften, Dozent, Staatspreisträger der RF, Direktor des NTIZ ETT, FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
3. Gamasin Stanislaw Iwanowitsch - Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls für Stromversorgung der Industriebetriebe der FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
4. Golenkow Wjatscheslaw Alexandrowitsch - Dr.-Ing., Prof., Staatspreisträger der RF, Präsident der FGBOU WO „Oka Staatliche Universität“ (Orjol), Direktor der staatlichen Institution (SI) „Orjoler Energieaufbewahrungszentrum“
5. 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“
6. 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 Turgenjew“
7. Kuwaldin Alexander Borisowitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Akademiemitglied der AEW RF, Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls „AETUS“ an der FGBOU WO Nationale Forschungsuniversität „MEI“
8. 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 Polzunow“ (Barnaul)
9. Semenov Alexander Juriewitsch – Hauptgeschäftsführer der AG „Proton-Elektroteks“, Orjol
10. Radschenko Sergej Jurijewitsch - Dr.-Ing., Prof., amtierender Prorektor für wissenschaftliche Arbeit an der FGBOU WO „Orjoler Staatliche Universität namens Turgenjew“
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 Turgenjew“

PROGRAM COMMITTEE

1. Filatov Sergey Nikolaevich – Chairman of the Program Committee, Vice-Chairman of Orel Government, Head of Department for Economic Development and Investment Activity in Orel Region
2. Demidovich Victor Boleslavovich - Ph.D., Professor of the Department for Electro technology 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, Ph.D., Professor, Member of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, Chief Scientific Secretary of the AEES RF
5. Klimenko Sergey Anatolievich - Ph.D., 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, Ph.D., Professor, Corresponding Member of the RAS, Head of the Department for Physicochemical processes and technologies, Director of the Research Education Center “Nanotechnologies”, FGBOU WO “Tula State Technical University”
7. Stepanov Yury Sergeevich - Deputy-Chairman of the Program Committee, Honored Master of Sciences of Russia, Ph.D., Professor, State Prize Laureate, Director of the Research Education Center “Nanotechnologies”, FGBOU WO “Orel State University n.a. I.S.Turgenev”
8. Kheyphits Mikhail Lvovich - Ph.D., Professor, Deputy Secretary of the Scientific Branch Department for Physic technical Sciences, National Academy of Sciences, Belorussia
9. Inosemtsev Alexander Nikolayevich - Ph.D., Professor, Head of the Department for Automated Machinery, FGBOU WO “Tula State Technical University”
10. Dahlsveen Trond (Norway) - M.Sc. President of Energy Saving International AS
11. Jiri Kozeny (Czech Republic) - Ph.D., Prof. Westboemische University Plzen, Faculty of Electrical Engineering
12. Li Qingling (China) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
13. Andrzej Buchacz (Poland), Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
14. Pahl Manfred H. (Germany) - Prof, Dr., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process
15. Sawicki Antoni (Poland) - Prof., Dr., Politechnika Czestochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
16. Schulze Dietmar (Germany) - Prof, Ph.D., habil., Technische Universitaet Ilmenau, Fachgebiet Elektrowaerme
17. 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.Turgenev”

ORGANIZING COMMITTEE

1. Pilipenko Olga Vasilievna - Chairman of the Organizing Committee, Doctor of Technical Science, Professor, acting rector of the FGBOU WO “Orel State University n.a. I.S.Turgenev”
2. Vakulko Anatoly Georgievich - Can.Sc, Assistant Professor, State Prize Laureate, Director of NTIZ ETT, National Research University “MEI” (Moscow Power Institute)
3. Gamazin Stanislav Ivanovich - Ph.D., Professor of the Department for Energy supply of Factory Enterprises, National Research University “MEI” (Moscow Power Institute)
4. Golenkov Vyacheslav Alexandrovich - Ph.D., Professor, State Prize Laureate in science and engineering of RF, President of the FGBOU WO “Oka State University” (Orel), Director of SI “Orel Regional Energy Saving Center”
5. Zenyutich Yevgeniy Arkadievich - Can. Sc, 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”
6. Kachanov Alexander Nikolayevich - Vice-Chairman of the Organizing Committee, Ph.D., Professor, Academician of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, Head of the Department for Energy Equipment and Energy Saving, FGBOU WO “Orel State University n.a. I.S.Turgenev”
7. Kuvaldin Alexander Borisovich - Honored Master of Sciences of Russia, Ph.D., Professor, Academician of the Academy of Electrical Engineering Sciences RF, National Research University “MEI” (Moscow Power Institute)
8. Nikolski Oleg Konstantinovich – Honored Master of Sciences of Russia, Ph.D., Professor, Head of the Department for Factory and Household Electrification, FGBOU WO “Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov”
9. Semyonov Alexander Yurievich – General Manager JSC „Proton-Elektroteks“, Orel
10. Radchenko Sergey Yurjevitch - Ph.D., Professor, acting pro-rector for research, FGBOU WO “Orel State University n.a. I.S.Turgenev”
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.Turgenev”

НАУЧНЫЕ 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. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
5. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
6. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
7. Интеллектуальные технологии и автоматизированные системы управления в задачах повышения энергоэффективности.

FORSCHUNGSRICHTUNGEN

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

SCIENTIFIC LINES

1. Problems in energy- and resource saving and safety operation of house buildings, constructions and city area.
2. Energy effectiveness of power supply systems and lines of their development.
3. Energy saving electro-technological processes 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 management systems – effective energy and resource saving facilities.

СЕКЦИЯ №1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ 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 627.1.03

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Музалевская Г.Н., Музалевский А.А.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

На основе совмещения модели возмущённого состояния и теории вероятности, разработаны основы модели оперативного управления функционированием городских систем водоснабжения.

Эффективность данного подхода обусловлена возможностью приоритетного учета на муниципальном уровне интересов групп потребителей. Особенности использования программного обеспечения и его адаптации к современным стандартам проектирования систем водоснабжения.

Ключевые слова: математическое моделирование, гидравлические системы, оперативное управление, режим потребления, систем водоснабжения, управляемые дроссели.

Улучшение обеспечения населения питьевой водой высокого качества и рациональное использование водных ресурсов - приоритетные задачи жилищно-коммунальной реформы. Для решения этих задач необходима разработка и реализация мер, обеспечивающих повышение эффективности и надежности работы систем водоснабжения, совершенствование систем подачи и распределения воды, развитие нормативно-правовой базы и хозяйственного механизма водопользования, стимулирующего экономию питьевой воды. Рациональное моделирование относится к энергоэффективным мероприятиям распределения воды с учетом энергетических, экономических и экологических аспектов.

Для контроля за водопотреблением большое значение имеет правильный учет воды, выполняемый с помощью средств измерений, которые должны применяться на всех стадиях подачи и реализации воды. Для сокращения и устранения непроизводительных затрат и потерь воды необходимо произвести анализ структуры, определить величины потерь воды в системах коммунального водоснабжения, отдельно оценить объемы полезного водопотребления, допустимую и неустраняемую величину потерь воды.

Рассматривая гидравлические процессы движения жидкости в напорных трубопроводах, течение принимается изотермическим, жидкость несжимаемой, что необходимо при решении задач потокораспределения, охватывающих множество потребителей в хозяйственно-питьевом водоснабжении для жилых, общественных, производственных и сельскохозяйственных предприятий, а также на нужды промышленных предприятий и нужды пожаротушения. Уравнение Бернулли: сумма удельной энергии положения, удельной энергии давления и кинетической удельной энергии есть величина постоянная во всех сечениях потока жидкости. Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения механической энергии при движении идеальной жидкости. Полная удельная энергия, т.е энергия, равная сумме энергий положения, давления и кинетической, отнесенной к массе, есть величина постоянная в любой точке сечения трубопровода.

Если вместо идеальной жидкости рассматривать жидкость реальную, то при перемещении жидкости по трубопроводу ее удельная энергия будет убывать, так как часть её

затрачивается на преодоление сопротивления движению, обусловленного внутренним трением и вязкостью жидкости. Повышение качества строительства в современных социально экономических условиях связано с поиском принципиально новых подходов при осуществлении проектно-строительной деятельности, внедрением новых экономических и ресурсосберегающих инженерных систем, новых технологий производства строительных материалов.

Структурная перестройка производственной базы жилищного строительства ориентирована на внедрение новых эффективных технологий в системах жизнеобеспечения городов, как в процессе производства, так и в период эксплуатации этих систем. Совершенно ясно и понятно, что повысить привлекательность территорий для реализации инвестиционных проектов жилищно-гражданского строительства поможет заблаговременно опережающая инженерная подготовка сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения, газоснабжения, электроснабжения, связи, освещения, санитарной очистки.

Под системой водоснабжения подразумевают комплекс инженерных сооружений и установок, необходимых по техническим условиям, взаимосвязанных и предназначенных для забора воды, подъема и создания требуемого напора, очистки и подготовки, хранения и транспортировки к месту потребления. Система водоснабжения состоит из следующих основных элементов: водозаборных сооружений, насосных станций первого, второго, третьего подъема, станций подкачки, водонапорных башен или гидропневматических устройств, резервуаров чистой воды, водоводов, магистральных и разводящих сетей, охлаждающих устройств, трубопроводов с арматурой и КиП.

Выбор схемы и системы водоснабжения следует производить на основании сопоставления возможных вариантов ее осуществления с учетом особенностей объекта или группы объектов, требуемых расходов воды на различных этапах их развития, источников водоснабжения, требований к напорам, качеству воды и обеспеченности ее подачи.

При создании математической модели гидравлических систем жизнеобеспечения городов возникает проблема учета действий большого количества факторов и необходимости получения надежного результата, при этом неизбежны структурные и качественные преобразования. Вода потребителям должна подаваться в требуемом количестве и под требуемым напором. Полный напор H – это удельная механическая энергия, которой обладает жидкость в данном сечении потока относительно некоторой плоскости сравнения.

При движении реальной жидкости в трубопроводах имеют место потери её механической энергии. Эти потери энергии связаны с наличием трения и местных сопротивлений по длине потока жидкости. К местным сопротивлениям относятся колена, тройники, задвижки, вентили и т. д.

В общем случае потерю напора на любом участке трубопровода можно представить следующим образом:

$$h = h_l + \sum h_m, \quad (1)$$

где h_l – потеря напора на трение, м; $\sum h_m$ – сумма местных потерь напора на участке, м.

В инженерных расчетах $\sum h_m = 0$, так как обычно $h_l \gg \sum h_m$.

Для облегчения и ускорения процесса расчета потерь напора в трубах используются табл. [3].

Для расчета потерь напора на участках кольцевой сети при ее внутренней гидравлической увязке пользуются формулой:

$$h_{i,k} = S_{o,i,k} \cdot l_{i,k} \cdot \sigma \cdot q_{i,k}^2 = S_{i,k} \cdot \sigma \cdot q_{i,k}^2, \quad (2)$$

где $S_{o,i,k}$ – удельное сопротивление (гидравлическое) участка сети, $\text{с}^2/\text{м}^6$ (принимается по табл. [3]); $S_{i,k}$ – полное гидравлическое сопротивление участка сети, $\text{с}^2/\text{м}^6$;

$$S_{i,k} = S_{o,i,k} \cdot l_{i,k}, \quad (3)$$

σ – поправочный коэффициент на поквadraticность зависимости потерь напора от скорости, принимается по табл. [3].

Как известно, при действительном распределении воды по участкам сети одновременно соблюдаются первый и второй законы Кирхгофа.

Первый – это уравнение баланса расходов воды в узлах сети.

Второй – это уравнение баланса потерь напора в элементарных кольцах сети:

$$\sum h_{i.k} = \sum S_{i.k} \cdot \sigma \cdot q_{i.k}^2 = 0, \quad (4)$$

где $\sum S_{i.k} \cdot \sigma \cdot q_{i.k}^2$ то же что в формуле (2).

При проведении начального потокораспределения первый закон Кирхгофа соблюдается, так как он лежит в основе первичного распределения воды по участкам магистральной сети. Но практически не возможно сразу назначить такие значения расходов воды по участкам сети, при которых бы соблюдалось уравнение (2).

По этому задачей внутренней увязки сети водоснабжения является такое перераспределение расходов воды по участкам сети, при котором расходы воды по участкам одновременно удовлетворялись оба уравнения Кирхгофа.

Характер структурных преобразований зависит от выбранного метода моделирования. Практически при производстве любого вида продукции расходуются энергоресурсы, и для каждого из видов продукции существует соответствующая энергоемкость технологических процессов их производства. Информационные технологии открывают новые возможности при решении вопросов энергосбережения, связанные, прежде всего с использованием современной компьютерной техники и средств сбора и передачи данных. Внедрение программ и программных комплексов для предприятий водоканала городов убедительно показывают, что энергосберегающим эффектом обладает компьютеризация расчетов с потребителями воды и электроэнергии. В значительной степени это связано с дисциплинирующим фактором, сопровождающим взаимоотношения поставщика и потребителя, возникающим в процессе компьютеризации учета.

В настоящее время известно много способов стабилизации режимов водопотребления в условиях интенсивной коррозии водопроводов, например управляемые дроссели или регулирование переключения насосов, то есть изменения при применении частотно регулируемого электропривода (ЧРП) для более точного расчета регулирования режимов работы насосов, статических и динамических напоров сети, расходов воды в разрезе суток, сезонов и года. Одним общим недостатком этих способов является стабилизация режимов водопотребления за счет увеличения мощности насосных станций и перерасхода электроэнергии.

В сложном объекте надежность характеризует не его безотказность, а стабильность значений выходных параметров во времени, эффективность функционирования. В этом заключается принципиальная разница между сложным и простым объектом.

Известно, что под эффективностью понимается получение нужных результатов, действенность работы. Эффективность водоснабжения оценивается степенью обеспеченности потребителей водой в необходимом количестве и качестве под требуемым напором. Она тесно связана с надежностью и часто используется для оценки сложных систем. При понижении уровня качества функционирования снижается эффективность систем водоснабжения, при повышении - увеличивается.

Система водоснабжения обслуживает обширную территорию, содержит значительное количество взаимодействующих сооружений, обладает всеми свойствами сложной технической системы и их надежность должна характеризоваться и определяться показателями и методами, которые ей свойственны.

Различают системы *нерезервированные* и *резервированные*. Нерезервированная система может находиться в работоспособном состоянии только при одновременной исправности всех ее элементов и их совместной работе. Отказ любого из элементов вызывает отказ всей системы.

Вероятность безотказной работы нерезервированной системы определяется по формуле:

$$P_n = \prod_{i=1}^n p_i \quad (5)$$

где P_n - вероятность безотказной работы всей системы из n элементов; p_i - вероятность безотказной работы i -го элемента.

Для поднотипных элементов:

$$P_n = p_i^n \quad (6)$$

Вероятность отказа нерезервированной системы:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n p_i \quad (7)$$

Различают элементы *основные* и *резервные*. Основной элемент необходим для выполнения объектом требуемых функций при отсутствии отказов его элементов. Резервный элемент предназначен для выполнения функции основного элемента в случае отказа последнего. Примеры резервных элементов: установка резервных насосных агрегатов на насосных станциях, устройство резервных скважин на водозаборах подземных вод и т.д.

Для характеристики резервирования применяется такое понятие как *кратность резервирования*: отношение числа резервных агрегатов к числу резервируемых (основных).

Кратность резервирования может быть целой и дробной. При резервировании с целой кратностью m есть целое число, с дробной m есть дробное не сокращаемое число. Например, $m = 4/2$ означает наличие четырех резервных агрегатов и двух рабочих. При сокращении $m=2$ означает, что резервирование уже является целой кратностью, при которой число резервных элементов равно двум, а общее число элементов равно трем. Основные виды резервирования приведены в ГОСТ 27.002-83: структурное резервирование, временное резервирование, динамичное резервирование, скользящее резервирование и дублирование.

Мгновенные показатели, однако, не позволяют оценить время нахождения объекта в отдельных совокупностях (подмножествах) состояний и стабильность функционирования системы. Для этого необходимо воспользоваться интегральными показателями надежности. Поскольку формирование математических моделей потокораспределения в гидравлических системах связано с решением вариационной задачи, необходим рациональный выбор формы вариационного принципа, как известно, можно разделить на две группы: дифференциальные и интегральные.[1, 2, 3, 4]. Присоздание математической модели гидравлических систем жизнеобеспечения городов возникает проблема учета действий большого количества факторов, при этом неизбежны структурные и качественные преобразования. Характер структурных преобразований зависит от выбранного метода моделирования, но в целом сводится к переходу от бесконечных к конечным структурным графам, дающим возможность организовывать рациональную модель в условиях ограниченных ресурсов вычислительной техники.

К дифференциальным относятся принципы: виртуальных перемещений И. Бернулли, сил инерции Д'Аламбера, наименьшего принуждения К.Гаусса и др. Отличительная особенность дифференциальных принципов состоит в том, что в качестве характерного признака действительного движения вводится такое его свойство, которое имеет значение для одного единственного момента (промежутка) времени. Их недостатком является необходимость использования специальных координат точек рассматриваемой материальной системы, причем относительно сложной.

Интегральные принципы Ж.Лагранжа, У.Гамильтона, Г.Гельмгольца свободны от этого недостатка, так как могут быть, выражены безотносительно к каким-либо специальным координатам в их формулировке играют роль только энергия и время.

Оперативное управление гидравлическими системами, транспортирующими воду, осуществляется АСУ ТП в соответствии с общими положениями по проектированию

и строительству систем водоснабжения. Проведение вычислительных экспериментов в области гидравлических систем основывается на применении математического моделирования, которое в настоящее время приобрело большое распространение благодаря бурному прогрессу вычислительной техники и программ. Таким образом, модель возмущенного состояния гидравлических систем охватывающая большинство важных случаев, может быть решена как в теоретических, так и в практических задачах. Одной из сравнительно новых задач анализа возмущенного состояния является потокораспределение в результате коррозионного зарастания поверхности металлических водопроводных труб. Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации систем водоснабжения показывает о значительном возрастании гидравлического сопротивления с течением времени и снижении пропускной способности. Математическое моделирование включает ряд последовательно протекающих этапов, основными из которых являются:

- 1) инженерная постановка задачи с определением целей исследования;
- 2) формирование математической модели на основе известных фундаментальных законов сохранения физических величин;
- 3) разработка алгоритма и компьютерной программы его реализации;
- 4) проведение вычислительного эксперимента;
- 5) анализ результатов моделирования и проверка адекватности математической модели, и корректировка при необходимости.

Список литературы

1. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение [Текст] / Н.Н. Абрамов; - М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. Богуславский, Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирование воздуха [Текст] /Л. Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; Под ред. Л.Д. Богуславского, В.И. Ливчака. - М.:Стройиздат, 1990. – 624 с.
3. Музалевская, Г.Н. Инженерные сети городов и населенных пунктов [Текст] / Г.Н. Музалевская -М.: АСВ, 2006. - 148 с.
4. Панов, М.Я. Моделирование, оптимизация и управление системами подачи и распределения воды [Текст]: Монография / М.Я. Панов, А.С. Левадный, В.И. Щербаков и др.; Под общ. Ред. М.Я. Панова; - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2005.- 489 с.

Музалевская Галина Николаевна - ОГУ имени И.С. Тургенева, доцент кафедры «ГСиХ».

Музалевский Александр Александрович - ОГУ имени И.С. Тургенева, студент АСИ тел. (4862)77-84-19; e-mail: myz99@mail.ru, тел. 89102665337

ENERGY SAVINGS THROUGH THE USE OF RATIONAL CHOICE MODELING STATE FOR HYDRAULIC SUPPORT SYSTEMS

Muzalevskaya G.N., Muzalevskij A.A.
Russia, g. Orel,

FBGOU VO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva»

On the basis of overlapping model of the indignant condition and a probability theory, bases of model of operative management by functioning of city system water supply are developed.

Efficiency of the given approach is caused by an opportunity of the priority account at a municipal level of interests of individual consumers a target product. Features of use of the software and its adaptation to current standards of design of water supply systems.

Key words: mathematical model, hydraulic system, operative managing, system water supply are developed, controlled throttles.

Bibliography

1. Abramov, N.N. Vodosnabzhenie [Tekst] / N. N. Abramov; - M.: Strojizdat, 1982. – 440 p.

2. Boguslavskij, L.D. EHnergoberezhenie v sistemah teplosnabzheniya, ventilyacii i kondicionirovanie vozduha [Tekst] / L. D. Boguslavskij, V.I. Livchak, V.P. Titov i dr.; Pod red. L.D. Boguslavskogo, V.I. Livchaka. - M.: Strojizdat, 1990. – 624 p.

3. Muzalevskaya, G.N. Inzhenernye seti gorodov i naselennyh punktov [Tekst] / G.N. Muzalev-skaya -M.: ASV, 2006. - 148 p.

4. Panov, M.YA. Modelirovanie, optimizaciya i upravlenie sistemami podachi i raspredeleniya vody [Tekst]: Monografiya / M.YA. Panov, A.S. Levadnyj, V.I. SHCHerbakov i dr.; Pod obshch.Red. M.YA. Panova; - Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij univer-sitet, 2005.- 489 p.

Muzalevskaya Galina Nikolaevna, OGU imeni I.S. Turgeneva, docent of department «GSiH».

Muzalevskij Aleksandr Aleksandrovich, OGU imeni I.S. Turgeneva, student ASI; tel. (4862)77-84-19; e-mail: myz99@mail.ru, tel. 89102665337

УДК 537.8:631.17

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Боярков Д.А., Богатырев А.И., Овечкина Ю.А.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

В статье рассмотрены возможные сценарии возникновения опасных техногенных ситуаций, показана структура ущерба, а также что представляет собой его интегральная оценка.

Ключевые слова: риск, ущерб, интегральная оценка, опасная техногенная ситуация.

Известно [1], что математическое описание риска R содержит два четко выраженных компонента:

– частоту (вероятность) P Рождаемого опасного события (например: аварии, электротравмы, пожара), которое выражается числом этих событий в единицу времени;

– последствие (потери, ущерб) Y , являющиеся мерой опасности нежелательного события. Последствие может быть выражено различными способами, в зависимости от анализа риска. В частном случае, когда последствие известно и измеряется по типу «Да / Нет», «Происходит/Не происходит» (например, жизнь / смерть), тогда риск R становится функцией одной переменной, а именно вероятности P опасного события $R = f(P)$.

Однако в общем случае для количественной оценки риска следует рассматривать различные сочетания показателей P и Y . Здесь возможно выделить четыре сценария.

Первый сценарий. Вероятность опасной ситуации весьма большая, но ущерб, связанный с ней, практически равен нулю (или бесконечно мал). Отсюда следует, что защищаемый объект не подвергается опасности (риск равен нулю).

Второй сценарий. Ущерб от возможной опасности велик, но вероятность ее возникновения близка к нулю. Следовательно, опасность отсутствует (риск равен нулю).

Третий сценарий. Вероятность возникновения опасности и ущерб от нее равны нулю. Сценарий характеризуется как достоверное отсутствие опасности (абсолютная безопасность).

Четвертый сценарий. Вероятность опасности и ущерб от нее принимают конечные значения. Сценарий оценивается как опасный, характеризуемый соответствующим риском.

Таким образом, риск как мера для количественного измерения опасности может быть выражен в виде некоторой векторной величины, компонентами которой являются потери (ущербы) различного типа (экономические, социальные, экологические) от воздействия той или иной опасной ситуации и вероятности возникновения этой ситуации.

При рассмотрении социальных, экономических и экологических аспектов последствий опасных техногенных ситуаций (ОТС) используются понятия прямого, косвенного и полного ущерба (таблица 1).

Под прямым ущербом обычно понимают потери и убытки, складывающиеся из невозвратных потерь основных фондов и оцененных природных ресурсов, убытков,

вызванных этими потерями, а также затраты, связанные с ликвидацией ОТС. В состав затрат на ликвидацию ОТС включаются затраты на медицинское обслуживание, комплекс эвакуационных мероприятий, компенсационные выплаты на строительство нового жилья эвакуированным и т.д.

Косвенный ущерб включает потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты инфраструктуры городов и населенных пунктов (в т.ч. промышленные и объекты различного назначения), не попавшие в зону прямого действия и вызванные в первую очередь нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей. К косвенному ущербу можно отнести и плохо поддающиеся стоимостной оценке отрицательные социальные факторы, например падение производительности труда работников, вызванное их угнетенным психическим состоянием или отсутствием мотивации.

Прямой и косвенный ущерб в совокупности образуют полный ущерб.

Все виды прямого ущерба делятся на три основные группы: экономические, социальные, экологические.

Прямой экономический ущерб связан непосредственно с повреждением или утратой основных и оборотных фондов, а также включает затраты на ликвидацию ОТС. Этот вид ущерба, как правило, представляется в денежном выражении. Прямой социальный ущерб, связанный с воздействием на население и среду его обитания, включает гибель людей, потерю здоровья, ухудшение условий жизни.

Таблица 1 - Структура ущерба от ОТС

Полный ущерб	Прямой ущерб	Экономический	Ущерб в сфере производства и инфраструктуры городов и населенных пунктов
			Материальные потери населения
			Затраты на ликвидацию ОТС
		Социальный	Людские потери
			Изменение (ухудшение) условий жизни
		Экологический	Ущерб окружающей среде: атмосфере, растительному и животному миру, почве
	Косвенный ущерб	Экономический	Ухудшение показателей эффективности в производстве
			Выбытие основных производственных фондов и мощностей
			Нарушение нормального функционирования ЖКХ
		Социальный	Потери трудовых ресурсов
			Изменение условий и характера труда
			Предоставление компенсационных социальных льгот
Экологический		Ухудшение качественных характеристик, используемых трудовых ресурсов	
		Уменьшение поголовья зверей и птиц	
		Нарушение климатического баланса	

Прямой экологический ущерб обуславливается ущербом природной среде. Он включает ущерб от уничтожения или разрушения почвенного покрова, растительного и животного мира, а также от загрязнения водных источников и водоемов, атмосферы.

Косвенный ущерб – это убытки, нанесенные вне зоны прямого воздействия ОТС. Так же, как и прямой ущерб, косвенный делится на экономический, социальный и экологический.

Косвенный экономический ущерб включает следующие составляющие:

– ухудшение выпуска продукции (по видам производства);
– изменение показателей эффективности в промышленности, сельском хозяйстве;
– нарушение нормального режима функционирования ЖКХ (ухудшение электро-, тепло-, водоснабжения).

Косвенный социальный ущерб – это:

– потери трудовых ресурсов;
– изменение условий и характера самого труда;
– выплаты социальных льгот;
– обеспечение дополнительными услугами в здравоохранении и коммунальной сфере. Косвенный экологический ущерб формируется за счет:
– ухудшения качественных характеристик используемых природных ресурсов;
– нарушения климатического баланса района;
– уменьшения поголовья птиц и зверей.

Таким образом, описанная структура ущерба представляет собой дерево, вершина которого соответствует интегральной оценке ущерба, а ветви – различным типам ущербов. Для получения интегральной оценки ущерба используется метод матричных сверток при агрегировании разнородных показателей (в нашем случае, экономический, экологический и социальный ущербы) [2].

Список литературы

1. Никольский, О.К. Основы электромагнитной совместимости : учебник для вузов / под ред. докт. техн. наук, проф. Р.Н. Корякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007. - 480 с.

2. Никольский О.К. Теория и практика управления техногенными рисками [Текст] : учебное пособие / О.К. Никольский [и др.]. - Барнаул :Изд-во АлтГТУ, 2015. - 219 с.

Боярков Дмитрий Андреевич - магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, заведующий лабораторией кафедры «Электрификация производства и быта»

Почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; E-mail: epb_401@mail.ru; тел.: (3852) 36-71-29

Богатырев Александр Игоревич - инженер, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; e-mail: epb_401@mail.ru
тел.: (3852) 36-71-29

Овечкина Юлия Андреевна – инженер, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; e-mail: epb_401@mail.ru
тел.: (3852) 36-71-29

INTEGRATED ASSESSMENT OF DAMAGE FROM ELECTROINSTALLATIONS

Boyarkov D.A., Bogatirev A.I., Ovechkina Y.A.
Russia, Barnaul, AltSTU

The article possible scenarios of emergence of dangerous technogenic situations are considered, the structure of damage is shown and also that his integrated assessment represents.

Keywords: risk, damage, integrated assessment, dangerous technogenic situation.

Bibliography

1. Nikolskiy, O.K. Osnovy elektromagnitnoysovmestimosti :uchebnikdlyavuzov / podred. dokt. tehn. nauk, prof. R.N. Koryakina; Alt. gos. tehn. un-tim. I. I. Polzunova. – Barnaul: ОАО «Altayskiy poligraficheskiy kombinat», 2007. - 480 s.

2. Nikolskiy O.K. Teoriya i praktika upravleniya tehnogennymi riskami [Tekst] : uchebnoe posobie / O.K. Nikolskiy [i dr.]. - Barnaul : Izd-vo AltGTU, 2015. - 219 s.

Boyarkov Dmitriy Andreevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; e-mail: epb_401@mail.ru
tel.: (3852) 36-71-29

Bogatirev Alexandr Igorevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; e-mail: epb_401@mail.ru, tel.: (3852) 36-71-29

Ovechkina Yuliya Anreevna, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; e-mail: epb_401@mail.ru tel.: (3852) 36-71-29

УДК 69.059

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Шиховцова Н.Н., Мезенцева А.В.

*Россия, г. Пятигорск, Институт сервиса и технологий (филиал)
Донского государственного технического университета*

Рассмотрены мероприятия по повышению эффективности функционирования жилищной сферы, характерные особенности проводимых мероприятий; показано, что для достижения большего эффекта современные решения и технологий энергосбережения необходимо осуществлять комплексно, учитывая все особенности от их реализации.

Ключевые слова: жилищная сфера, энергозатраты, энергосбережение, энергоэффективность.

Основным потребителем энергии и источником загрязнения окружающей среды являются здания и сооружения. Активное потребление энергии крайне отрицательно отражается на экологическом балансе Земли, а ее нерациональное использование снижает энергоэффективность и повышает затраты на энергоресурсы. Так, например, на отопление и снабжение горячей водой в России расходуется 64% вырабатываемой в стране тепловой энергии. Это примерно в три раза выше, чем в европейских странах со сходным климатом. Значительная доля российских зданий характеризуется крайне низким уровнем теплозащиты. Две трети энергозатрат в России идет на отопление, и 70% из них практически впустую[1].

Мероприятия по энергосбережению в процессе эксплуатации жилого помещения могут быть разными. Все их можно охарактеризовать следующим образом:

- Замена (утепление) оконных и дверных проемов. Известно, что в большинстве наших домов тепловые потери превышают нормы в 3-5 раз. Очень часто эти потери компенсируются за счёт обогрева различными электроприборами. По оценкам специалистов [2] 40 % потерь тепла происходит через окна. Установка новых пластиковых или деревянных окон с многокамерными стеклопакетами повышает температуру в помещении на 2-5 градусов и снижает уровень уличного шума. Это же касается замены дверей, утепления стен, пола и потолка. Установка второй двери на входе в квартиру дает повышение температуры в помещении на 1-2 градуса, снижение уровня внешнего шума и загазованности.

- Остекление лоджий и балконов. Остекление балкона или лоджии эквивалентно установке дополнительного окна, что существенно снижает теплопотери. Энергосбережение достигается как за счет уменьшения перепада температур, посредством увеличения температуры за наружной стеной и окном помещения до 10 градусов в холодный период, так и коэффициента теплоотдачи, сокращения воздухопроницаемости, и, как следствие, уменьшения потребности в теплоте на нагревание воздуха. Снижение теплопотерь через ограждающие конструкции при остеклении лоджий и балконов в совокупности с их теплоизоляцией приводит даже к большим эффектам, чем тройное остекление оконных проемов.

- Наружная декоративная отделка лоджий и балконов виниловым сайдингом также служит дополнительным утеплением. При этом не изменяется их полезная площадь, которая уменьшается при утеплении балконов и лоджий изнутри и ведет

к уменьшению светового проема, что не всегда приемлемо. Утепление балкона или лоджии позволяет снизить теплопотери в квартире на 30 %.

- Система вентиляции. Оптимальным решением является правильно спроектированная и установленная механическая вентиляционная система [3], оснащенная опцией рекуперации тепла, с которой можно добиться энергоэффективности порядка 10-50 % в зависимости от региона, сезона и времени суток.

- Оптимальный выбор отопительных приборов. В настоящее время на практике используется достаточно много типов приборов, и различных марок приборов каждого типа, которые размещаются непосредственно в отапливаемых помещениях любого назначения. Отопительным (нагревательным) прибором определяются возможности любой системы отопления, так как в конечном итоге через отопительные приборы идет возмещение теплопотерь помещения. К примеру, замена чугунных радиаторов на алюминиевые или биметаллические повышает теплоотдачу этих радиаторов на 40-50%. Если радиаторы установлены с учетом удобного съема, имеется возможность регулярно их промывать, что так же способствует повышению теплоотдачи.

- Выбор окраски отопительных приборов. Тепловой поток от теплоносителя передается в помещение через стенку именно отопительного прибора. Коэффициент теплопередачи стенки прибора зависит от многих факторов, которые разделяют на основные и второстепенные. Среди второстепенных факторов всегда называют окраску приборов. При этом среди этих качественных оценок приводятся данные [4], что окраска прибора может повысить теплопередачу отопительного прибора. Использование для окраски отопительных приборов обычной масляной краски снижает коэффициент теплопередачи в среднем не менее, чем на 10 %. Это уже заметная величина, которая может снизить температуру наружной стенки отопительного прибора примерно на 5 °С.

Эти и многие другие мероприятия способствуют экономии при реализации мероприятий по энергоэффективности в следующем процентном соотношении, приведенное в таблице 1[5].

Таблица 1 – Экономия при реализации мероприятий по энергоэффективности

№ п/п	Мероприятия по энергоэффективности	Снижение потерь тепла, %
1	Теплоизоляция крыши	3...7
2	Изоляция внешних стен	9...13
3	Уплотнение окон	4 ... 8
4	Обновление окон	5 ... 9
5	Установка новых ограждающих конструкций	0...2
6	Изоляция перекрытия подвала	3...7
7	Обновление лестничных площадок	0,5...2

Таким образом, основной и самый действенных способов увеличения эффективности использования энергии любого здания и сооружения – это применение современных решений и технологий энергосбережения. Но для достижения наибольшего эффекта данные мероприятия необходимо проводить комплексно.

В последние годы в России появились новые европейские технологии энергосбережения – «пассивные» или энергоэффективные дома. Строительство энергоэффективных домов представляет собой целый комплекс всех вышеуказанных мероприятий, адаптированных к климатическим условиям нашей страны, которые лишь в совокупности могут придать дому все необходимые свойства. В первую очередь, по мнению специалистов, энергоэффективность здания невозможна без использования современных стеновых и теплоизоляционных материалов. И именно изначально правильно подобранная и смонтированная теплоизоляционная система позволит в дальнейшем снизить расходы на отопление в 3-4 раза. При массовом строительстве пассивных домов, по оценке

специалистов, потенциал энергосбережения в целом составит не меньше 30-40% от общего энергопотребления [6].

Все технологии и материалы, с помощью которых можно воплотить концепцию энергоэффективного дома, уже доступны в нашей стране. Более того, часть из них широко применяется в частном строительстве – например, теплосберегающие окна, экономные конденсационные котлы или долговечные теплоизоляционные материалы. Даже системы активной вентиляции с рекуператорами тепла перестали быть у нас диковинкой.

В настоящее время стоимость возведения энергоэффективного дома примерно на 10-15% больше средних расценок для традиционного здания. Однако, благодаря экономии энергоресурсов дополнительные затраты на строительство окупаются в течение 7-10 лет. По мере того, как будут дорожать энергоресурсы, а время окупаемости энергосберегающих решений будет уменьшаться, все больше домовладельцев захотят снизить свои затраты именно за счет современных энергоэффективных технологий.

Список литературы

1. Решетникова Е. Энергополис: новые технологии. Появились новые технологии энергосбережения - энергоэффективные здания [Электронный ресурс]. –URL:<http://latestenergy.ru/index.php?catid=28:energy-conservation-technologies&id=56> (дата обращения: 15.06.16).
2. Беляев В.С. Энергоэффективность и теплозащита зданий [Текст] / В.С. Беляев, Ю.Г. Граник, Ю.А. Матросов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2014. – 400 с.
3. Мартынова А.Ф. Роль энергосбережения в жилищно-строительной сфере [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 10, URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/10/58427>(дата обращения: 17.06.16).
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. –изд. 5-е, пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 258 с.
4. Дом класса «А» //интернет-портал «Все для строительства и ремонта» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.vashdom.ru/articles/proplex_126.htm(дата обращения: 10.06.16).
5. Новые технологии энергосбережения // сайт ООО «Строительная компания «Строй-Сити» [Электронный ресурс]. – URL: <http://stroy-city.kh.ua/novie-tehnologii-energoberegeniya-energo-effektivnie-doma.html>(дата обращения: 14.06.16).

Шиховцова Наталья Николаевна - канд. пед. наук, зав. кафедрой «Сервис» Института сервиса и технологий, (филиал) Донского государственного технического университета в г. Пятигорске.
E-mail: natnik71@inbox.ru, тел.: 8-928-3281881.

Мезенцева Антонина Викторовна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис» Института сервиса и технологий (филиал) Донского государственного технического университета в г. Пятигорске.
E-mail: mezentseva_a@bk.ru, тел.: 8-918-7677097.

ENERGY SAVING IN THE FIELD OF HOUSING AS A FACTOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ITS FUNCTIONING

Shikhovtsova N.N., Mezentseva A.V.

*Russia, Pyatigorsk, Institute of service and technology (branch)
Don state technical University*

Considered measures to improve the functioning of the housing sector, the characteristic features of the activities, it is shown that in order to achieve greater effect, modern solutions and energy-saving technologies should be implemented comprehensively, taking into account all the peculiarities of their implementation.

Keywords: housing, energy, energy conservation, energy efficiency.

Bibliography

1. Reshetnikova E., available at: <http://latestenergy.ru/index.php?catid=28:energy-conservation-technologies&id=56> (June 15, 2016).
2. Belyaev V.S. *Energoeffektivnost' i teplozashchita zdaniy* (Energy efficiency and thermal insulation of buildings), Moskva: Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2014, 400 p.
3. Martynova A.F., *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*, 2015, No 10, available at: <http://web.snauka.ru/issues/2015/10/58427> (June 17, 2016).

4. Fokin K.F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastei zdanii* (Thermal Engineering enclosing parts of buildings), Moskva: AVOK-PRESS, 2006, 258 p.
5. http://www.vashdom.ru/articles/proplex_126.htm (June 10, 2016).
6. <http://stroy-city.kh.ua/novie-tehnologii-energoberegeniya-energoeffektivnie-doma.html> (June 14, 2016).

Shikhovtsova Natal'ya Nikolaevna, candidate of pedagogical Sciences, head of Department Service Institute of service and technology (branch) Don state technical University in Pyatigorsk; e-mail: natnik71@inbox.ru, tel.: 8-928-3281881.
Mezentseva Antonina Viktorovna, candidate of technical Sciences, associate Professor of Service Institute of service and technology Don state technical University in Pyatigorsk; e-mail: mezentseva_a@bk.ru, tel.: 8-918-7677097.

СЕКЦИЯ № 2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЕ 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)

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Голощанов А.А., Глинкин Е.И.
Россия, г. Тамбов, ТГТУ

Показана несостоятельность линейных измерений пассивным делителем напряжения на квазилинейном участке вольтамперной характеристики для организации рациональных постоянно-токовых методов кондуктометрического анализа.

Ключевые слова: линейные, нелинейные, квазилинейные методы, сопротивление и проводимость

Insolvency of linear measurements by a passive divider of tension on a quasilinear site of the volt-ampere characteristic for the organization of rational constant and current methods of the konduktometrichesky analysis is shown.

Keywords: linear, nonlinear, quasilinear methods, resistance and conductivity

Постоянно-токовые методы кондуктометрии [см. 1 – 4] основаны на включении исследуемого вещества в цепь источника постоянного тока. Как правило, исследуемое вещество (жидкое, сыпучее, пористое) помещают в кондуктометрическую ячейку с двумя электродами, с помощью которых организуют измерительную цепь делителей напряжения, тока или мощности за счет последовательного, параллельного или смешанного соединения. Например, электролитическая ячейка содержит стеклянный сосуд, заполняемый электролитом, в котором находятся два или больше электродов, соединяемые в измерительную цепь.

Простота конструкции кондуктометрической ячейки в измерительной цепи позволяют широко использовать постоянно-токовые методы кондуктометрии в различных сферах производства и научно-исследовательских лабораториях. К недостаткам этих методов относятся низкая точность и диапазон измерения из-за нелинейности электрических преобразований, обусловленной диффузионным слоем носителей заряда границы измерительного электрода и исследуемого вещества.

Нелинейность вольтамперной характеристики (ВАХ) электродов кондуктометрической ячейки позволяет поделить постоянно-токовые методы на высоко- и низковольтные, линейные и нелинейные, определяемые ее тремя соответствующими участками. На ВАХ (табл. 1, рис.1, а) ячейки ярко выражены три участка: линейные для низких I напряжений

($U \leq 5 \text{ В}$) и высоких III ($U \geq 27 \text{ В}$), а также нелинейный II между ними с невысоким напряжением ($5 < U \leq 27 \text{ В}$), безопасным для человека.

Линейный III участок ВАХ из-за высоких напряжений позволяет использовать пассивные измерительные цепи без сложных электронных усилителей. Схема измерительной цепи при последовательном соединении кондуктометрической ячейки и образцового резистора образует пассивный делитель напряжения с исследуемым сопротивлением R вещества и нормируемым сопротивлением R_0 резистора (см рис.2). Резистор служит для косвенных измерений тока I по напряжению U на сопротивлении R_0 , регистрируемом на резисторе вольтметром. Ток измерительной цепи вычисляют по закону Ома [см. 1, с.47 – 48], считая участок III ВАХ линейным:

$$I = U/R_0. \quad (1)$$

Сопротивление R исследуемого вещества определяют по соотношению:

$$R = R_0 \frac{E - U}{U}. \quad (2)$$

Это следует из тождественности системы уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = E \cdot R / (R + R_0) \\ U_1 = E - U \end{cases}$$

напряжения U_1 на сопротивлении R ячейки, полученному методом делителя напряжения и второму правилу Кирхгофа.

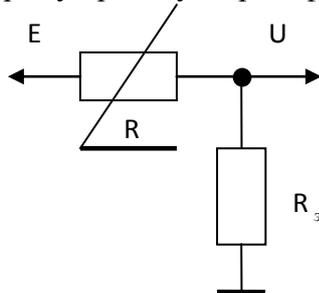


Рисунок 2

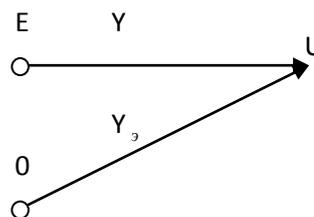


Рисунок 3

$$R = R_0 \frac{E - U}{U}. \quad (2)$$

Это следует из тождественности системы уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = E \cdot R / (R + R_0) \\ U_1 = E - U \end{cases}$$

напряжения U_1 на сопротивлении R ячейки, полученному методом делителя напряжения и второму правилу Кирхгофа.

Оценим нелинейности преобразования III участка ВАХ, включающие нелинейности ДН и диффузии.

Нелинейность делителя напряжения (ДН) определяется схемой последовательного соединения сопротивлений R исследуемого вещества ячейки и R_0 образцового резистора (рис.2). Сопоставим структурной схеме (рис. 2) схему замещения [см. 1, с.74 – 75] в сигнальных графах (рис. 3), вес которых определяется проводимостями $Y = 1/R$.

По первому правилу Кирхгофа для узла с потенциалом U составим уравнение тождества токов:

$$U(Y + Y_0) = E \cdot Y + 0 \cdot Y_0, \quad (3)$$

из которого следует зависимость U (Y) делителя

$$U = E \cdot Y / (Y + Y_0)$$

и коэффициент $k = U/E$ преобразования

$$k = R_3 / (R_3 + R). \quad (4)$$

Вычислим нелинейность η_k ДН методом эквивалентов относительно желаемого линейного коэффициента $k_3 = R_3/R$. Очевидно, исследуемый коэффициент k связан с линейным коэффициентом k_3 через нелинейность η_k соотношением

$$k = k_3 \cdot \eta_k. \quad (5)$$

Для выявления нелинейности η_k выразим нелинейный коэффициент k [см. 1 – 3] через линейный k_3

$$k = \frac{R_3}{R} \left(\frac{1}{1 + R_3/R} \right),$$

где нелинейность определяется выражением в скобках

$$\eta_k = R / (R + R_3). \quad (6)$$

Из формулы (5) следует линейность преобразования при тождестве $k = k_3$ для единичной нелинейности $\eta_k = 1$.

Аналогичный результат получают при оптимизации выражения (6) относительно изменения R при обнулении производной $d\eta_k/dR = 0$:

$$\frac{d\eta_k}{dR} = \frac{d(R/(R + R_3))}{dR} = \frac{1}{R + R_3} - \frac{R}{(R + R_3)^2} = \frac{1}{R + R_3} \left(1 - \frac{R}{R + R_3} \right). \quad (7)$$

Учитывая, что дробь в скобках уравнения (7) соответствует выражению (6), получим

$$\left(1 - \frac{R}{R + R_3} \right) = 1 - \eta_k = 0,$$

откуда следует оптимальное решение $opt \eta_k = 1$. При этом $opt k = k_3$, что очевидно из равенства (5).

Хотя математика и постулирует оптимальные закономерности линейности преобразования, физика утверждает несостоятельность [см. 1,2] этих выводов. Если нелинейность $\eta_k = 1$, то из формулы (6) следует равенство

$$R = R + R_3,$$

что возможно в двух случаях:

а) $R_3 \ll R \rightarrow \infty$ при бесконечно большом R ячейки;

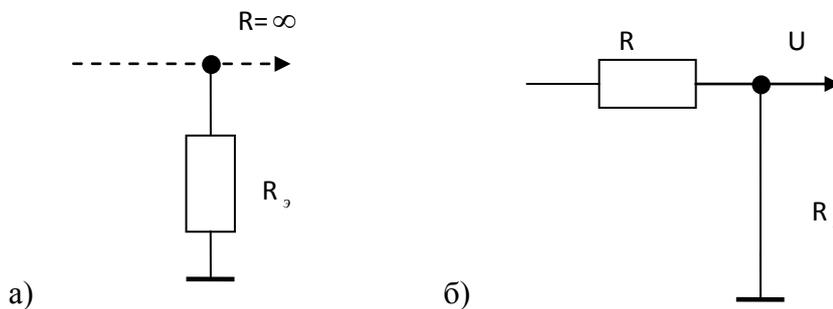


Рисунок 4

б) $R \gg R_3 \rightarrow 0$ при нулевом R_3 резистора. б) $R \gg R_3 \rightarrow 0$ при нулевом R_3 резистора.

Этим условиям соответствуют схемы замещения рис. 4, реализующие физически обрыв (рис. 4, а) и короткое замыкание (рис. 4, б). А это противоречит процессу деления напряжения.

Следовательно, пассивный делитель напряжения не позволяет линейное преобразование из-за противоречивых физических требований, разрушающих схему делителя напряжения при оптимальных характеристиках схемы, т.к. $k < k_0 = 1$. Схемой пассивного делителя напряжения является схема с соотношением $R_3 \ll R \rightarrow \infty$, что выполняется на практике, когда сопротивление R ячейки на два и более порядка выше сопротивления образцового резистора, т.е. $100R_3 \leq R$.

Список литературы

1. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология АЦП. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 140
2. Глинкин Е.И. Схемотехника АЦП. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 160с.
3. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Метрологические средства // Вестник Тамбовского университета. – Тамбов: ТГУ, 2009, Т.14, Вып.3. – С.515 – 520.
4. Глинкин Е.И., Техника творчества. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.

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

Голощапов Андрей Александрович - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», 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

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

УДК 681.335 (07)

ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Гамова Л.Г.

Россия, Елец, Елецкий государственный университет

Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проанализированы квазилинейные и нелинейные измерения вольтамперной характеристики для создания информационных технологий кондуктометрии.

Ключевые слова: нелинейные, квазилинейные методы, сопротивление и проводимость, вольтамперные характеристики, информационные технологии, методы кондуктометрии.

Quasilinear and nonlinear measurements of the volt-ampere characteristic for creation of information technologies of a conductometry are analysed.

Keywords: nonlinear, quasilinear methods, resistance and conductivity, volt-ampere characteristics, information technologies, conductometry methods.

Проведен сопоставительный анализ квазилинейных и нелинейных измерений характеристик, реализуемых на II и III участках вольтамперной характеристики (ВАХ) для создания информационных технологий постоянно-токовых методов кондуктометрии [см. 1 – 3] по информативным параметрам математической модели ВАХ в явном виде, представленной экспоненциальной зависимостью диффузии двухэлектродной ячейки.

Квазилинейные измерения

Квазилинейные измерения [см. 1, 2] реализуют на III участке ВАХ повышенного напряжения для определения дифференциального и мгновенного сопротивлений.

Статическое сопротивление R_i определяют по закону Ома для i -тых значений ($i=1, n$) характеристик напряжения U_i и тока I_i . Для статических измерений прикладывают напряжение E к измерительной ячейке, состоящей из последовательного соединения пробы исследуемого вещества и образцового сопротивления – нормируемой меры в цифровом или другом эквиваленте. Определяют силу тока I_i по падению напряжения U_{0i} на образцовом сопротивлении. Регистрируют падение напряжения $U_i = E - U_{0i}$ на пробе вещества, по которому с учетом тока I_i находят электрическое сопротивление R_i исследуемого вещества

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} \quad (1)$$

согласно соотношению (2)

$$R_i = R_0 \frac{E - U_{0i}}{U_{0i}},$$

где $i = \overline{1, n}$ - число измерений. Для квазилинейных измерений ВАХ выбирают сопротивление R_0 образцового резистора на два порядка ниже минимального сопротивления R_i пробы ячейки.

Достоинствами квазилинейных измерений являются простота измерительной цепи пассивного делителя и способа определения электрического сопротивления R_i косвенным методом, высокая точность и оперативность измерения мгновенных значений характеристик: напряжения U_i и тока I_i , сопротивления R_i и проводимости $Y_i = \frac{1}{R_i}$. Недостатки

обусловлены повышенным напряжением электробезопасности измерений, большим числом n измерений электрических характеристик, их зависимости от амплитуд напряжения и тока, изменяющихся от контролируемых параметров состава и свойств веществ. Повышение точности измерения характеристик требует коррекцию действительных значений за счет учета нелинейности ВАХ, обусловленных диффузией электрических носителей заряда на границе контакта вещество-электрод кондуктометрической ячейки в цепи постоянного тока. Учитывают нелинейность ВАХ коррекцией определяемых электрических характеристик.

Дифференциальное сопротивление устраняет недостатки статического сопротивления за счет снижения нелинейности ВАХ благодаря нормированным мерам отсчета амплитуды тока или напряжения. В способе определения дифференциального сопротивления организуют парные измерения амплитуд напряжения U_i, U_{2i} с нормированным интервалом $\Delta U_i = U_{2i} - U_i$ и тока I_i, I_{2i} с интервалом $\Delta I_i = I_{2i} - I_i$, по отношению интервалов которых определяют дифференциальные характеристики: сопротивление dR и проводимость dY

$$\begin{cases} dR_i = \frac{dU_i}{dI_i} \\ dY_i = \frac{dI_i}{dU_i}, \end{cases} \quad (2)$$

где $d = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \Delta$ - предельные значения интервалов Δ , для бесконечного множества $n \rightarrow \infty$ бесконечно малых величин $\Delta \rightarrow 0$.

Оценку дифференциальных и статических электрических характеристик можно получить при дифференцировании тока ВАХ (5) по напряжению

$$\frac{dI}{dU} = \frac{dI_0(\exp U/U_0 - 1)}{dU} = \frac{I_0}{U_0} \exp \frac{U}{U_0},$$

откуда следуют зависимости

$$\begin{cases} dY = Y_0 \exp(U/U_0) \\ dR = R_0 \exp(-U/U_0), \end{cases} \quad (3)$$

связывающие между собой дифференциальные характеристики и информативные параметры ВАХ.

Соотношения между дифференциальными (3) и статическими (1) характеристиками несложно найти методом эквивалентов, например, для сопротивлений с учетом модели ВАХ (5):

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{I_0} \exp \frac{U_i}{U_0},$$

при условии $e^x \gg 1$, что выполняется на практике. Выражение для сопротивления R_i помножим и разделим на U_0 , и с учетом второго уравнения системы (3), находим соотношение между сопротивлениями и проводимостями по аналогии

$$\begin{cases} R_i = \frac{U_i}{U_0} dR_i \\ Y_i = \frac{U_0}{U_i} dY_i. \end{cases} \quad (4)$$

Анализ систем (3) и (4) показывает более сложную нелинейность статических (4) характеристик от дифференциальных из-за дополнительных функций U_i/U_0 и U_0/U_i , дополнительно искажающих экспоненциальные нелинейности. Снижение нелинейности дифференциальных характеристик «покупается» удвоением числа n измерений в инновациях относительно способов определения статических характеристик. Вектор развития способов направлен на снижение нелинейности измерений за счет определения информативных параметров ВАХ, независимых от режимных характеристик (изменения напряжения и тока) в отличие от нелинейных статических и дифференциальных характеристик.

Нелинейные измерения

Нелинейные измерения [см. 1, 4] ярко выражены на II участке ВАХ, описываемому алгебраической моделью экспоненциального вида

$$I = I_0 \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right) \quad (5)$$

с информативными параметрами I_0, U_0 - диффузионным током и напряжением, а также режимными характеристиками I, U - амплитудой тока и напряжения, $5 \leq U \leq 27\text{В}$. Низковольтное напряжение безопасное для человека выделяет эти постоянно-токовые методы относительно других кондуктометрических измерений, однако нелинейность ВАХ и взаимозависимость режимных характеристик, двойной электрический слой и неуправляемость диффузионных параметров до настоящего времени тормозят развитие нелинейных измерений, что ограничивает ширину диапазона и точность измерений. Известные методы определения состава и свойств веществ по электрическому и дифференциальному сопротивлению (или проводимости) требуют неоправданно сложных метрологических средств из-за неявной функциональной зависимости режимных характеристик и их производных, предполагающих трудоемкую статическую аппроксимацию и интерполяцию. Следует отметить широкий диапазон изменения сопротивления ($1 \leq R \leq 10^9 \text{ Ом}$) при изменении на порядок состава или свойств, что диктует разработку дорогостоящих широкодиапазонных преобразователей или разбиение нелинейного II диапазона ВАХ на множество линейных поддиапазонов с несопоставимыми

результатами на их границах, варьирующими от режимных характеристик и исследуемых параметров.

Следовательно, применение традиционных линейных методов на нелинейном II участке ВАХ без учета его нелинейности, регламентирует приемлемую точность в узком диапазоне коррекции и требует неоправданно высоких интеллектуальных, материальных и экономических затрат.

Информационные технологии

Информационные технологии решают поставленную задачу в адаптивном диапазоне контроля с заданной точностью, регламентируемой погрешностью образцовых мер на границах адаптации [см. 1 – 3]. В основу информационных технологий положены априорные знания закономерностей неделимого комплекса аппаратных и метрологических средств, программного и математического обеспечения компьютерных анализаторов, включающих:

–математические модели в явном виде алгебраической формы с информативными параметрами, адекватно отражающими физику процесса для выявления кода (состава и свойств) вещества;

–алгоритмы расчета информативных параметров, отражающие нелинейность ВАХ через режимные характеристики для линеаризации исследуемых зависимостей;

–рациональные меры счисления режимных характеристик для расчета оптимальных информативных параметров;

–эффективные метрологические средства адаптивного аналитического контроля с оптимизацией априори калибровочной характеристики с точностью образцовых мер границ диапазона.

Информационные технологии для линеаризации результатов нелинейного II участка ВАХ реализуют современные методы образцовых мер, развивающиеся от бинарных напряжений и кратных токов к методам образцов (см. табл. 1, рис. 4-6).

Список литературы

1. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология АЦП. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 140 с.
2. Глинкин Е.И. Схемотехника АЦП. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 160 с.
3. Глинкин Е.И., Техника творчества. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.

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

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

Gamova Lyudmila Gennadiyevna, Eletsy state university, Yelets, Russian Federation, Candidate of Biology, associate professor "Safety of life of activity and basic medical training", e-mail: Gamo@packart.ru

ЗАЩИТА ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ОТ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Шпиганович А.Н., Бойчевский А.В.

Россия, Липецк, ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Рассмотрен способ защиты ТИСУ трамвайных вагонов городского электротранспорта от коммутационных перенапряжений, обусловленных сбросом электромагнитной энергии, запасаемой в индуктивности тяговой сети при отключении аварийных коротких замыканий типа «троллей-рельс».

Ключевые слова: способ защиты, ТИСУ трамвайных вагонов, коммутационные перенапряжения

The method of protection the SCR's controls of tramcars of city electrical transport from switching overvoltages is presented. This overvoltages caused by the discharge of electromagnetic energy stored in the inductance of the traction system when disabled short-circuit type "trolley-rail".

Keywords: method of protection, SCR's controls of tramcars, switching overvoltages

Для современного этапа развития пассажирского городского электрического транспорта, работающего на постоянном напряжении, характерно широкое использование тиристорно-импульсных систем управления (ТИСУ), существенно повышающих экономичность его работы. При этом одной из основных проблем, связанных с успешным использованием ТИСУ, является обеспечения их эффективной и быстродействующей защитой от коммутационных перенапряжений, возникающих в аварийных режимах на входе на ТИСУ в моменты отключения коротких замыканий, вызванных кратковременными переключениями типа «троллей-рельс». Особенно это касается защит ТИСУ, установленных на трамвайных вагонах городского электротранспорта. Объясняется это значительной величиной распределенной электромагнитной энергией, запасаемой в индуктивности тяговой трамвайной сети при аварийных режимах. Перенапряжения, обусловленные сбросом этой энергии в конденсатор фильтра ТИСУ при отключении аварийных режимов, характеризуются высокой кратностью и быстротечностью достижения максимальных уровней [1], что не позволяет эффективно гасить их при помощи известных средств защиты.

Для ограничения указанного вида перенапряжений предлагается способ, основанный на оптимальном перераспределении электромагнитной энергии, запасенной в индуктивности тяговой сети, между конденсатором фильтра ТИСУ и тремя демпфирующими резисторами. Оптимальность перераспределения основана на оптимизации способа на минимум максимальных выбросов напряжений на входе ТИСУ трамвайных вагонов по величинам сопротивлений демпфирующих резисторов, моментов их подключения, длительности их участия в процессе гашения перенапряжения, емкости конденсатора фильтра ТИСУ, индуктивности тяговой сети и энергии перенапряжения. Это позволило добиться, в сравнении с известными мерами защиты, глубокого ограничения перенапряжений при технически приемлемой емкости конденсатора фильтра ТИСУ. Полученные при этом аналитические зависимости позволили разработать методику инженерного расчета оптимальных значений сопротивлений демпфирующих резисторов и емкости конденсатора фильтра ТИСУ, обеспечивающих минимум глобального выброса напряжения на входе ТИСУ трамвайного вагона на всем интервале демпфирования перенапряжений.

В докладе также рассмотрены принципы построения электрической схемы устройства, обеспечивающего техническую реализацию предложенного способа защиты ТИСУ от коммутационных перенапряжений, с представлением принципиальной схемы этого устройства.

Список литературы

Shpiganovich, A.N. Research of switching overvoltages at filter's capacitor of SCR's controls of tramcars by emergency operation of urban electrical transport's traction systems [Text]/ A.N. Shpiganovich, A.V. Boychevskiy // Vesti vysshih uchebnyh zavedenij Chernozem'ja. – 2014. – №2. – P. 9-13.

Шпиганович Александр Николаевич - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования Липецкого государственного технического университета, 398533, Липецкая область, Липецкий район, село Сырское, ул. Танкистов, дом, 4, эл. адрес: san@stu.lipetsk.ru, тел. +7 (960) 594-50-81.

Бойчевский Александр Валерьевич - ассистент кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета, 398024, г. Липецк, проспект Победы, дом, 73, кв., 28, e-mail: boi-alek@yandex.ru, тел. +7 (904) 295-22-69.

УДК 608.4

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Мигалёв И.Е., Титов Е.В.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Статья рассматривает практические способы моделирования электромагнитного поля методом конечных разностей во временной области, а также проверку точности полученных моделей.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, моделирование, метод конечных разностей во временной области.

В современных условиях имеет место активное развитие промышленного производства, в том числе, за счет расширения использования электротехнологий. При этом положительный эффект достигается с помощью источников электромагнитного излучения, которые в ряде случаев создают электромагнитные поля с возможным превышением предельно допустимых уровней иногда в десятки раз [1].

В последнее время активно ведётся работа [1] над концепцией комплексного контроля электромагнитной обстановки. В соответствии с этой концепцией должны проводиться измерения параметров электромагнитного поля, а на основании результатов измерений строиться компьютерные модели электромагнитной обстановки.

Для проведения измерений предлагается использовать специально разработанный технологический модуль, который включает в свой состав различное сертифицированное измерительное оборудование, персональный компьютер, а также разработанное для него программное обеспечение.

Компьютерное моделирование электромагнитной обстановки проводится с использованием метода конечных разностей во временной области [2–4]. Целью данной работы является анализ точности компьютерного моделирования электромагнитной обстановки представленным способом.

Для моделирования используется программное обеспечение разработанного модуля, которое использует свободную библиотеку программного кода OpenEMS [5], которая предоставляет настраиваемую реализацию метода конечных разностей во временной области.

Для проверки точности была проведена серия измерений для одного источника электромагнитного поля — блока питания ноутбука. Были замерены значения параметров напряжённости электромагнитного поля на частоте 30 кГц (при помощи прибора ПЗ-41) на расстояниях от 0 см (т. е. вплотную к поверхности блока питания) до 1 м. Также были построены несколько компьютерных моделей данного блока питания, находящегося в пустом помещении.

При моделировании использовались только результаты замеров вплотную к поверхности блока питания. Результаты замеров на остальных расстояниях при моделировании не использовались; эти данные использовались при проверке результатов моделирования.

Были построены следующие три модели электромагнитного поля:

1. Модель, полученная с помощью COMSOLMultiphysics 5.0, в соответствии с рекомендациями к методике [6].

2. Модель, построенная с использованием рассматриваемого технологического модуля, с размером пространственной сетки 10 см.

3. Модель, построенная с использованием рассматриваемого технологического модуля, с размером пространственной сетки 5 см.

Сравнительная оценка результатов моделирования разными способами показана на рис. 1.

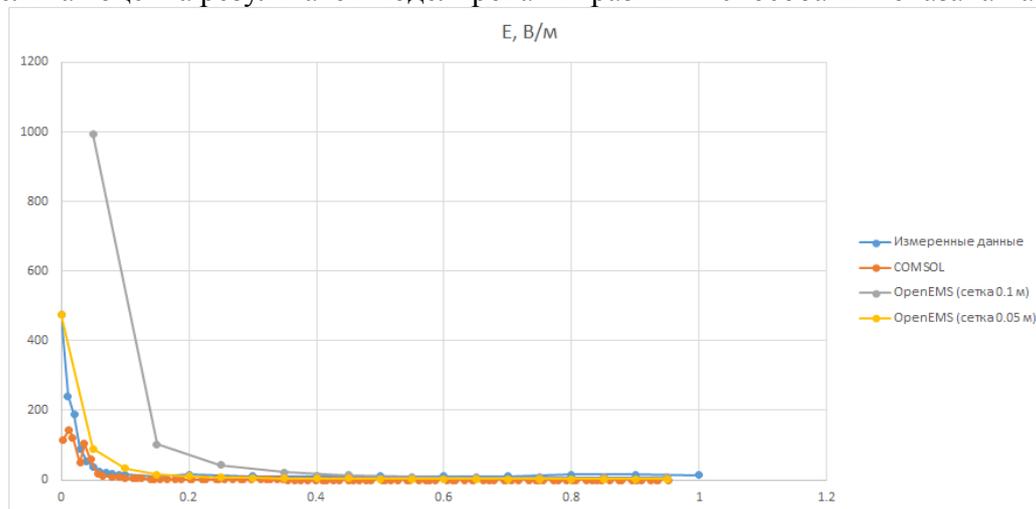


Рисунок 1 – Сравнение результатов моделирования разными способами

На рисунке 2 приведён пример картины электромагнитного поля, полученного в результате моделирования (на изображении видно пустое помещение с размещённым в нём блоком питания ноутбука). Данная картина была получена при моделировании с помощью OpenEMS с шагом пространственной сетки 10 см.

При моделировании использовались данные только одной обследованной точки — ближайшей к блоку питания (помеченной как точка с расстоянием 0 см). Результаты моделирования сравниваются с измеренными данными на следующем графике.

Из представленного графика видно, что модель с шагом сетки 0,1 м предоставляет недостаточную точность, поэтому из дальнейшего рассмотрения модели с таким шагом могут быть исключены. На рисунке 3 представлен график без учёта этой модели.

Из представленных данных можно сделать следующие выводы:

1. Точность модели в OpenEMS с размером сетки 0.1 м и больше не является достаточной в сравнении с другими способами моделирования.

2. Точность модели в OpenEMS с размером сетки 0.05 м является сравнимой с точностью модели в COMSOLMultiphysics 5.0; точность достаточна для практического применения моделей.

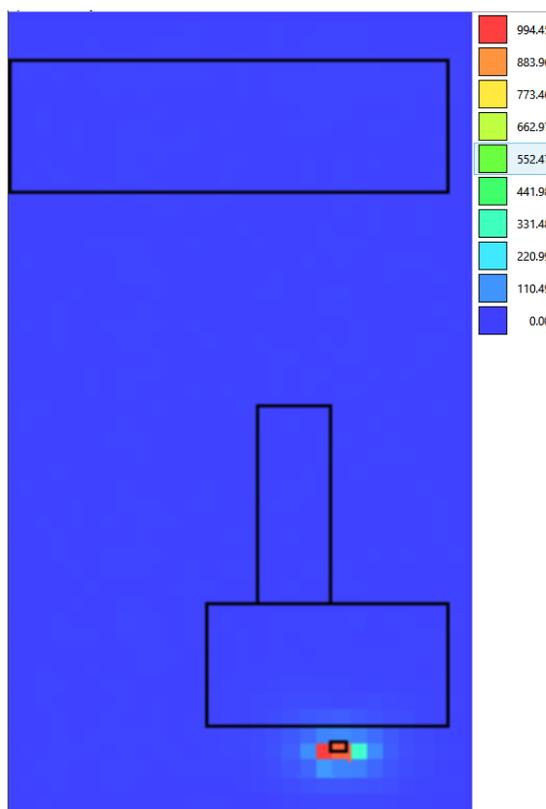


Рисунок 2 – Модель электромагнитного поля

3. Обе модели не учитывают наличия фонового уровня излучения, и поэтому резко теряют точность на расстояниях более 0.3 м от источника излучения, где фоновое излучение преобладает.

Проект выполнен при поддержке Некоммерческого партнерства «Глобальная энергия» (Грант №МГ-2015/04/2).

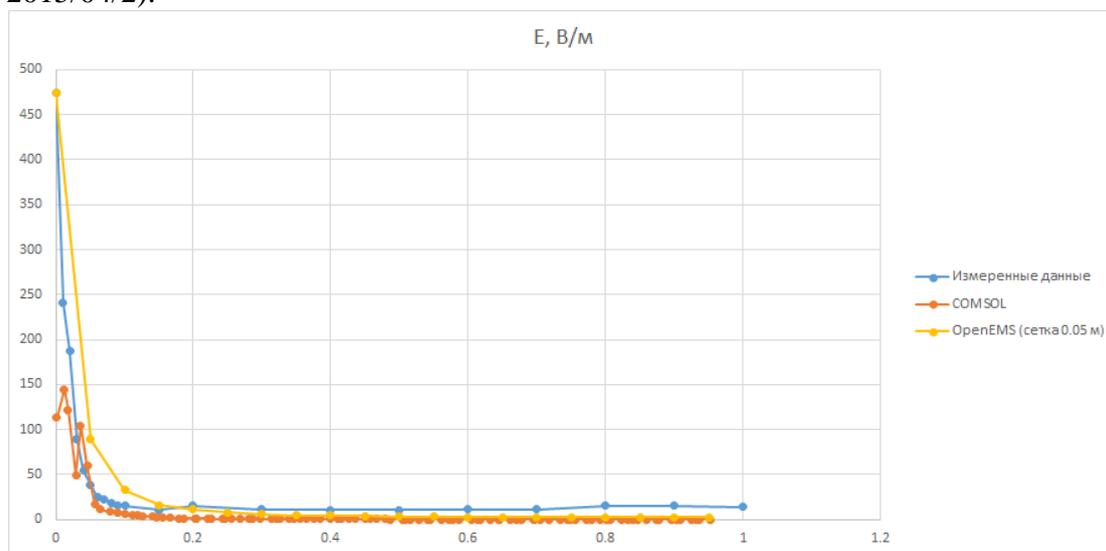


Рисунок 3 – График сравнения значений без модели с шагом 0,1 м

Список литературы

1. Электромагнитная безопасность технологических процессов АПК [Текст] : монография / А. А. Сошников [и др.]. – Барнаул: типография АлтГТУ, 2012. – 110 с.
2. Боголюбов, А. Н. Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов [Текст] / А. Н. Боголюбов, И. А. Буткарев, Ю. С. Дементьева // Журнал радиоэлектроники. – Москва, 2006. – №11. – С. 1 – 21.
3. Мигалёв, И.Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля [Текст] // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 33 – 35.
4. Дейнега, А. В. Численное моделирование и компьютерный дизайн оптических свойства наноструктурированных материалов [Текст] : дис. ... канд. физ.-матем. наук / А. В. Дейнега. – Москва, 2010. – 157 с.
5. Liebig T. AppCSXCAD – Minimal GUI Application using the QCSXCAD library [Electronic resource]. – Режимдоступа: <https://github.com/thliebig/AppCSXCAD>, свободный. – Загл. экрана.
6. Титов, Е.В.. Исследование электромагнитной безопасности мониторов персональных компьютеров [Текст] / Е.В.Титов, И.Е.Мигалёв, А.С.Клепиков // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: Сборник материалов II-ой всероссийской студенческой конференции. – Челябинск, 2011. – С.267 - 268.

Мигалёв Иван Евгеньевич – соискатель ученой степени канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.; (3852) 36-71-29, e-mail: i.migalev@gmail.com

Титов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доцент кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29, e-mail: 888tev888@mail.ru

FEATURES OF ELECTROMAGNETIC FIELD MODELING USING FINITE DIFFERENCE IN TIME DOMAIN METHOD

Migalyov I.E., Titov E.V.
Russia, Barnaul, AltSTU

The article presents the practical ways of electromagnetic field modeling using finite difference in time domain method and verification of precision of the models.

Keywords: electromagnetic environment, modeling, finite difference in time domain method.

Bibliography

1. EHlektromagnitnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov APK [Tekst] : monografiya / A. A. Soshnikov [i dr.]. – Barnaul: tipografiya AltGTU, 2012. – 110 s.
2. Bogolyubov, A. N. CHislennoe modelirovanie dvumernyh fotonnyh kristallov [Tekst] / A. N. Bogolyubov, I. A. Butkarev, YU. S. Dement'eva // ZHurnal radioelektroniki. – Moskva, 2006. – №11. – S. 1 – 21.
3. Migalyov, I.E. Prakticheskoe primenenie metoda konechnyh raznostej vo vremennoj oblasti k modelirovaniyu ehlektromagnitnogo polya [Tekst] // Polzunovskij vestnik. – 2012. – № 4. – S. 33 – 35.
4. Dejnega, A. V. CHislennoe modelirovanie i komp'yuternyj dizajn opticheskikh svojstva nanostrukturirovannykh materialov [Tekst] : dis. ... kand. fiz.-matem. nauk / A. V. Dejnega. – Moskva, 2010. – 157 s.
5. Liebig T. AppCSXCAD – Minimal GUI Application using the QCSXCAD library [Electronic resource]. – Rezhim dostupa: <https://github.com/thliebig/AppCSXCAD>, svobodnyj. – Zagl. s ehkrana.
6. Titov, E.V.. Issledovanie ehlektromagnitnoj bezopasnosti monitorov personal'nyh komp'yutеров [Tekst] / E.V. Titov, I.E. Migalyov, A.S. Klepikov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti glazami molodezhi: Sbornik materialov II-oj vserossijskoj studencheskoj konferencii. – CHelyabinsk, 2011. – S.267 - 268.

Migalyov Ivan Evgenyevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.(3852)36-71-29,
e-mail: i.migalev@gmail.com

Titov Evgeny Vladimirovich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29,
e-mail: 888tev888@mail.ru

УДК 537.8:631.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНЫХ УРОВНЕЙ ЭМИ ВБЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Титов Е.В., Мигалёв И.Е.
Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Приведены результаты измерения напряженности наведенного электрического поля от компактной люминесцентной лампы на металлическую полосу, а также результаты измерений опасных уровней ЭМИ вблизи изолированных металлических элементов вентиляционной системы.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, измерение параметров электромагнитных полей, компактные люминесцентные лампы, контроль электромагнитной обстановки.

В настоящее время все шире применяются металлопластиковые трубы, алюминиевая вставка которых надежно изолирована от земли, в результате чего такие трубы потенциально могут быть опасными источниками электромагнитных полей [1].

Для выяснения данной проблемы проводились исследования по наведению высокочастотных электрических полей компактными люминесцентными лампами и другими источниками электромагнитных излучений (ЭМИ) на различные металлические конструкции, и было установлено, что компактные люминесцентные лампы, а также другие источники высокочастотных электромагнитных излучений создают электромагнитные поля на металлических, изолированных от земли, объектах. Особенно данному явлению подвержены протяженные металлические предметы, изолированные от земли.

Опытные данные [2-6] показывают, что наведение электромагнитных полей на изолированные металлоконструкции полностью прекращается при отдалении металлоконструкции от источника излучения, в данном случае от компактной люминесцентной лампы, на расстояние более 5 см. Эти данные получены в процессе следующего опыта: использовалась компактная люминесцентная лампа, находящаяся на расстоянии 1 см над поверхностью стола; под нее подкладывалась стальная полоса размерами 46 × 4 см. Проводились измерения на фиксированном расстоянии от лампы, металлическая полоса с люминесцентной лампой при этом располагалась по оси x.

Схема опыта с лампой и металлической полосой на фиксированном расстоянии друг от друга представлена на рисунке 1, а в таблице 1 приведены результаты экспериментальных

измерений напряженности наведенного электрического поля от компактной люминесцентной лампы на металлическую полосу.

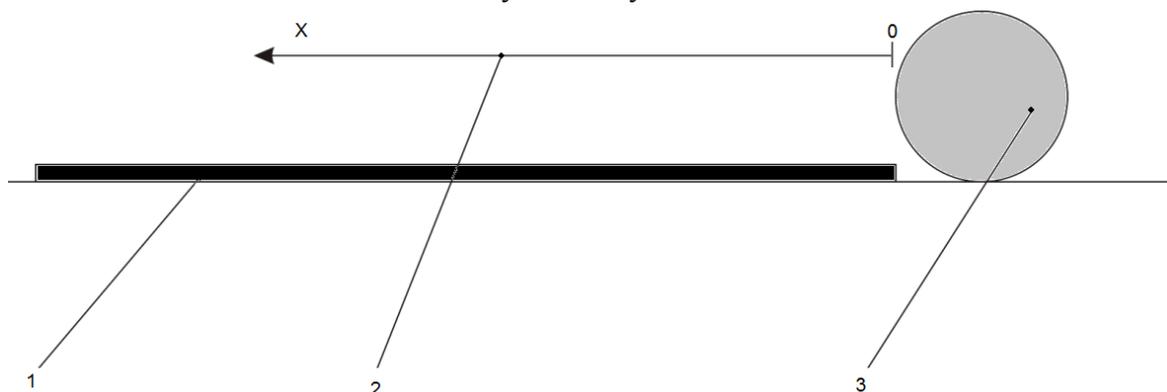


Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований

1 – металлическая полоса; 2 – ось, по которой отсчитывается расстояние;
3 – люминесцентная лампа

Таким образом, можно предположить, что протяженные металлические предметы, в частности, металлопластиковые трубы с металлической вставкой, изолированной от земли, могут также являться источниками опасных электромагнитных полей в случае нахождения вблизи них первичных источников ЭМИ.

В процессе исследований следует отметить превышение предельно-допустимых уровней (ПДУ) электромагнитного и электростатического полей в десятки раз от металлических элементов системы вентиляции помещений корпуса «Д» АлтГТУ, что привело к выводам о необходимости продолжения проведения исследований в этой области.

Происходит электрическая наводка на металлическую полосу, приближенную к лампе. В результате по мере удаления от лампы уровень напряженности электрического поля практически не уменьшается (уменьшается гораздо медленнее, чем при отсутствии полосы).

В процессе экспериментальных исследований зафиксирована напряженность электрического поля частотой 50 Гц напротив вентиляционной шахты в 2 кВ/м, а в некоторые моменты времени значение напряженности электрического поля достигало 19 кВ/м (ПДУ электрического поля промышленной частоты составляет 0,5 кВ/м [7]). В связи с этим проведено обследование вентиляционной системы АлтГТУ в месте регистрации повышенного уровня электрического поля. Наиболее вероятным объяснением этого явления можно считать прохождение вентиляционной трубы вблизи помещения распределительного пункта, расположенного в корпусе «Д».

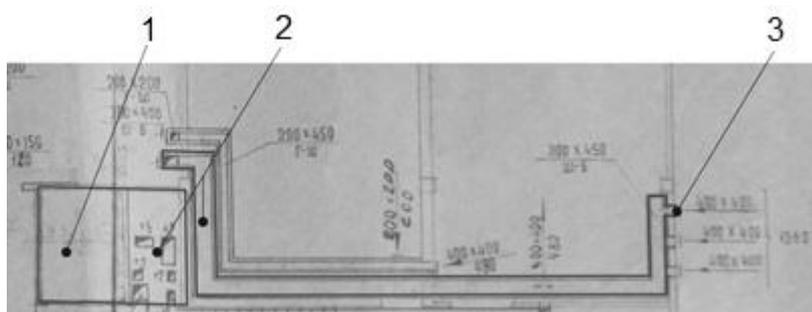


Рисунок 2 – Фрагмент схемы вентиляции корпуса «Д» АлтГТУ

1 – помещение подстанции; 2 – шахты вентиляции; 3 – вентиляционная решетка

решетки и помещения подстанции приведена на рисунке 2.

Силовой кабель, проходящий вблизи трубы, может вызывать наведение электрических полей на изолированные металлоконструкции и, как следствие, это приводит к повышению уровня электрического поля по всей длине трубы.

Схема вентиляции описанного участка АлтГТУ с указанием вентиляционной

Проект выполнен при поддержке Некоммерческого партнерства «Глобальная энергия» (Грант №МГ-2015/04/2).

Таблица 1 – Экспериментальные данные измерения напряженности наведенного электрического поля

Частота, МГц	Расстояние от измерителя до лампы, см	Напряженность электрического поля E, В/м		
		ПДУ	фоновое значение	вдоль металлической полосы
0,03	1	25	6,61	240
	5			113
	10			133,32
	15			147,79
	20			148,01
	25			136,31
	30			133,41
3	1	15	1,96	68,33
	5			60,84
	10			61,26
	15			61,14
	20			59,28
	25			60,40
	30			78,0
30	1	10	1,64	52,22
	5			47,55
	10			49,74
	15			52,20
	20			51,35
	25			55,06
	30			59,50
50	1	3	2,04	72,85
	5			66,25
	10			68,82
	15			69,77
	20			68,01
	25			66,30
	30			65,44
300	1	3	2,16	72,14
	5			75,82
	10			71,01
	15			68,70
	20			67,32
	25			62,92
	30			63,05

Примечание – в процессе экспериментальных исследований использовалась компактная люминесцентная лампа «Navigator» (производитель – КНР) мощностью 25 Вт (теплый белый свет), а также металлическая полоса размерами 46×4 см (длина × ширина), расположенная под лампой на расстоянии 1 см.

Список литературы

1. Зотов, К. Н. Моделирование процессов в реальном канале радиосвязи для управления трафиком [Текст] / К. Н. Зотов // Технологии и средства связи. – Москва, 2011. – № 1. – С. 28 - 29.

2. Титов, Е.В. Анализ опасности электромагнитных излучений в помещениях [Текст] / Е.В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.
3. Титов, Е.В. Определение допустимого времени пребывания в зоне влияния электромагнитных излучений [Текст] / Е. В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2014. – № 3 (113). – С. 49 - 54.
4. Титов, Е.В. Современная методика оценки опасности магнитного поля [Текст] / Е.В. Титов, Л.Н. Нурбатырова, Ю.А. Овечкина // Биотехносфера. – Санкт-Петербург, 2015. – № 6 (42). – С. 7 – 10.
5. Сошников, А.А. Контроль электромагнитной обстановки на объектах с источниками электромагнитных излучений [Текст] / А.А. Сошников, Н.П. Воробьев, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.64 - 68.
6. Титов, Е. В. Оценка электромагнитной обстановки на объектах АПК [Текст] / Е. В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.75 - 77.
7. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям, 2001.

Титов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доцент кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел. (3852) 36-71-29; e-mail: 888tev888@mail.ru

Мигалёв Иван Евгеньевич – соискатель ученой степени канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29; e-mail: i.migalev@gmail.com

THE RESEARCH OF DANGEROUS LEVELS OF EMR CLOSE TO METALLIC ISOLATED ELEMENTS

Titov E.V., Migalyov I.E.
Russia, Barnaul, AltSTU

The article shows the results research of tension of induced electric fields from compact fluorescent lamps on the metal strip, and the results of measurements of dangerous levels of EMR close to metallic isolated elements of the ventilation system.

Keywords: electromagnetic radiation, research of electromagnetic fields, compact fluorescent lamp, control of the electromagnetic environment.

Bibliography

1. Zotov, K. N. Modelirovaniyeprocessovvreal'nomkanaleradiosvyazidlyaupravleniyatrafikom [Текст] / K. N. Zotov // Tekhnologiiisredstvasvyazi. – Moskva, 2011. – № 1. – С. 28 - 29.
2. Titov, E.V. Analiz opasnosti ehlektromagnitnyh izluchenij v pomeshcheniyah [Текст] / E.V. Titov // Vestnik AGAU. – Barnaul, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.
3. Titov, E.V. Opredelenie dopustimogo vremeni prebyvaniya v zone vliyaniya ehlektromagnitnyh izluchenij [Текст] / E. V. Titov // Vestnik AGAU. – Barnaul, 2014. – № 3 (113). – С. 49 - 54.
4. Titov, E.V. Sovremennaya metodika ocenki opasnosti magnitnogo polya [Текст] / E.V. Titov, L.N. Nurbatyrova, YU.A. Ovechkina // Biotekhnosfera. – Sankt-Peterburg, 2015. – № 6 (42). – С. 7 – 10.
5. Soshnikov, A.A. Kontrol' ehlektromagnitnoj obstanovki na ob"ektah s istochnikami ehlektromagnitnyh izluchenij [Текст] / A.A. Soshnikov, N.P. Vorob'ev, E.V. Titov // Polzunovskij vestnik. – Barnaul, 2012. – № 4. – С.64 - 68.
6. Titov, E. V. Ocenka ehlektromagnitnoj obstanovki na ob"ektah APK [Текст] / E. V. Titov // Polzunovskij vestnik. – Barnaul, 2012. – № 4. – С.75 - 77.
7. SanPiN 2.1.2.1002-00. Sanitarno-ehpidemiologicheskie trebovaniya k zhilym zdaniyam i pomeshcheniyam, 2001.

Titov Evgeny Vladimirovich - Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29; e-mail: 888tev888@mail.ru

MigalyovIvan Evgenyevich - Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29; e-mail: i.migalev@gmail.com

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭМИ****Сошников А.А., Титов Е.В., Мигалёв И.Е.***Россия, г. Барнаул, АлтГТУ*

В статье рассмотрена модернизированная методика оценки состояния электромагнитной обстановки по результатам ограниченного числа измерений вблизи источников ЭМИ и метод моделирования электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, электромагнитная обстановка, моделирование электромагнитного поля, вычислительная электродинамика.

Существующие способы контроля электромагнитной обстановки имеют узкую область применения и реализуют измерение только отдельных составляющих электромагнитного поля (ЭМП). При этом отсутствует возможность получения полной картины опасности контролируемого пространства, так как для этого необходимо производить измерения во всех его точках для всех составляющих поля и возможных частот излучения.

Действующие нормативные документы устанавливают предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитного излучения, воздействующего на рабочий персонал и людей, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников электромагнитных излучений (ЭМИ). Однако более информативным и удобным для восприятия параметром является допустимое время пребывания человека в зоне влияния электромагнитных полей, создаваемых различными источниками при реализации некоторых электротехнологических процессов в АПК.

Поэтому для оценки опасности электромагнитных излучений в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) разработана концепция многочастотного контроля [1-5].

Исходными данными для многочастотного моделирования электромагнитного поля, являются результаты измерений параметров поля на различных частотах, а также геометрические характеристики объектов и электротехнические свойства материалов в помещении.

Выходными данными модели является либо трёхмерная матрица чисел, содержащая распределение значений установленного параметра электромагнитного поля в пределах помещения, либо система матриц, содержащих одновременно несколько параметров. Для анализа всех частотных диапазонов электромагнитного поля предлагается в качестве результата моделирования использовать матрицы для каждой контролируемой частоты электромагнитного поля в исследуемом помещении.

Для визуализации матрицы чисел могут использоваться способы получения комплексной картины опасности ЭМИ.

При этом к математической модели предъявляются определенные требования, обусловленные необходимостью учета большого количества объектов и процессов в пограничных зонах помещения.

Основой вычислительной электродинамики применительно к электромагнитному полю являются следующие выражения [6-9]:

закон Ампера:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (1)$$

закон Фарадея:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (2)$$

уравнение Пуассона:

$$\nabla \cdot D = \rho, \quad (3)$$

теорема Гаусса для магнитных полей в дифференциальной форме:

$$\nabla \cdot B = 0. \quad (4)$$

В этих уравнениях H – напряжённость магнитного поля, J – плотность тока, D – электрическое смещение, E – напряжённость электрического поля, B – магнитная индукция (плотность магнитного потока), ρ – плотность электрического заряда, t – время.

Среди основных методов численного решения систем дифференциальных уравнений в вычислительной электродинамике наиболее подходящим для проведения научных исследований в области электромагнитной безопасности является метод конечных разностей. Данный метод представляет собой прямую дискретизацию системы уравнений Максвелла в дифференциальной форме, при этом полевые компоненты или потенциалы вычисляются в узлах структурированной (например, кубической) сетки.

В основе метода лежит использование системы уравнений Максвелла (1) – (4). Для исследования пространства, не имеющего электрических и магнитных зарядов, эта система может быть представлена в виде [7, 9]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial t} &= \frac{1}{m} \nabla \times H \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= -\frac{1}{\mu} \nabla \times E \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Следовательно, для каждого осевого компонента:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right), \quad \frac{\partial E_y}{\partial t} = -\frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_z}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial z} \right), \quad \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right). \quad (6)$$

Аналогично для напряженности магнитного поля:

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right), \quad \frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right), \quad \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right). \quad (7)$$

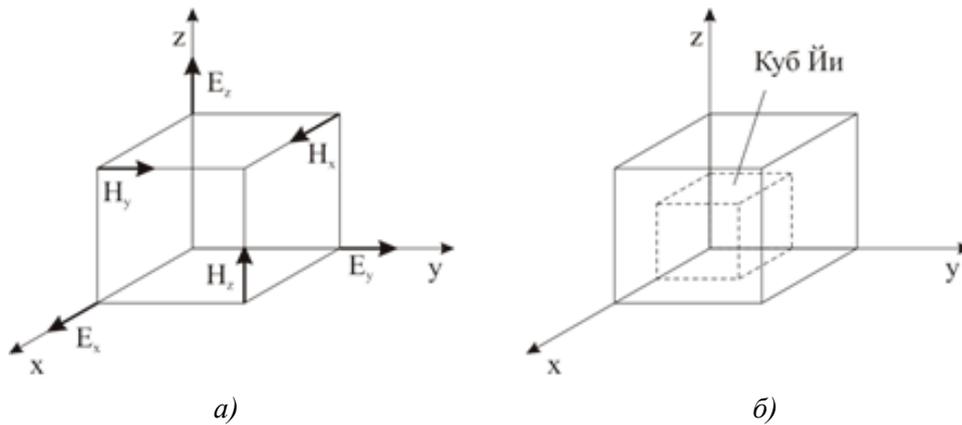
Вся рассматриваемая область пространства разбивается на элементарные элементы (воксели), обладающие линейными размерностями по всем координатным осям (рисунок 1, а). Векторы напряжённостей электрического и магнитного полей располагаются внутри вокселей в соответствии со схемой Йи (рисунок 1, б), позволяющей оперативно выполнять конечно-разностные расчёты во временной области распространяющегося электромагнитного поля [7-9]. Внутри пространственного вокселя размещается, так называемый, куб Йи. При этом каждый из линейных размеров куба составляет половину из соответствующих размеров исходного вокселя.

В рамках проведённых исследований алгоритмы расчёта реализованы на языке программирования F#, при этом рассмотренный алгоритм выбран по условиям простоты его реализации и наглядности.

Метод конечных разностей во временной области положен в основу многофункционального аппаратно-программного комплекса, позволяющего автоматизировать процессы измерения, обработки данных и представления полученной информации в виде пространственных картин электромагнитного поля и карт опасности электромагнитных излучений.

Реализация данного подхода позволяет существенно модернизировать принципы многочастотного контроля ЭМИ и выбирать на этой основе организационно-технические мероприятия по нормализации электромагнитной обстановки в условиях экономических и технических ограничений.

Проект выполнен при поддержке Некоммерческого партнерства «Глобальная энергия» (Грант №МГ-2015/04/2).



а) б)
Рисунок 1 – Расположение векторов E и H на кубе Йи, и куба Йи – внутри вокселя пространства

Список литературы

1. Сошников, А. А. Контроль электромагнитной обстановки на объектах с источниками электромагнитных излучений [Текст] / А.А. Сошников, Н.П. Воробьев, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.64-68.
2. Титов, Е.В. Анализ опасности электромагнитных излучений в помещениях [Текст] / Е.В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.
3. Титов, Е.В. Определение допустимого времени пребывания в зоне влияния электромагнитных излучений [Текст] / Е. В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2014. – № 3 (113). – С. 49 - 54.
4. Титов, Е.В. Анализ опасности электромагнитных излучений в помещениях [Текст] / Е.В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.
5. Титов, Е. В. Оценка электромагнитной обстановки на объектах АПК [Текст] / Е. В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.75 - 77.
6. Кузнецов, И.В. Повышение точности позиционирования мобильных станций на основе статических параметров электромагнитного поля с использованием уравнений Максвелла [Текст] / И.В. Кузнецов, К.Н. Зотов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа, 2013. – № 1, т. 9. – С.89 - 92.
7. Rylander Thomas. Computational Electromagnetics [Text]: Second Edition / Rylander Thomas, Bondeson Anders, Ingelström Pär. –Springer, 2013. – Vol. 51 of Texts in Applied Mathematics.
8. Мигалёв, И. Е. Практическое применение метода конечных разностей во временной области к моделированию электромагнитного поля [Текст] // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 33-35.
9. FDTD (Finite-Difference Time-Domain) [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://fdtd.kintechlab.com/ru/fdtd>, свободный. – Загл. с экрана.

Сошников Александр Андреевич – д-р техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, профессор кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29; e-mail: epb_401@mail.ru

Титов Евгений Владимирович – канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доцент кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29; e-mail: 888tev888@mail.ru

Мигалёв Иван Евгеньевич – соискатель ученой степени канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29 ; e-mail: i.migalev@gmail.com; тел.: (3852) 36-71-29

The article describes a streamlined method for evaluation of electromagnetic environment on the results of a limited number of measurements near sources of EMR and method modeling of electromagnetic field.

Keywords: electromagnetic radiation, electromagnetic environment, electromagnetic field modeling, computational electrodynamics.

Bibliography

1. Soshnikov, A. A. Kontrol' ehlektromagnitnoj obstanovkina ob"ektah sistochnikah ehlektromagnitnyh izluchenij [Tekst] / A. A. Soshnikov, N. P. Vorob'ev, E. V. Titov // Polzunovskij vestnik. – Barnaul, 2012. – № 4. – S. 64-68.
2. Titov, E. V. Analiz opasnostih ehlektromagnitnyh izluchenij v pomeshcheniyah [Tekst] / E. V. Titov // Vestnik AGAU. – Barnaul, 2012. – № 12 (98). – S. 94 – 97.
3. Titov, E. V. Opredelenie dopustimogo vremeni prebyvaniya v zone vliyaniya ehlektromagnitnyh izluchenij [Tekst] / E. V. Titov // Vestnik AGAU. – Barnaul, 2014. – № 3 (113). – S. 49 - 54.
4. Titov, E. V. Analiz opasnostih ehlektromagnitnyh izluchenij v pomeshcheniyah [Tekst] / E. V. Titov // Vestnik AGAU. – Barnaul, 2012. – № 12 (98). – S. 94 – 97.
5. Titov, E. V. Ocenka ehlektromagnitnoj obstanovkina ob"ektah APK [Tekst] / E. V. Titov // Polzunovskij vestnik. – Barnaul, 2012. – № 4. – S. 75 - 77.
6. Kuznecov, I. V. Povyshenie tochnosti pozicionirovaniya mobil'nyh stancij na osnove staticheskikh parametrov ehlektromagnitnogo polya s ispol'zovaniem uravnenij Maksvela [Tekst] / I. V. Kuznecov, K. N. Zotov // EHlektrotehnicheskie informacionnye kompleksy sistemy. – Ufa, 2013. – № 1, t. 9. – S. 89 - 92.
7. Rylander Thomas. Computational Electromagnetics [Text]: Second Edition / Rylander Thomas, Bondeson Anders, Ingelström Pär. – Springer, 2013. – Vol. 51 of Texts in Applied Mathematics.
8. Migalyov, I. E. Prakticheskoe primeneniye metoda konechnykh raznostej vo vremennoj oblasti k modelirovaniyu ehlektromagnitnogo polya [Tekst] // Polzunovskij vestnik. – 2012. – № 4. – S. 33-35.
9. FDTD (Finite-Difference Time-Domain) [EHlektronnyj resurs]. – 2013. – Rezhim dostupa : <http://fdtd.kintechlab.com/ru/fdtd>, svobodnyj. – Zagl. s ehkrana.

Soshnikov Alexander Andreevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29,
E-mail: epb_401@mail.ru

Titov Evgeny Vladimirovich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29,
e-mail: 888tev888@mail.ru

Migalyov Ivan Evgenyevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29 ,
e-mail: i.migalev@gmail.com

УДК 631.71:621.31

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Никольский О.К., Воробьев Н.П.

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

Показана перспективность использования системного подхода, позволяющего идентифицировать объективно существующие опасности в электроустановках. Предложено системное исследование безопасности электроустановок интерпретировать как построение человеко-машинной системы "человек-электроустановка-среда".

Ключевые слова: структура и свойства системы, интегральный риск, неопределенность, человеко-машинная система.

Основные понятия. Одной из характеристик опасности, широко используемой в настоящее время, является риск. При этом риск трактуется как количественная характеристика степени опасности, возникающая в результате деятельности человека [1]. Вопросам оценки и анализа техногенных рисков посвящено множество работ, которые отличаются неоднозначностью и противоречивостью сущности и трактовки самого понятия риска. Очевидно, что объяснением этому является многогранность и сложность самого явления риска. Анализируя различные определения риска, следует отметить, что они

проявляются через множество других понятий, ключевыми из них являются опасность и ущерб, которые, в свою очередь, интерпретируются в широком спектре семантики.

Риск, являясь наиболее емким интегральным понятием, фактически служит своего рода объективной мерой осознаваемой человеком опасности его жизни и деятельности. С этих позиций опасность техногенного характера может рассматриваться как состояние, внутренне присущее какому-либо техническому объекту. Такое состояние может проявляться в виде поражающих, вредных или деструктивных воздействий в форме прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе эксплуатации этих объектов или при создании нештатных ситуаций. Изложенные общие соображения относительно сущности техногенного риска в полной мере относятся к рассматриваемому нами объекту - системе электроснабжения и различным электроустановкам. Причем техногенная опасность (риск) здесь трактуется более широко: создаются не только угрозы жизни и здоровью человека, но и снижается качество электроэнергии потребителей, увеличиваются потери, возникают помехи, т.е. ухудшается электромагнитная совместимость (ЭМС). Здесь ЭМС рассматривается как способность электроустановок надежно функционировать с заданным (нормативным) качеством и не создавать при этом угроз жизни и здоровью человека, а также недопустимых электромагнитных помех для других технических средств [2].

Необходимость изучения проблемы анализа и управления риском вытекает из признания многими исследователями, с одной стороны, факта полной неустранимости риска антропогенного происхождения, а с другой - возможности его коррекции. В настоящее время при анализе техногенного риска используются следующие его трактовки:

1. Риск рассматривается как вероятность появления какого-либо опасного события.
2. Риск интерпретируется в виде ущерба (материального, социального, экологического), наносимого в результате наступления неблагоприятного события.
3. Риск представляется в виде двухпараметрической модели, включающей в себя как вероятность наступления опасного события, так и величину связанных с ним потерь.

Отдавая должное используемым трактовкам риска, отметим, что представление риска электроустановки в виде двухпараметрической случайной величины наиболее полно отражает его сущность. Вместе с тем, несмотря на значительное число исследований [3, 4, 5] посвященных методам оценки рисков на особо опасных объектах (химическое производство, нефтегазовый комплекс, энергетика и др.), в настоящее время отсутствуют методические основы разработки математических моделей рисков систем электроснабжения (в т.ч. электроустановок), не обоснованы также соответствующие критерии и показатели в контексте рассмотрения объекта исследования как человеко-машинной системы [6].

Интегральный риск, его структура и математическая модель. Под интегральным риском электроустановки (ИРЭ) будем понимать показатель потенциальной техногенной опасности, учитывающий социальный, материальный и экологический ущерб, выраженный в едином денежном эквиваленте. Тогда математическая модель ИРЭ может быть представлена как

$$R_{\Sigma} = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{Э}}), \quad (1)$$

где $R(Y_C)$, $R(Y_M)$, $R(Y_{\text{Э}})$ - риски социального, материального и экологического ущерба ($R(Y_C)$, $R(Y_M)$ и $R(Y_{\text{Э}})$).

Интегральный риск должен учитывать все виды опасности электроустановки, включая электрическую, пожарную, электромагнитную и экологическую, обусловленные неконтролируемым высвобождением электрической энергии, ее распространением и негативным воздействием на людей и сельскохозяйственных животных, материальные и природные ресурсы, электромагнитную обстановку.

Будем рассматривать интегральный риск R_{Σ} как результат взаимодействия системы «человек–электроустановка–среда». Здесь компонент человек (Ч) является не только

потенциальной жертвой, но и причиной аварии или несчастного случая. Компонент электроустановка (ЭУ) следует интерпретировать как источник техногенной опасности. Другими словами, все три компонента являются источниками причин возникновения опасных техногенных ситуаций (ОТС) и их исходов, т.е. отказов и аварий электроустановок, ошибок и неправильных действий человека (в частном случае, обслуживающего персонала) и негативных (неконтролируемых) воздействий факторов среды. В этом случае интегральный риск условно можно представить в виде заштрихованного сегмента, образованного при пересечении трех окружностей (рисунок 1). Возникающее неравновесие человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С), вызванное накопленной энергией, приводит к реализации опасности риска вследствие скачкообразного или постепенного прироста энтропии в результате аварии электроустановки или по причине старения и износа электрооборудования.

Рассмотрим интегральный риск R_{Σ} как экономическую категорию, имея в виду вложенные инвестиции в создание превентивных мер электрозащиты, а также ожидаемые потери и ущербы, связанные с техногенной опасностью. Причем, ущерб, выраженный в денежном эквиваленте, может быть как предотвращенный, так и остаточный [7].

Примем постулат, что R_{Σ} всегда связан со стохастическими процессами и явлениями в электроустановках в условиях неопределенности исходной информации.

Согласно [8] интегральный риск электроустановки характеризуется различными неоднозначными свойствами, включая объективность и субъективность, неопределенность и альтернативность и др. Рассчитать интегральный риск последствий, достоверно отражающих социальные и экономические потери на основании доступной статистики, зачастую невозможно. Поэтому наряду с доступной статистикой (показатели пожарной обстановки и аварийности, несчастные случаи от электропоражений) рекомендуется использовать новые подходы, основанные на экспертных системах, позволяющие оценить убытки от техногенных угроз [9].

При оценке опасности электроустановок в практической деятельности надзорных органов могут быть использованы различные виды риска: технический, техногенный, социальный и т.д. Попытка введения порогового значения риска привела к понятию "приемлемого риска аварии", характеризующего уровень допустимой его величины, исходя из социально-экономических соображений.

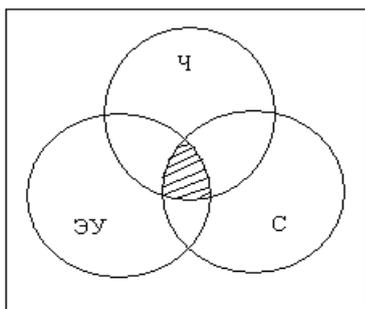


Рисунок 1 – Иллюстрация интегрального риска опасности электроустановки

Данный подход достаточно широко используется в развитых странах и положен в основу современной научно-технической политики в области техногенной безопасности в России. Его применение позволяет исследовать и учитывать весь спектр воздействий на техносферу и окружающую среду, по всему жизненному циклу объектов, и адекватно реагировать на различные источники и уровни опасностей, прогнозировать аварийные ситуации и сценарии их развития, создавать эффективные системы управления снижения риска и ущерба от аварий, ликвидации их последствий, предъявлять обоснованные требования к новым проектным разработкам.

Отметим, что в настоящее время допустимое (приемлемое) значение риска опасности электроустановок в России не регламентируется. Исключение составляет статья

82 Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", в которой указывается, что уровень пожарной безопасности не должен превышать значения, равного $1 \cdot 10^{-6}$. Такое значение, на наш взгляд, может быть принято в качестве приемлемого риска для электроустановок зданий и сооружений.

На основании обзора научных источников ниже приведены данные, которые следует рассматривать в качестве временных норм.

Риск более $1 \cdot 10^{-4}$ – зона недопустимого риска. В этой зоне необходимо производить соответствующий комплекс мероприятий по его снижению.

Риск менее $1 \cdot 10^{-4}$, но более $1 \cdot 10^{-6}$ – зона контроля риска. В этой зоне риск считается допустимым только тогда, когда приняты меры, позволяющие его снизить настолько, насколько это практически целесообразно. При этом необходимо выполнять следующие требования: в зоне должно находиться ограниченное число людей в течение ограниченного отрезка времени.

Риск менее $1 \cdot 10^{-6}$ – зона безусловно приемлемого риска. В этой зоне не требуется проведение дополнительных защитных мероприятий.

Приведенные значения интегрального риска могут изменяться на различных этапах жизненного цикла электроустановки.

В общем случае оценка (измерение) риска электроустановки предполагает определение прогнозной эффективности человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С). На основании анализа на рисунке 2 приведена таксономия опасностей - классификация видов риска электроустановки.

Рассмотрим риск как количественную меру опасности

$$R_{\Sigma} = \sum_i^n P_i Y_i \quad (2)$$

при условии, что могут возникнуть n опасных событий i с различными вероятностями P_i и соответствующим им ущербом Y_i . Тогда выражение интегрального риска может быть представлено как

$$R_{\Sigma} = \int F(Y) P(Y) dY, \quad (3)$$

где $F(Y)$ - весовая функция потерь, с помощью которой последствия опасностей различной природы приводятся к единой (стоимостной) оценке ущерба; $P(Y)$ - плотность распределения случайной величины Y .



Рисунок 2 – Таксономия рисков

В такой формулировке риск, как уже отмечалось выше, являющийся количественной мерой опасности, фактически определяется как математическое ожидание ущерба (потерь).

Интегральный ущерб. Будем считать ущерб как некоторый экономический количественный показатель, являющийся составной частью вреда от происшествий, наносимых физическим и юридическим лицам. В этом случае вред можно интерпретировать как цепь последовательных взаимосвязанных негативных событий, распределенных в пространстве и во времени. Для учета наносимых электроустановкой разновидностей вреда введем понятие интегрального ущерба – комплексного показателя последствий наступивших техногенных опасностей объекта, выраженного в едином денежном эквиваленте. Этот показатель позволяет применить механизм исчисления экономической эффективности при оптимизации системы обеспечения безопасности электроустановок на этапах проектирования и эксплуатации (рисунок 3).

В соответствии с принятой классификацией полный ущерб складывается из прямого и косвенного, каждый из которых, в свою очередь, содержит социальную, материальную и экологическую составляющую ущерба. Считаем, что полный ущерб в достаточной степени отражает все издержки, являющиеся компонентом интегрального риска. Поэтому полный ущерб в определенной степени отражает интегральный ущерб электроустановки.

Условимся считать, что прямой (непосредственный ущерб) обусловлен утратой работоспособности ЭУ (выход из строя, т.е. отказ). Косвенный ущерб, являясь следствием прямого, в общем случае определяется разрушением связей между электроустановкой и другими (сторонними) объектами, использующими электроэнергию для технологических нужд.

Рассмотрим составляющие интегрального ущерба:

-**социальный ущерб (Y_c).** Этот вид ущерба проявляется в виде гибели людей, вызванной электрическим поражением, или при пожаре из-за повреждения электроустановки, а также потерями трудоспособности, обеспечения услугами

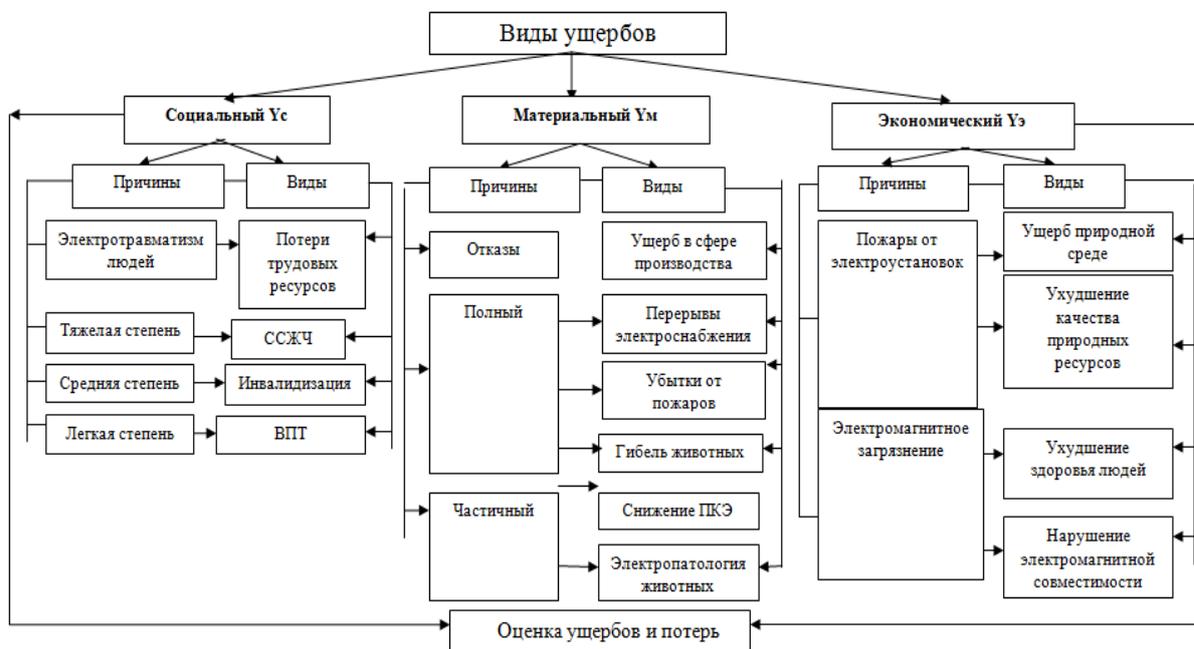


Рисунок 3 - Структура интегрального ущерба в человеко-машинной системе

здравоохранения, социальными льготами и другими компенсационными затратами.

-**материальный ущерб (Y_m).** Объектом материального ущерба, вызванного отказами (авариями) электроустановки, являются производственные, общественные и жилые здания, готовая продукция или недоотпуск ее, убытки, вызванные перерывами электроснабжения, снижения качества электроэнергии, подаваемой потребителю.

Последствия этого вида ущерба могут привести к снижению эффективности объектов энергетики, вызванной нарушением режимов работы электроустановок, преждевременному выбытию основных производственных фондов и мощностей.

- *экологический ущерб* (Y_3). Этот вид ущерба обусловлен возникновением пожаров от электроустановок и опасными электромагнитными излучениями и проявляется в виде ухудшения характеристик природных ресурсов, животного и растительного мира и т.д.

Несмотря на имеющуюся условность и нечеткость отдельных компонентов структуры интегрального ущерба, предложенная классификация позволяет изучить многогранность проявления техногенного ущерба и его зависимость от большого числа перечисленных выше факторов. Все это свидетельствует о необходимости одновременного учета как вероятности возникновения аварий и несчастных случаев в электроустановках, так и издержек и потерь, являющихся следствием проявления этих опасных событий.

Таким образом, угрозы жизнедеятельности человека, сельскохозяйственных животных, отказов и аварий, чрезвычайных ситуаций (пожаров) и др. реализуются в виде опасных техногенных ситуаций, оказывающих поражающее, вредное и деструктивное воздействия, возникающие в системе (Ч-ЭУ-С).

Результатом этих воздействий является изменения объектов и среды, выражающиеся в нарушении их целостности, ухудшении режимов функционирования и т.д. Поэтому следует различать понятие последствий от техногенных опасностей, носящий обобщенный неэкономический характер, и понятие ущерба, представляющего количественную величину, т.е. экономическую категорию. В контексте сказанного ущерб трактуется как оцененные последствия.

Будем рассматривать интегральный ущерб Y_{Σ} от ОТС, вызванных электроустановками объектов АПК и инфраструктуры сельских поселений, как сумму базовых составляющих

$$Y_{\Sigma} = Y_{\text{ч}} + Y_{\text{о}} + Y_{\text{с}} \quad (4)$$

где $Y_{\text{ч}}$ - ущербы человеку (населению, персоналу) - медико-биологического характера (утрата здоровья и жизни);

$Y_{\text{о}}$ - ущербы объектам техносферы, определяются суммированием от повреждения и разрушения основных фондов инфраструктуры объектов электроэнергетики (электрические сети, электроустановки, технологическое оборудование и т.д.);

$Y_{\text{с}}$ - ущербы окружающей среде определяются суммированием ущербов, включая упущенную выгоду и дополнительные затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий для жизнедеятельности человека, животного и растительного мира.

Основы принятия решений в области менеджмента техногенных рисков. Управление рисками опасности электроустановок объектов АПК будем рассматривать как процесс, включающий разработку методов и мер, призванных эффективно реализовать решения по обеспечению техногенной безопасности. Основной целью такой деятельности следует считать оптимальное распределение ограниченных материальных и финансовых ресурсов на снижение различных видов риска функционирования человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С) для достижения приемлемого уровня безопасности населения и окружающей среды.

В общем случае структура управления техногенными рисками ЭУ включает следующие основные элементы:

- мониторинг окружающей среды для обнаружения областей повышенного риска;
- оценку степени риска и анализ приемлемости данного его уровня;
- разработку мер по предупреждению или снижению риска, включая обоснование превентивных мер электрической защиты и рациональное распределение ресурсов;
- уменьшение (ликвидацию) негативных последствий аварий, пожаров и т.д. (путем реабилитационных и компенсационных мероприятий, возмещения потерь и ущерба).

Методической основой управления техногенными рисками является теория принятия решений (ТПР) [10]. Эта теория предназначена для обоснования управленческих решений

(выбор наилучшей альтернативы из числа имеющихся) на этапах анализа, разработки и эксплуатации сложных человеко-машинных систем. Отличительная особенность ТПР состоит в том, что она позволяет формализовать определенный вид человеческой деятельности, ориентированной на установление наилучшего варианта решения путем определения количественных зависимостей между компонентами системы (Ч-ЭУ-С) и критериями её эффективности.

В настоящее время система поддержки принятия решений получила широкое применение в задачах охраны окружающей среды. Обзор компьютерных систем поддержки ТПР для ликвидации последствий экологических аварий, связанных с загрязнением окружающей среды, представлен, в том числе в работе [11]. Вместе с тем, методология управления техногенными рисками и, в частности, электроустановками зданий, находится на ранней стадии развития и, как правило, носит фрагментарный характер.

Принятие решений, направленных на оптимизацию техногенных рисков в электроустановках, затруднено:

- сложностью (неясностью) процессов взаимодействия компонентов различной природы человеко-машинной системы «Ч-ЭУ-С»;
- значительностью количества рискообразующих случайных факторов, влияющих на выбор управленческих решений;
- непрерывностью потока энергоэнтропийных «возмущений» на объекте, вследствие чего образуется причинная цепь предпосылок (неисправность и отказы электроустановки, ошибочные действия персонала и т.д.);
- расплывчатостью целей и наличием разнообразных ограничений технологического, социального и экономического характера.

Учет основных рискообразующих факторов системы требует применения эффективных информационных технологий. Причем, получаемая информация постоянно меняется и не является устойчивой. Это приводит к тому, что образуемые знания (база данных) с течением времени утрачиваются и при повторном возникновении опасной техногенной ситуации не всегда могут быть использованы. Входные данные в систему (Ч-ЭУ-С) не обладают свойствами полноты, достоверности и четкости, вследствие чего могут возникать издержки от недостаточного учета и анализа исходных данных. Стремление к улучшению качества входной информации, в том числе за счет увеличения ее объемов, также может привести к определенным трудностям экономического и организационного характера.

Отмеченные обстоятельства ставят задачу поиска новых подходов, направленных на предупреждение и минимизацию техногенных рисков электроустановок объектов.

Процесс формирования принятия решения может быть представлен в виде циклической последовательности действий субъекта управления техногенной безопасностью электроустановок и заключается в анализе ситуаций, генерации альтернатив и выборе из них оптимальной, дальнейшей практической реализации принятого решения и организации его выполнения с последующим контролем и оценкой полученных результатов (рисунок 4).

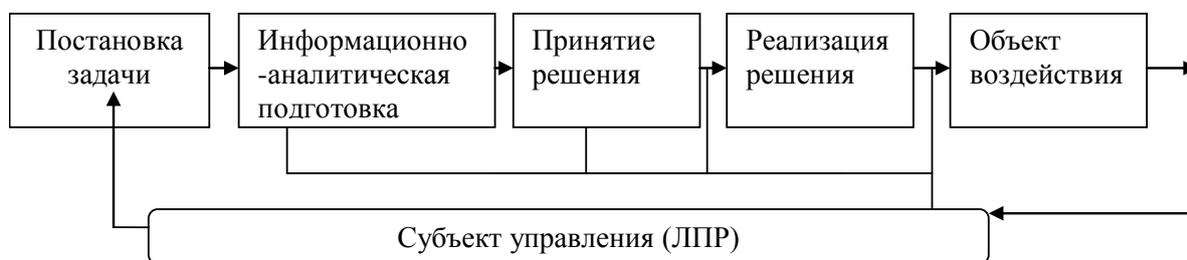


Рисунок 4 - Функциональная структура системы принятия решений

Принятие обоснованного решения в значительной степени определяется наличием и правильностью использования информации. Обладая нужной информацией, лицо, принимающее решения (ЛПР), анализирует статистические данные, учитывает опыт прошлого, ориентируется в возможном изменении окружающей среды, намечает

целесообразные варианты действий с учетом перспектив развития. Здесь ЛПР приходится сталкиваться с неопределенностью, обусловленной:

- а) недостоверностью исходных статистических данных;
- б) качественным характером информации и невозможностью количественной оценки рискообразующих факторов;
- в) отсутствием необходимых данных и значительными затратами времени и средств для их получения;
- г) многокритериальностью (нечеткостью) целей, альтернатив и ограничений. Обобщая изложенное, отметим, что неопределенность, присущая аналитическим задачам принятия решений, имеет более общую природу, а не только статистическую. Сущность этой природы кроется в конфликтности функционирования и развития человеко-машинных систем типа (Ч-ЭУ-С). Причем, конфликтующими факторами здесь является не противодействие сторон (в прямом смысле этого слова), а такие системные свойства как многокритериальность, стохастичность функционирования компонентов, неопределенность исходной и текущей информации и т.д.

На этапе постановки задачи основными являются формирование цели и альтернатив - вариантов (способов) построения системы безопасности электроустановок (СБЭ), а также определение ресурсов, требуемых для осуществления каждой из альтернатив. Этап информационно-аналитической подготовки предполагает построение моделей функционирования рассматриваемой человеко-машинной системы с помощью некоторого формального языка (математики, логики, экспертных оценок, семантического описания), отражающего связи между целями, альтернативами и затратами. На этапе принятия решения обосновывается критерий (или система критериев), с помощью которого сопоставляются альтернативные варианты и выбирается их наиболее предпочтительный с учетом затрат и вклада каждой альтернативы в достижение поставленной цели. При выборе наиболее предпочтительного варианта СБЭ следует учитывать существующее состояние и возможные изменения внешней среды, т.е. рискообразующих факторов, которые не поддаются регулированию со стороны ЛПР, но могут оказать существенные влияния на реализацию этого варианта. При сравнении и выборе вариантов решения возникает проблема многозначности их оценки по различным показателям (критериям). При этом, чем большее число показателей (надежность, безопасность, экономичность и эргодичность) характеризует обобщенный критерий (интегральный риск), тем точнее можно сделать выбор наилучшего решения. Однако многозначность и качественное различие показателей выступают серьезным препятствием для получения общей оценки, необходимой для принятия решения.

Объединение качественно различных показателей и критериев в один обобщенный требует обязательной оценки относительной значимости каждого из них.

На рисунке 5 приведена концептуальная схема принятия решений по управлению техногенными рисками, имея в виду, как снижение возможности появления ОТС, так и минимизацию потерь и ущербов от них.

Анализируя содержание этапов принятия решений, отметим, что в основе исследования человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С) лежит так называемая модельная проблема [11], связанная с разработкой абстрактного формализованного описания исходной ситуации принятия решения и определения условий, ограничивающих выбор и предпочтения, которым должно удовлетворять оптимальное решение.

Выводы

1. Приведенная концепция техногенного риска электроустановки базируется на универсальной трактовке R_2 как двухпараметрической модели, учитывающей вероятность наступления опасного случайного события и его последствия, представляющие ущерб, наносимый человеку, имуществу и среде его обитания. Предложено интегральный риск выражать в едином денежном эквиваленте, что позволяет применить механизм оценки

экономической эффективности при проведении оптимизации системы безопасности электроустановок.

2. Проведенный анализ структуры полного (интегрального) ущерба в рамках человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С) позволяет учесть многообразие последствий опасностей, вызванных ошибками персонала (человеческий фактор) и сверхнормативными параметрами окружающей среды (экологический фактор).

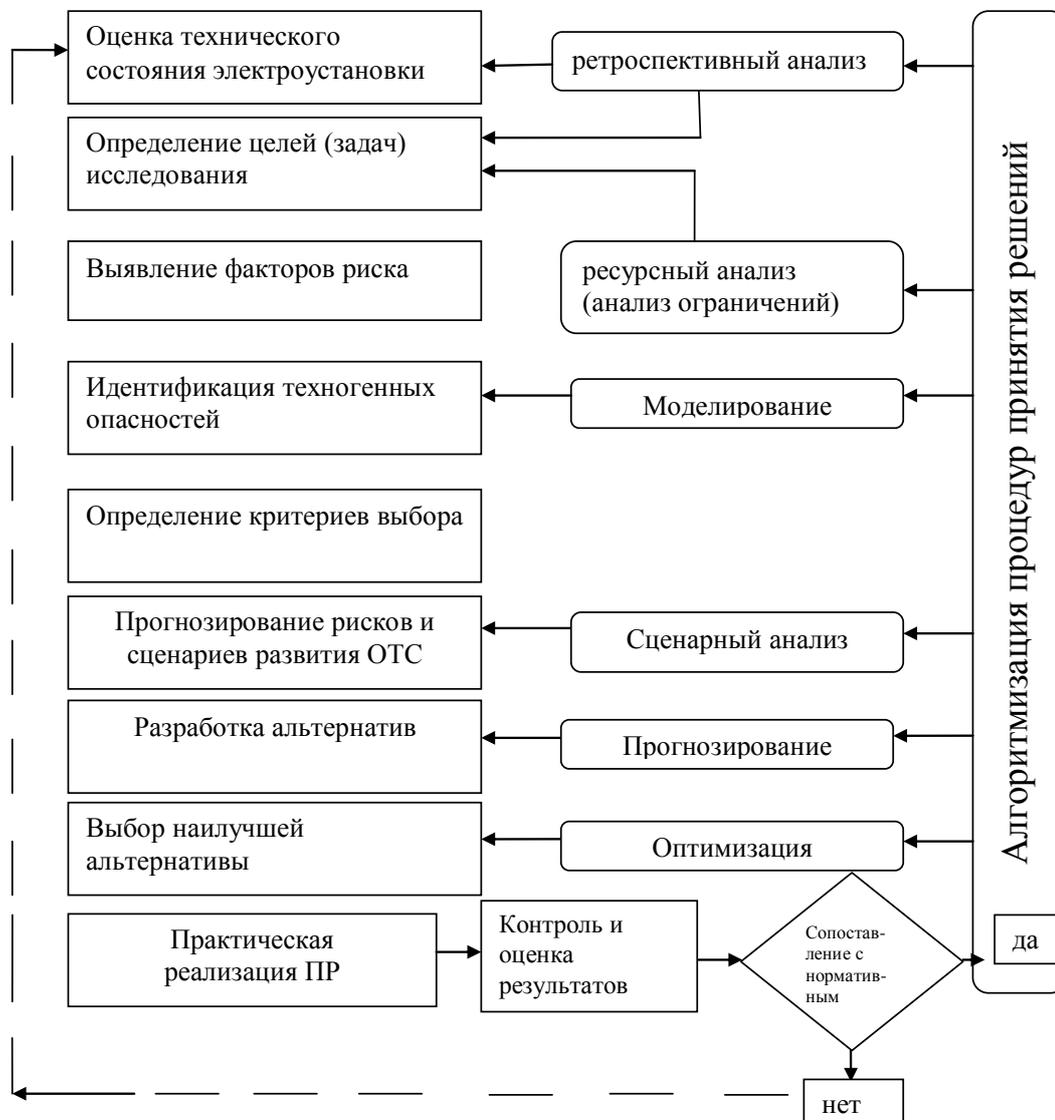


Рисунок 5 - Блок-схема принятия решений

3. Сформулированы принципы управления (менеджмента) техногенными рисками электроустановок на основе теории принятия решений. Целью менеджмента R_2 следует считать оптимальное распределение ограниченных ресурсов для достижения уровня безопасности населения и окружающей среды, приемлемого по социальным и экономическим соображениям.

Список литературы

1. Никольский, О.К. Критериальная оценка рисков сельских электрических сетей. [Текст]: статья /А.Ф. Костюков, О.К. Никольский, Н.И. Черкасова // Барнаул: Вестник АГАУ -2014. - № 10. - С. 126 - 131.

2. Основы электромагнитной совместимости: учебн. для вузов / Л.В. Куликова и др., под ред. докт. техн. наук, проф. Р.Н.Карякина. – АлтГТУ, Барнаул: ОАО «Алтайск. полиграф.комбинат», 2007. - 480 с.

3. Мартынюк, В.Ф. Роль анализа риска в обеспечении промышленной безопасности / В.Ф. Мартынюк // Безопасность труда в промышленности — 2007, №1. - С. 66-67.
4. Макаров С.П. Технические и организационные мероприятия по снижению риска и смягчению последствий ЧС на магистральных нефтепродуктопроводах / С.П. Макаров // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях - 2001, - №5. - С.72-77.
5. Елохин, А.Н. Анализ и управление риском: теория в практике / А.Н. Елохин.— М.: Лукойл, 2000. - 185 с.
6. Махутов, Н.А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: учеб. пособие / Н.А.Махутов, М.М. Гаденин, под общ. ред. В.В.Клюева. - М.: Изд. дом «Спектр», 2011. - 187 с.
7. Еремина, Т.В. Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок: монография / Т.В. Еремина, под ред. засл. деят. науки и техн. Никольского О.К. - Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2010.- 200 с.
8. Никольский, О.К. Принципы интегральной оценки безопасности электроустановок. [Текст]: статья / О.К. Никольский, Н.И. Черкасова // Вестник ИрГСХА: - выпуск 62. - июнь 2014. Иркутск. - С. 118 - 121.
9. Никольский, О.К. Проблема неопределенности при анализе рисков электроустановок. [Текст]: статья / А.Ф. Костюков, О.К. Никольский, Н.И. Черкасова // Вестник ИрГСХА: - выпуск 64. - ноябрь 2014. Иркутск. - С. 106 - 109.
10. Ларичев О.И., Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И.Ларичев, Е.М. Мошкович. — М.: Наука. Физматлит, 1996. -208 с.
11. Кульба, В.В. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов и др. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.

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, erp_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Воробьев Николай Павлович – д-р техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина, 46, (83852) 29-08-82, 36-71-29, vnpol51p@ya.ru, 8-961-9999-304.

SYSTEM ANALYSIS OF SAFETY OF ELECTROINSTALLATIONS

Nikolsky O.K., Vorobjev N.P.

Russia, Barnaul, Altai state technical university of I. I. Polzunov

Prospects of use of the system approach allowing to identify objectively existing dangers in electroinstallations are shown. It is offered to interpret system research of safety of electroinstallations as creation of the human-machine person-electroinstallation-Wednesday system.

Keywords: Structure and properties of system, integrated risk, uncertainty, chelovekomashinny system.

Bibliography

1. Nikolskij, O.K. Kriteriálnaya ocenka riskov selskix elektricheskix setej. [Tekst]: statya / A.F. Kostyukov, O.K. Nikolskij, N.I. Cherkasova // Barnaul: Vestnik AGAU -2014. - № 10. - S. 126 - 131.
2. Osnovy elektromagnitnojsovmestimosti: uchebn. dlyavuzov / L.V. Kulikovaidr., podred. dokt. texn. nauk, prof. R.N.Karyakina. – AltGTU, Barnaul: OAO «Altajsk. poligraf. kombinat», 2007. - 480 s.
3. Martynyuk, V.F. Rol analiza riska v obespechenii promyshlennoj bezopasnosti / V.F. Martynyuk // Bezopasnost truda v promyshlennosti — 2007, №1. - S. 66-67.
4. Makarov S.P. Texnicheskie i organizacionnye meropriyatiya po snizheniyu riska i smyagcheniyu posledstvij ChS na magistralnyx nefteproduktoprovodax / S.P. Makarov // Problemy bezopasnosti pri chrezvyčajnyx situacijax - 2001, - №5. - S.72-77.
5. Eloxin, A.N. Analiz i upravlenie riskom: teoriya v praktike / A.N. Eloxin. — М.: Lukojl, 2000. - 185 s.
6. Maxutov, N.A. Texnicheskaya diagnostika ostatochnogo resursa i bezopasnosti: ucheb. posobie / N.A. Maxutov, M.M. Gadenin, pod obshh. red. V.V. Klyueva. - М.: Izd. dom «Spektr», 2011. - 187 s.
7. Eremina, T.V. Veroyatnostnyj analiz bezopasnosti selskix elektroustanovok: monografiya / T.V. Eremina, pod red.zasl. deyat. nauki i texn. Nikolskogo O.K. - Ulan-Ude, Izd-vo VSGTU, 2010. — 200 s.
8. Nikolskij, O.K. Principy integralnoj ocenki bezopasnosti elektroustanovok. [Tekst]: statya / O.K. Nikolskij, N.I. Cherkasova // Vestnik IrGSXA: - vypusk 62. - iyun 2014. Irkutsk. - S. 118 - 121.

9. Nikolskij, O.K. Problema neopredelennosti pri analize riskov elektroustanovok. [Tekst]: statya / A.F. Kostyukov, O.K. Nikolskij, N.I. Cherkasova // Vestnik IrGSXA: - vypusk 64. - noyabr 2014. Irkutsk. - S. 106 - 109.

10. Larichev O.I., Kachestvennyye metody prinyatiya reshenij. Verbalnyj analiz reshenij / O.I. Larichev, E.M. Moshkovich. — M.: Nauka. Fizmatlit, 1996. - 208 s.

11. Kulba, V.V. Metody formirovaniya scenarijev razvitiya socialno-ekonomicheskix sistem / V.V. Kulba, D.A. Kononov i dr. - M.: SINTEG, 2004. - 296 s.

Nikolsky Oleg Konstantinovich - Dr. Sc, Professor, Head of "Electrification of production and way of life", Altai State Technical University. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852) 29-08-82, 36-71-29, epb_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Vorobjev Nikolai Pavlovich - Dr. Sc, Professor, Altai State Technical University. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852) 29-08-82, 36-71-29, vnprol51p@ya.ru, 8-961-9999-304.

УДК 621:311

ИНФОРМАТИВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ 0,38 кВ

Сошников А.А., Компанец Б.С., Каменев А.О.

Российская Федерация, г. Барнаул,

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Произведена оценка возможности обеспечения нормативного времени срабатывания электрической защиты сельских сетей 0,38 кВ и предложено использование в качестве критериев ее эффективности показателей пожарной опасности коротких замыканий.

Ключевые слова: электрическая защита, короткие замыкания, пожарная опасность коротких замыканий.

До выхода главы 1.7 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) 7-го издания [1] проверка условий срабатывания защиты производилась по кратности токов короткого замыкания (КЗ) по отношению к параметрам защитных аппаратов. Пунктом 1.7.79 ПУЭ [1] установлен новый критерий оценки электрической защиты: наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения. В частности, при фазном напряжении 220 В, это время не должно превышать 0,4 с для внутренних распределительных сетей и 5 с – внешних сетей.

Нами произведена оценка возможности выполнения этих критериев в сельских внешних и внутренних сетях 0,38 кВ.

В таблице 1 приведены результаты расчета токов однофазного КЗ в конце воздушной (ВЛ) и кабельной (КЛ) линий 0,38 кВ, сечением проводов 25 мм² и 95 мм², протяженностью 100 м и 800 м, подключенных к трансформаторам мощностью 100 кВА, 250 кВА, 630 кВА при схемах соединения обмоток «звезда-звезда» и «звезда – зигзаг» и индуктивном сопротивлении системы 5 мОм.

Анализ результатов расчетов показывает, что для автоматических выключателей с $I_n = 100$ А и типом характеристики С, которые, как правило, устанавливаются на головных участках линий, при минимально возможном сечении проводов 25 мм², не всегда достигается даже нижняя граница токов срабатывания (500 А) электромагнитных расцепителей (ЭМР) при КЗ в конце линии.

Ток КЗ в конце линии повышается на 30 ... 60 % при увеличении мощности трансформатора; на 12 ... 20 % при замене воздушной линии на кабельную или СИП; на 10...50 % при использовании трансформатора со схемой включения вторичной обмотки в «зигзаг». В наибольшей степени на увеличение тока КЗ на 50...130 % для линии длиной 100 м и на 140...180 % для линии длиной 800 м влияет повышение сечения проводов (до 95 мм).

При малой протяженности головной линии использование одного или нескольких из этих мероприятий позволяет войти в зону срабатывания ЭМР.

При увеличении протяженности головной линии вероятность срабатывания ЭМР существенно снижается из-за слишком низких значений токов КЗ (таблица 1). Проведенные нами расчеты возможного времени срабатывания ТР автоматических выключателей различных типов, установленных на головных участках воздушных линий, показывают, что для верхних значений защитных характеристик регламентируемое [1] время (до 5 с) в большинстве случаев не обеспечивается. Поэтому требуется применять дополнительную защиту, например, с использованием реле, включаемого в рассечку нулевого провода [2].

Ситуация усложняется для внутренних электрических сетей. В таблице 2 приведены результаты расчетов токов однофазного КЗ в конце участков линий длиной 60 м, сечением 4 мм², выполненных алюминиевым и медным проводом, для некоторых из рассмотренных сочетаний параметров ВЛ и силовых трансформаторов.

В рассмотренном примере значения токов КЗ при любой длине головной линии существенно ниже диапазонов срабатывания ЭМР выключателей серии АЕ (с номинальным током от 16 А) даже при проведении всех рассмотренных выше мероприятий. Но при малой длине этой линии (100 м) величина тока КЗ может достигать зоны срабатывания ЭМР для выключателей серии ВА с характеристикой типа В (от 3 I_n до 5 I_n), а, в некоторых случаях, с характеристикой типа С (от 5 I_n до 10 I_n), если номинальный ток выключателей не превышает 32 А. При большой длине линии в ряде случаев не будет обеспечена необходимая чувствительность ЭМР к току КЗ даже выключателей с номинальным током до 16 А.

Таким образом, регламентируемое [1] наибольшее допустимое время срабатывания защиты (0,4 с) во многих случаях будет превышено.

Таблица 1 - Результаты расчета токов однофазного КЗ в конце линий 0,38 кВ при различных параметрах внешней электрической сети

Параметры внешней сети		Величина тока КЗ в конце линии, А			
		При протяженности линии			
Тип Линии	Мощность тр-ра/ схема соединения вторичной обмотки	100 м		800 м	
		Для сечения проводов		Для сечения проводов	
		25 мм ²	95 мм ²	25 мм ²	95 мм ²
ВЛ	100/Y	324	505	69	170
	250/Y	438	859	73	197
	630/Y	508	1189	74	209
КЛ	100/Y	365	547	85	213
	250/Y	518	989	91	256
	630/Y	619	1457	93	278
ВЛ	100/Z	492	1105	74	207
	250/Z	526	1295	75	212
	630/Z	564	1558	75	218
КЛ	100/Z	596	1332	93	274
	250/Z	646	1621	94	283
	630/Z	704	2059	95	294

Кроме того, при защите внутренних электрических сетей возникают дополнительные проблемы. В электропроводах высокую пожарную опасность представляют дуговые КЗ. Возникающая при КЗ электрическая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла часто приводит к развитию пожара. При этом, действуя, как дуга электросварочного аппарата, дуга КЗ может пережечь

электропроводку быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов [3]. Современные методики выбора электрической защиты не учитывают воздействие электрической дуги КЗ на электропроводки. Тем самым допускается возможность электропожара еще на этапе проектирования защиты.

Таблица 2 - Результаты расчета токов однофазного КЗ в конце линий 0,38 кВ при различных параметрах внешней и внутренней электрической сети

Параметры внешней сети		Величина тока КЗ во внутренней сети в конце линии, длиной 60 м сечением 4 мм ² , А							
		При протяженности ВЛ							
Тип линии	Мощность тр-ра/схема	100 м				800 м			
		Для сечения проводов ВЛ				Для сечения проводов ВЛ			
		25 мм ²		95 мм ²		25 мм ²		95 мм ²	
ВЛ	соединения вторичной обмотки	Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил		Для электропроводки с материалом жил	
		Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь	Алюм.	Медь
		100/У	127	169	147	207	52	58	94
250/У	141	195	166	247	54	60	101	126	
630/У	147	207	175	268	55	62	105	132	

Массовое применение устройств защитного отключения (УЗО) не решает проблему в полной мере, так как по принципу действия они не реагируют на однофазные КЗ на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагаются на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова предложен подход к оценке эффективности электрической защиты по показателям пожарной опасности КЗ, основанный на следующем [3 - 5].

Диапазон токов КЗ данного вида на участке сети, для которого время пережога электропроводки возникающей электрической дугой меньше времени срабатывания защиты, называется незащищенной зоной или зоной пережога (рисунок 1). Отношение диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети можно интерпретировать, как долю незащищенной части участка сети.

Показатель $k_s^{нз(k)}$, определяемый долей незащищенной части участка сети (отношением длины незащищенной части участка электрической сети к полной длине участка), называется коэффициентом незащищенности участка сети:

$$k_s^{нз(k)} = \frac{l_s^{нз(k)}}{l_s}, \quad (1)$$

где l_s – длина s -го участка сети ($s = 1, \dots, S$),

$l_s^{нз(k)}$ – длина зоны пережога на этом участке при k -м виде КЗ.

Нулевое значение этого показателя соответствует отсутствию опасности пережога на участке сети (и, как следствие, значительно меньшей опасности пожара, так как процесс развития КЗ ограничивается электрической защитой), а единичное – полной незащищенности участка сети.

На основе этого показателя строится показатель $K^{нз(k)}$, характеризующий пожарную опасность сети в целом. Он может быть определен как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети:

$$K^{нз(k)} = \frac{\sum_{s=1}^S I_s^{нз(k)}}{\sum_{s=1}^S I_s} \quad (2)$$

Этот показатель называется коэффициентом незащищенности электрической сети. Он должен рассчитываться для каждого вида КЗ и имеет граничные значения 0 и 1.

Учитывая, что пожарную опасность при дуговых коротких замыканиях представляют прежде всего участки электрической сети, для которых время пережога меньше времени срабатывания защиты (в этом случае защита не влияет на процесс пережога и пожароопасные факторы электрической дуги) в заданном диапазоне токов КЗ, можно поставить в соответствие эффект пережога до срабатывания защиты и развитие вследствие этого пожара.

Тогда вероятность пожара $P_s^k (П)$ от КЗ данного вида в течение времени T на s -м участке сети можно определить по формуле:

$$P_s^k (П) = P_T^K k_S^{нз(k)} Q_y Q_z Q_p Q_{ТЗ}, \quad (3)$$

где P_T^K – вероятность возникновения КЗ данного вида на участке сети в течение времени T ;

Q_y – вероятность сосредоточения пожароопасного вещества вблизи электропроводки;

Q_p – вероятность перерастания возникшего загорания в пожар;

$Q_{ТЗ}$ – вероятность отказа системы пожаротушения.

Q_z – вероятность воспламенения пожароопасного вещества, включая горючую изоляцию.

В расчетах значения вероятностей Q_y , Q_z , Q_p и $Q_{ТЗ}$ принимаются равными единице, поэтому $P_s^k (П)$ называется показателем пожарной опасности k -го вида короткого замыкания на s -ом участке электрической сети:

$$P_s^k (П) = P_T^K k_S^{нз(k)} \quad (4)$$

Используя коэффициент незащищенности электрической сети, можно определить показатель пожарной опасности k -го вида короткого замыкания для всей электрической сети рассматриваемого объекта по формуле:

$$P^K (П) = P_T^K K^{нз(k)}, \quad (5)$$

где P_T^K – вероятность КЗ k -го вида в электрической сети в течение времени T .

С учетом введенных показателей рассчитывается интегральный показатель пожарной опасности всех видов коротких замыканий в электрической сети.

Введенные показатели могут использоваться в качестве количественной меры пожарной опасности электропроводок.

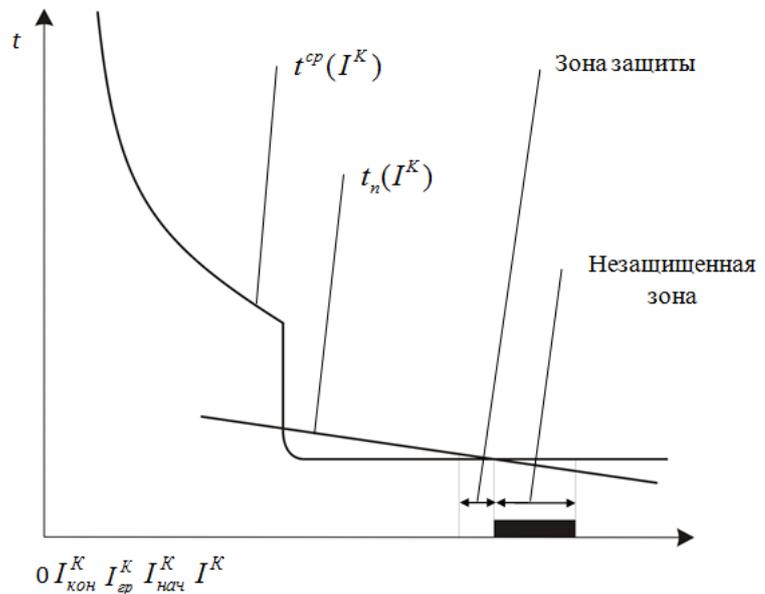


Рисунок 1 – Совмещенные характеристики пережога провода $t_n(I^K)$ и срабатывания автоматического выключателя $t^{cp}(I^K)$

Таким образом, представляется целесообразным производить оценку эффективности электрической защиты по критериям количественной оценки пожарной опасности КЗ, а параметры системы электроснабжения 0,38 кВ, включая типы электропроводок во внутренней электрической сети, выбирать с учетом этих критериев.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.
2. Сошников, А. А. Перспективные направления улучшения функциональных показателей систем сельского электроснабжения / 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. 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. 50 -53.
3. Сошников, А. А. Количественные показатели в технологиях безопасности/ А. А. Сошников, Б.С. Компанец // Ползуновский вестник. - 2014, № 4 Т. 1- С. 119 – 123.
4. Сошников, А. А. Интегральный показатель пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках зданий / А. А. Сошников, С. А. Сошников //Ползуновский вестник.- 2009.- № 4. - С.51-53.
5. Сошников, С. А. Оценка эффективности систем комплексной безопасности электроустановок низкого напряжения / С.А. Сошников, Т. В. Еремина // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009.- № 5.- С. 4-6.

Сошников Александр Андреевич – д-р техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, профессор кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29; e-mail: epb_401@mail.ru

INFORMATIVE CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE ELECTRICAL SAFETY SYSTEMS IN RURAL ELECTRIC NETWORKS 0, 38 kV

Soshnikov A.A., Kompanec B.S., Kamenev A.O.

Russian Federation, Barnaul? Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

The possibility assessment of providing a normative triggering time of safety system in rural electric networks 0,38 kV was produced. It was offered to use indicators of fire danger of short circuits as criteria for its efficiency.

Keywords: electrical protection, short circuits, fire danger of short circuits.

Bibliography

1. Pravila ustrojstva jelektroustanovok. – 7-e izd. – M. : Izd-vo NC JeNAS, 2003. – 176 s.
2. Soshnikov, A. A. Perspektivnye napravlenija uluchshenija funkcional'nyh pokazatelej sistem sel'skogo jelektroustanovki / A. A. Soshnikov, B.S. Kompanec // Jenergo- i resursosberezhenie – XXI vek.: materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj internet-konferencii, 15 marta – 30 ijunja 2015 g., g. Orel / Pod redakciej d-ra tehn. nauk, prof. O.V. Pilipenko, d-ra tehn. nauk, prof. A.N. Kachanova, d-ra tehn. nauk, prof. Ju.S. Stepanova. – Orel: Gosuniversi-tet-UNPK, 2015. – S. 50 -53.
3. Sochnikov, A.A Kolichestvennye pokazateli v tehnologijah bezopasnosti A. A. Soshnikov, B.S. Kompanec // Polzunovskij vestnik. - 2014, № 4 Т. 1- S. 119 – 123.
4. Soshnikov, A. A. Integral'nyj pokazatel' pozharnoj opasnosti korotkih zamykanij v jelektroustanovkah zdaniij / A. A. Soshnikov, S. A. Soshnikov //Polzunovskij vestnik.- 2009.- № 4. - S.51-53.
5. Soshnikov, C. A. Ocenka jeffektivnosti sistem kompleksnoj bezopasnosti jelektroustanovok nizkogo naprjazhenija / С.А. Soshnikov, Т. V. Eremina // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva.- 2009.- № 5.- S. 4

Soshnikov Alexander Andreevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29, E-mail: epb_401@mail.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Королева Т.Г., Мишин М.М.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрены причины, вызывающие значительные технологические потери снижающие эффективность функционирования и развития системы электроснабжения промышленных предприятий. Приведены экономически эффективные методы повышения энергоэффективности таких систем.

Ключевые слова: энергоэффективность, электроснабжение, технологические потери электрической энергии.

Энергетическая эффективность это совокупность характеристик, отражающих отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции или технологическому процессу. Основным критерием оценки эффективности функционирования и развития СЭС предприятий, в том числе мероприятий по снижению потерь электрической энергии (ЭЭ) является надежное и экономичное снабжение потребителей ЭЭ требуемого качества. Анализ энергоэффективности систем электроснабжения (СЭС) предприятий позволит выявить нерациональные затраты энергетических ресурсов и неоправданные потери ЭЭ. Очевидно, что для устранения потерь необходимо выявление источников и причин их возникновения. СЭС промышленных предприятий в нашей стране характеризуются высоким уровнем технологических потерь вследствие эксплуатации устаревшего оборудования, неудовлетворительного состояния и несоответствия современным требованиям стандартов методов учета и регулирования энергопотребления, отсутствия повсеместного внедрения автоматизированных систем учета и контроля энергопотребления.

Значительные технологические потери ЭЭ в СЭС предприятий, как правило, вызваны следующими причинами:

–Вынужденная работа элементов СЭС в неоптимальных режимах при повышенном электропотреблении в часы максимальных нагрузок.

–Неудовлетворительное состояние электрических сетей из-за снижения объемов капитальных ремонтов, реконструкции и замены технически устаревшего и изношенного оборудования.

–Эксплуатация цеховых трансформаторов с низким коэффициентом загрузки.

–Наличие значительных перетоков реактивной мощности в электрических сетях, которые приводят не только к увеличению потерь электроэнергии, но и к снижению их пропускной способности, увеличению потерь напряжения.

–Эксплуатация топологически нерациональных схем электроснабжения.

–Наличие на предприятии нагрузок, вызывающих несинусоидальность и несимметрию фаз при отсутствии мероприятий по их устранению. Перекос фаз вызывает несимметрию токов, которые, в свою очередь, вызывают несимметрию напряжений и оказывает негативное воздействие на работу всех электроприемников. Негативные последствия: повреждения, отказы, увеличение износа, уменьшение периода эксплуатации ускоренное старение изоляции электрооборудования; увеличение энергопотребления.

Рассмотрим наиболее практически и экономически рациональные методы повышения энергоэффективности СЭС предприятий.

1. Выравнивание суточных графиков электрических нагрузок путем регулирования электропотребления позволяет снизить резко выраженный максимум нагрузки, что способствует снижению потерь ЭЭ в элементах внутрицеховой сети.

2. Энергоэффективная эксплуатация трансформаторов цеховых подстанций. В настоящее время в условиях снижения производства и снижения уровня электропотребления повсеместно наблюдается недогрузка электрооборудования. Известно, что максимальный КПД трансформатора достигается при его загрузке в пределах от 45 до 75 процентов от номинальной загрузки. Это позволяет определить оптимальные варианты повышения эффективности для трансформаторной подстанции:

–Если общая нагрузка ниже 40–50 процентов номинальной мощности трансформаторной подстанции, то целесообразно повысить эффективность подстанции за счет отключения одного или нескольких трансформаторов, повысив коэффициент загрузки оставшегося или оставшихся в работе трансформаторов до оптимальной величины;

–Если общая нагрузка превышает 75 процентов номинальной мощности трансформаторной подстанции, достичь максимального КПД трансформаторов можно лишь посредством установки дополнительных мощностей;

–При замене исчерпавших ресурс трансформаторов или модернизации трансформаторных подстанций предпочтительной является установка трансформаторов с пониженным уровнем потерь, что позволяет снизить потери на 20 – 60 процентов.

3. Для снижения перетоков реактивной мощности и уменьшения, вызываемых ими отрицательных последствий на промышленных предприятиях должна осуществляться компенсация реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности обеспечивает соблюдение условия баланса реактивной мощности, способствует снижению потерь электроэнергии в электрических сетях, увеличению их пропускной способности, позволяет осуществлять регулирование напряжения за счет применения компенсирующих устройств. Рациональная компенсация реактивной мощности позволяет: снизить общие расходы на электроэнергию; уменьшить нагрузку элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок службы; снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию;

снизить влияние высших гармоник; подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз; добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей.

Кроме того, в существующих сетях она позволяет: исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки; снизить расходы на ремонт и обновление парка электрооборудования; увеличить пропускную способность системы электроснабжения потребителя, что в свою очередь позволит подключить дополнительные нагрузки без увеличения стоимости сетей. А во вновь создаваемых сетях - уменьшить мощность подстанций и сечения кабельных линий, что снизит их стоимость.

Технические мероприятия по компенсации РМ заключаются в установке компенсирующих устройств в соответствующих точках системы электроснабжения промышленного предприятия. С помощью конденсаторных установок на промышленных предприятиях могут осуществляться следующие способы компенсации реактивной мощности: индивидуальная, групповая, централизованная и комбинированная. Анализ потерь электроэнергии в электрической сети промышленных предприятий и суммарных приведенных затрат при различных способах компенсации реактивной мощности показывает, что наиболее оптимальным способом компенсации реактивной мощности электрической сети в большинстве случаев является индивидуальная компенсация, поскольку в этом случае обеспечивается минимум потерь электроэнергии и суммарных приведенных затрат. Наибольшие потери электроэнергии в электрической сети и суммарные приведенные затраты имеют место при отсутствии компенсации реактивной мощности, а также в случае централизованной компенсации. При этом следует учитывать, что выбор мест установки компенсирующих устройств является оптимизационной задачей, цель которой заключается в нахождении такого решения, которое обеспечивает максимальный экономический эффект при соблюдении всех технических условий нормальной работы электрических сетей и электрооборудования.

4. Устранение перекоса фазных напряжений. Наиболее эффективным методом является применение симметрирующих устройств (СУ), позволяющих устранить токи нулевой и обратной последовательности. СУ подразделяются на три класса:

–Конденсаторные и электромагнитные шунтосимметрирующие устройства, за счет подключения в сеть реакторов и конденсаторных батарей, основанных на минимальном сопротивлении токам нулевой последовательности, за счет шунтирования замыкания на себя этих токов.

–Преобразующие СУ – за счет использования преобразующих статических устройств: выпрямители, тиристорные регуляторы, высокочастотные преобразователи электромашин постоянного тока, использование электронных балластов в осветительных газоразрядных приборах и так далее.

–Компенсационные СУ – за счет включения в расщелку нулевого провода трансформатора симметрирующего трехфазного (ТСТ) компенсационной обмотки симметрирующих устройств. Это метод является наиболее эффективным. Применяемый ТСТ позволяет получить высокие энергетические показатели симметрирования, а именно: улучшить качество электроэнергии, повысить коэффициент мощности, подавить высшие гармоники, регулировать напряжение.

Проанализируем результаты подключения однофазной несимметричной нагрузки в трехфазную четырехпроводную сеть с использованием ТСТ и без них. Как показано на рис.1 максимальная нагрузка одной фазы составляет треть от трехфазной мощности источника электроэнергии.

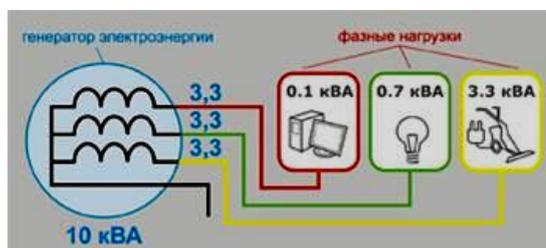


Рисунок 1 - Подключение нагрузки напрямую к сети

Результатом подключения мощного однофазного электроприемника будет перекос фаз (рис.2). Повышается риск повреждений присоединяемых к данному источнику электроприемников. В случае превышения мощности ЭП на треть трехфазной мощности источника велика вероятность его дальнейшей неправильной работы, т.е. возможны сбой, отключение, отказ.



Рисунок 2 - Подключение более мощной нагрузки к тому же источнику электроэнергии с использованием ТСТ

Максимальная нагрузка на одну фазу может составлять до 50 процентов от трехфазной мощности источника электроэнергии, а источник электроэнергии будет воспринимать нагрузку как равномерно распределенную по фазам (рис.3).

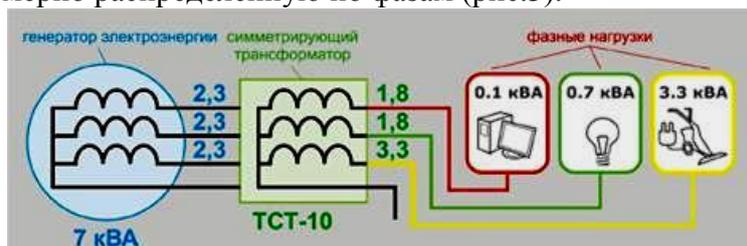


Рисунок 3 - Подключение той же нагрузки к генератору меньшей мощности с использованием ТСТ

Применение ТСТ позволяет снизить мощность генератора ЭЭ, подключив к нему ту же группу электроприемников. Источник электроэнергии будет воспринимать эту нагрузку как равномерно распределенную по фазам.

Учитывая, что стоимость реализации того или иного метода повышения эффективности СЭС предприятия, как правило, достаточно высокая в каждом конкретном случае решение о его целесообразности должно осуществляться на основании результатов энергетического обследования, технико-экономического обоснования и конкретных условий функционирования предприятия.

Список литературы

1. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов [Текст] / Ю.С. Железко, А.В. Артербев, О.В. Савченко – М.: НЦ ЭНАС, 2003 г. С.20-29.

2. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Русская версия. Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2009. 455 с.

3. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский // Вестник КузГТУ, 2011. – № 3. – С. 60–63.

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

Мишин Максим Михайлович, магистрант ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; E-mail: 79200888169@yandex.ru

METHODS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF DEVELOPMENT THE SYSTEMS POWER SUPPLIES ARE ENTERPRISES

Koroleva T. G., Mishin M.M.

Russia, g. Orel,

FBGOU VO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva»

Reasons, defiant considerable technological losses reducing efficiency functioning and development of the system of power supply of industrial enterprises, are considered in the article. The effective methods of increase of energy efficiency of such systems are resulted economic.

Key words: energy efficiency, electricity supply, technological losses of electric energy.

Bibliography

1. Raschet, analiz i normirovanie poter elektroenergii v elektricheskikh setyakh. Rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov [Tekst] / Yu.S. Zhelezko, A.V. Arterbev, O.V. Savchenko – M.: NCz ENAS, 2003 g. S.20-29.

2. Spravochnyy dokument po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam obespecheniya energoeffektivnosti. Russkaya versiya. Moskva: Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii, 2009. 455 s.

3. O vliyaniy peretokov reaktivnoy moshchnosti na parametry sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Tekst] / V. M. Efremenko, R. V. Belyaevskiy // Vestnik KuzGTU, 2011. – № 3. – S. 60–63.

Koroleva Tatyana Gennadevna, k.t.n., docent kafedry «Elektrooborudovanie i energosberezhenie» FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; Tel.(4862) 419830, faks (4862) 416684, e-mail: tgkoroleva@mail.ru

Mishin Maksim Mikhaylovich, magistrant FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; Tel.(4862) 419830, faks (4862) 416684, E-mail: 79200888169@yandex.ru

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ И РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Королева Т.Г., Понкратов К.В., Хомяков И.В.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

В статье рассмотрены особенности влияния различных факторов на величину коэффициента активной мощности систем электроснабжения промышленных предприятий с нелинейным и резкопеременным характером нагрузки.

Ключевые слова: коэффициент мощности, система электроснабжения, нелинейная и резкопеременная нагрузка, двигатель, трансформатор, сварочные установки, вентильный преобразователь.

В настоящее время на предприятиях эксплуатируется различное электрооборудование создающее нелинейный и резкопеременный характер нагрузки. Например, потребителями с резкопеременной нагрузкой являются дуговые сталеплавильные и рудно-термические печи, приводы прокатных станов. Набросы реактивной мощности, сопровождающие работу мощных приёмников с резкопеременной нагрузкой, вызывают значительные колебания напряжения в сети. Работа установок электродуговой сварки, тиристорных и полупроводниковых преобразователей приводит к резкому изменению токов и напряжений на элементах и вызывает искажения формы напряжения и тока в системах электроснабжения. Как правило, такие нагрузки характеризуются большим потреблением реактивной мощности и низким коэффициентом мощности. При этом следует отметить, что коэффициент мощности вентильного преобразователя линейно зависит от степени регулирования напряжения в цепи постоянного тока. Наличие большой доли вентильной нагрузки в электрической сети усложняет задачу поддержания коэффициента мощности в сети на нормативном или оптимальном уровнях близком к 0,9.

Однако известно, что повышение коэффициента мощности в энергосистемах нашей страны только на 0,01 может дать ежегодно экономию более 500 млн. квт·ч электрической энергии. Таким образом, повышение коэффициента мощности - одно из приоритетных направлений в области энергосбережения.

Чем меньше коэффициент мощности, тем менее загружена сеть активной мощностью и тем меньше КПД использования сети. В связи с этим необходимо, чтобы как можно большую часть полной мощности составляла активная мощность, а не реактивная.

Рассмотрим факторы, оказывающие влияние на коэффициент мощности в СЭС предприятий с нелинейной и резкопеременной нагрузкой.

1. Большое влияние на низкий коэффициент мощности оказывают асинхронные двигатели и трансформаторы. Недогрузка асинхронных двигателей, особенно небольшой мощности, приводит к тому, что потребляемая активная мощность уменьшается пропорционально нагрузке, а реактивная мощность остается

практически неизменной (рис.1). Максимальное снижение коэффициента мощности (до 0,1-0,2) достигается при работе двигателя в режиме холостого

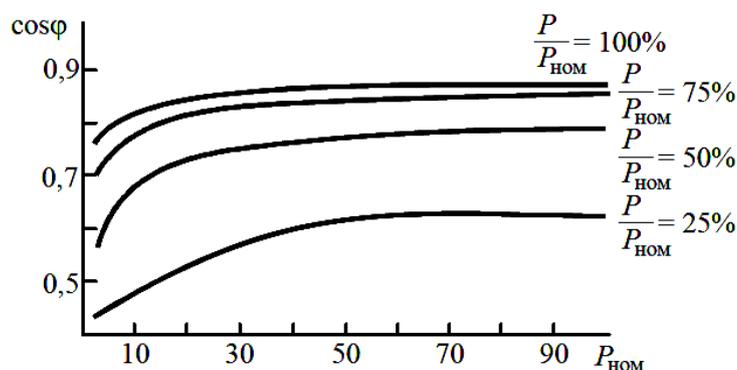


Рисунок 1 - Зависимости коэффициента мощности асинхронного двигателя от его номинальной мощности и загрузки

хода. В связи с этим необходимо сократить время работы двигателя на холостом ходу, а при загрузке двигателя менее чем на 45% от номинальной мощности целесообразно произвести его замену на менее мощный.

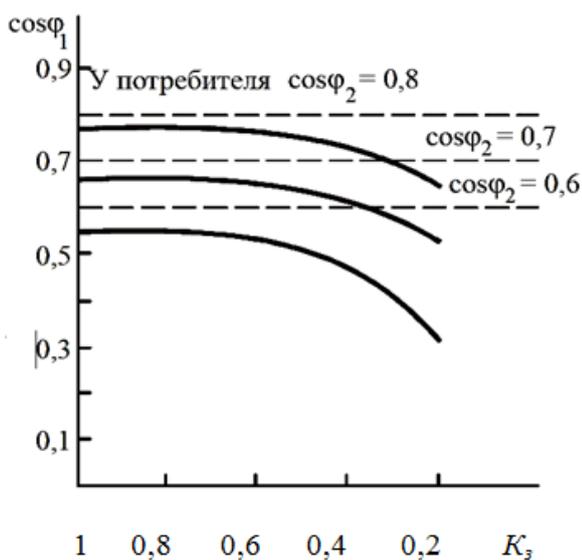


Рисунок 2 - Зависимости коэффициента мощности на первичной стороне трансформатора $\cos \varphi_1$ от его коэффициента загрузки K_3 и коэффициента мощности потребителя $\cos \varphi_2$

0,4 до 0,6 происходит значительное улучшение коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ на стороне первичного напряжения трансформаторов цеховых подстанций, а при дальнейшем увеличении нагрузки трансформатора $\cos \varphi_1$ практически остается без изменений. Существенное снижение $\cos \varphi_1$ будет иметь место при одновременном снижении коэффициента мощности у потребителя $\cos \varphi_2$ и K_3 .

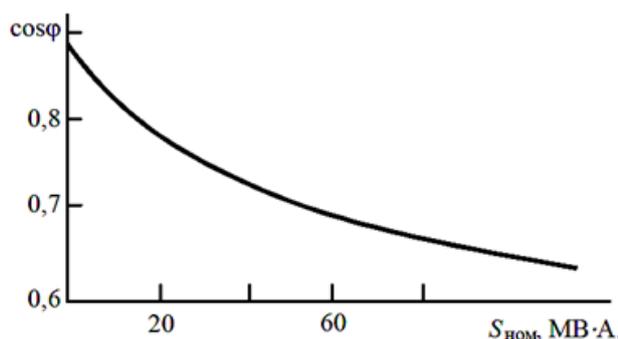


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента мощности дуговой сталеплавильной печи от номинальной мощности

Потребление реактивной мощности трансформаторами в несколько раз меньше, чем асинхронными двигателями, но суммарное потребление по системе в целом значительно. С целью уменьшения потерь реактивной мощности в трансформаторах на намагничивание рекомендуется выводить в резерв трансформаторы, загруженные менее чем на 40% от их номинальной мощности, с переводом нагрузки на другой трансформатор или производить замену на трансформатор меньшей мощности. Повышение коэффициента загрузки трансформатора на 0,1 приводит к улучшению $\cos \varphi$ на 0,04–0,05. Анализ кривых приведенных на рисунке 2 показывает, что эксплуатация трансформаторов с коэффициентом загрузки K_3 менее 0,6 приводит к существенному снижению $\cos \varphi$ системы электроснабжения промышленного предприятия независимо от коэффициента мощности потребителей, питаемых от шин низкого напряжения трансформаторной подстанции. При увеличении K_3 в пределах от

2. Низким коэффициентом мощности обладают дуговые сталеплавильные, рудно-термические и индукционные печи. Потребляемая ими реактивная мощность необходима как для обеспечения самого процесса плавки, так и для покрытия потерь реактивной мощности в элементах печной установки. Согласно графику, представленному на рисунке 3, с увеличением объема дуговой печи и мощности печных трансформаторов коэффициент мощности печного агрегата снижается.

3. Сварочные установки создают резкопеременную, неравномерную (однофазные) нагрузку с низким коэффициентом мощности ($\cos \varphi$ установок дуговой сварки 0,30–0,35, а контактной сварки 0,2–0,6). При этом работа сварочных установок может вызывать недопустимые колебания и несимметрию напряжений в сети. Сварочные установки постоянного тока включаются в сеть через тиристорные преобразователи переменного тока в постоянный, что влечет за собой дополнительное увеличение потребляемой реактивной мощности.

4. Вентильные преобразователи используются для питания электроприводов и электротехнологических установок, для возбуждения синхронных электрических машин и в схемах частотного пуска гидрогенераторов. На основе полупроводниковых вентильных преобразователей созданы линии электропередач постоянного тока большой мощности и вставки постоянного тока.

Преобразовательные установки с полупроводниковыми вентилями являются мощными потребителями реактивной мощности (коэффициент мощности вентильных преобразователей прокатных станов колеблется от 0,3 до 0,8). Ее потребление обусловлено естественными коммутационными процессами и искусственной задержкой момента открытия вентиля в целях регулирования выпрямленного напряжения.

Коэффициент мощности в цепи переменного тока вентильного преобразователя (на входе выпрямителя и на выходе инвертора) определяется отношением активной мощности к полной

$$\chi = \frac{P_1}{S_1} = v_1 \cos \varphi_{1(1)},$$

где v_1 – есть отношение действующего значения первой гармоники тока первичной обмотки трансформатора к действующему значению первичного тока;

$\varphi_{1(1)}$ – угол сдвига фаз первой гармоники первичного тока относительно первичного напряжения.

Нелинейность и нестабильность параметров нагрузки оказывает влияние на режим потребления реактивной мощности преобразовательными установками. Коэффициент мощности вентильного преобразователя линейно зависит от степени регулирования напряжения в звене постоянного тока и снижается при наличии в сети высших гармоник. В зависимости от схемы выпрямления вентильные преобразователи генерируют в сеть следующие гармоники тока: при 6-фазной схеме – до 19-го порядка; при 12-фазной схеме – до 25-го порядка включительно. Коэффициент несинусоидальности при работе тиристорных преобразователей прокатных станов может достигать значения более 30 % на стороне 10 кВ питающего их напряжения, что может привести к выходу из строя самих вентильных преобразователей.

Основными факторами, влияющими на коэффициент мощности в системах электроснабжения предприятий с нелинейными и резкопеременными нагрузками являются: неправильный выбор мощности и режима работы асинхронных двигателей и трансформаторов, эксплуатация дуговых, индукционных, сварочных и преобразовательных установок с низким естественным коэффициентом мощности. При решении вопросов компенсации реактивной мощности вышеперечисленных электроустановок требуется учитывать индивидуальные технические особенности, связанные с нелинейным и резкопеременным характером создаваемой нагрузки. Однако решая эти задачи можно достичь оптимального уровня коэффициента мощности, что позволит увеличить КПД использования сети.

Список литературы

1. Беляевский, Р. В. Анализ влияния коэффициента загрузки асинхронных двигателей на потребление реактивной мощности [Текст] / Вестник КузГТУ, 2010.
2. Королева, Т.Г. Надежность и качество электрической энергии, как показатели энергоэффективности [Текст] / Т.Г. Королева, Е.М. Морозов // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век - Орёл : Изд-во Госуниверситета – УНПК, 2015.
3. Кабышев, А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие [Текст] / А.В. Кабышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.

Королева Татьяна Геннадьевна - ОГУ имени И.С. Тургенева, доцент кафедры «ЭиЭ», тел. (4862)44-98-30; e-mail: tgoroleva@mail.ru, тел. 89202846619

Понкратов Константин Владимирович - магистрант ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; тел.(4862) 419830, факс (4862) 416684, E-mail: ponkratov__@mail.ru

Хомяков Иван Владимирович - магистрант ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; E-mail: homykov57rus@mail.ru

FACTORS AFFECTING THE POWER FACTOR OF THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES WITH NON-LINEAR AND SHARPLY VARIABLE LOADING.

Koroleva T.G., Ponkratov K.V., Khomyakov V.I.

Russia, g. Orel,

FBGOU VO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva»

In the article the features of influence of different factors are considered on the size of coefficient of active-power of the systems of power supply of industrial enterprises with nonlinear and sharply variable character of loading.

Key words: power-factor, system of power supply, nonlinear and sharply variable loading, engine, transformer, welding options, valve transformer.

Bibliography

1. Beljaevskij, R. V. Analiz vlijanijakoj efficientsa zagruzki asinhronnyh dvigatelej napotreblenie reaktivnojmoshnosti [Tekst] / VestnikKuzGTU, 2010.

2. Koroleva, T.G. Nadezhnost' i kachestvo jelektricheskoj jenerгии, kak pokazateli jenergojeffektivnosti [Tekst] / T.G. Koroleva, E.M. Morozov // JEnergo- i resursosberezhenie — XXI vek - Orel : Izd-vo Gosuniversiteta – UNPK, 2015.

3. Kabyshev, A.V. Kompensacija reaktivnoj moshnosti v jelektroustanovkah promyshlennyh predpriyatij: uchebnoe posobie [Tekst] / A.V. Kabyshev; Tomskij politehnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2012. – 234 s.

Koroleva Tatyana Gennadevna, OGU imeni I.S. Turgeneva, docent kafedry «EiE», tel. (4862)44-98-30; e-mail: tgoroleva@mail.ru, tel. 89202846619

Ponkratov Konstantin Vladimirovich, magistrant FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; Tel.(4862) 419830, faks (4862) 416684, E-mail: ponkratov__@mail.ru

Khomyakov Ivan Vladimirovich, magistrant FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; E-mail: homykov57rus@mail.ru

УДК 621.34

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЧЕЛОВЕКОМАШИННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Дробязко О.Н., Никольский О.К.

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

Рассмотрены методы и модели анализа техногенных рисков человекомашинных систем, объединяющие элементы традиционных подходов к оценке электроопасных ситуаций. Показана возможность применения теории нечетких множеств, включающей понятие лингвистической переменной, к решению проблем электробезопасности на сельскохозяйственных объектах в условиях неопределенности.

Ключевые слова: опасность электроустановки, риски, человекомашинная система, нечеткие множества.

Имеющийся опыт изучения человекомашинных систем (ЧМС) [1, 2] свидетельствует о том, что системный анализ таких систем в рамках использования традиционных детерминистических и вероятностных моделей не поддается строгой математической формализации.

Эксплуатация электроустановок (ЭУ) в реальных производственных условиях является достаточно сложным процессом, требующим постоянного вмешательства обслуживающего персонала (в том числе и электротехнического) для поддержания заданных технологических режимов работы электрооборудования и электрических сетей, их надежности и безопасности. В процессе этого вмешательства человек (оператор) принимает различные, нередко ошибочные решения, проконтролировать правильность которых, например, в условиях сельскохозяйственного производства, практически невозможно. Исключение здесь составляют объекты атомной энергетики и химические производства, имеющие высококвалифицированный персонал, работающий в условиях жестких нормативных требований.

При анализе ЧМС «человек - электроустановка – среда» (Ч-ЭУ-С) необходимо учитывать взаимосвязи между её компонентами, которые, в свою очередь, зависят от большего числа факторов. Эти факторы не всегда поддаются количественной оценке и прогнозированию. Отсюда проблематичным представляется выполнение анализа электротравматизма по вероятностным показателям, имеющим неопределенный характер. Эта неопределенность проявляется в неполноте, неточности или недостоверности исходных данных, отсутствии априорных количественных оценок риска опасности электроустановок производственного объекта.

Широко используемый в теории электробезопасности вероятностный подход [3] обладает общим существенным недостатком, затрудняющим его практическое применение. Этот подход предполагает знание вероятностей проявления факторов, оказывающих опасное воздействие на человека, наличие некоторых предпосылок и иницирующих условий, исходя из которых можно сделать выводы о значениях вероятностей электротравм или электропоражений людей.

В условиях производственного объекта определить, например, вероятность электротравмы человека, как правило, не удастся. Чтобы построить адекватное статистическое распределение какого-либо иницирующего негативного фактора или оценить вероятность проявления этого фактора, необходимо иметь некоторое множество однородных объектов, т.е. репрезентативную выборку. Выдвигаемые гипотезы в расчетах и проектной практике относительно видов и параметрах вероятностных распределений оказываются неприемлемыми, поскольку они ведут к значительным погрешностям при принимаемых допущениях и невозможности количественной оценки риска и неопределенности.

По данным [4] до 70 % аварий и несчастных случаев от общего их количества вызваны так называемым «человеческим фактором». Большая часть электротравм обусловлена ошибочными действиями электротехнического персонала. Для определения вероятности совершения ошибочных действий персоналом может быть использован метод экспертных оценок [5]. Однако в основе применения этого метода лежит теория вероятностей, базирующаяся на аксиомах, которые в ряде случаев не могут быть использованы при анализе человекомашинных систем. Некорректно требовать от эксперта оценки вероятности иницирующих негативных событий (особенно так называемых «редких событий»), необоснованно в целях упрощения расчетов «подгонять» случайные величины к удобному нормальному распределению и т.д. Поэтому представляется проблематичной адекватная оценка и анализ производственного и бытового электротравматизма по показателям, определяющим вероятность, например, электробезопасности, статистическая информация которой имеет неопределенный характер. Эта неопределенность проявляется в неполноте, неточности или недостоверности исходных данных, отсутствии априорных количественных оценок риска опасности электроустановок объекта. Отсутствие методов оценки рисков опасности ЭУ и диагностики технического состояния электрооборудования приводит к тому, что персоналу приходится принимать интуитивные решения по предотвращению опасных техногенных ситуаций, отключению электроустановки и выводу оборудования на профилактику или в ремонт.

Действующие вероятностные методы достаточно эффективны только для технических систем, при описании которых не учитывается человеческий фактор. Они малоприспособлены для анализа систем (человек-электроустановка-среда), в которых координирующим элементом является персонал. Отметим, что последний инициирует неопределенности, вызываемые наличием у индивидуума субъективных представлений об окружающей его рабочей и внешней среде и своей деятельности в ней.

В этой связи представляет интерес поиск других методов, позволяющих строить адекватные математические модели для идентификации источников техногенной опасности и предупреждения аварий и электротравматизма.

С этой целью нами было выполнено обобщение методов, которые могут быть использованы для оценки и анализа опасностей, возникающих в электроустановках производственного объекта (таблица 1).

В результате проведенного анализа методов нами было сделано заключение о том, что перспективной заменой методов, основанных на использовании теории вероятностей, является их замена методами, использующими теорию нечетких множеств (ТНМ). Эта же точка зрения высказана в источнике [5].

В рамках теории нечетких множеств вводятся понятия «нечеткая переменная» и «лингвистическая переменная» [6,7]. Первое из понятий тесно связано с основными понятиями ТНМ – «нечеткое множество» и «функция принадлежности».

Нечеткое множество A определяется как совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \} .$$

При этом функция принадлежности $\mu_A(x)$ указывает, в какой степени элемент x принадлежит нечеткому множеству A . Функция $\mu_A(x)$ принимает значения в некотором линейно упорядоченном множестве, в качестве которого обычно выбирается отрезок $[0,1]$.

Нечеткая переменная определяется на множестве элементов x универсального множества X .

Понятие нечеткой переменной может быть использовано в случае количественной формы представления экспертной оценки в виде какого-либо числа, являющегося, по мнению эксперта наиболее точным ответом. Возможно возникновение некоторой ошибки, вызванной интуицией эксперта. В этом случае неточность и неясность заключения эксперта может быть компенсирована путем введения оценки типа « x приблизительно равен a » или « x находится примерно в интервале от a до b ».

Количественная экспертная оценка по своей сути представляет собой нечеткое число, характеризуемое функцией принадлежности $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$. Однако оценивание степени принадлежности конкретными числами на рассматриваемом интервале $[0, 1]$ носит субъективный характер: с одной стороны, она зависит от выбора типа шкалы, в которой систематизируется информация от эксперта, а с другой – используются различные инструменты оценки того или иного фактора. Если этот фактор можно выразить в виде количественной характеристики, то он подлежит непосредственному измерению; если же он оценивается качественно, то используются логико-лингвистические модели и ранговые измерения при попарном сравнении факторов.

Функция принадлежности $\mu_A(x)$, представляет собой некоторую невероятностную субъективную меру нечеткости, определяемую по результатам опроса экспертов о степени соответствия элемента x понятию, формализуемому нечетким множеством X . В отличие от вероятностной меры, которая служит оценкой стохастической неопределенности, нечеткая мера является численной оценкой лингвистической неопределенности, связанной с неоднозначностью и расплывчивостью человеческого мышления.

Таблица 1 - Методы оценки и моделирования рисков электроустановок объекта

№ п/п	Наименование метода	Особенности метода
1	Феноменологический	Базируется на определении возможности возникновения опасных событий, исходя из результатов анализа достаточных условий. Используется при определении сравнительной безопасности объектов исследования
2	Детерминистический	Устанавливает причинно-следственные связи и формирует функциональные связи (в форме явных зависимостей или уравнений). Исходные данные и связи имеют детерминированный характер
3	Статистический	Обеспечивает учет случайных факторов при функционировании ЧМС (Ч - ЭУ - С). Устанавливаются статистические зависимости между «входами» и «выходами» системы. Построение моделей требует значительных объемов статистических данных
5	Теоретико-вероятностный	Базируется на стохастической природе возникновения ОТС и использовании теорем теории вероятностей. Оценка вероятности события производится от идентификации инициирующих событий до построения диаграмм влияния (деревьев рисков)
4	Вероятностно-статистический	Основан на проведении вероятностного анализа рисков ЧМС. Предполагает расчет вероятностей возникновения опасных техногенных ситуаций (ОТС) на основе вероятностей инициирующих событий, в качестве которых принимаются частоты соответствующих событий, определенные по статистическим данным
6	Логико-лингвистический	Базируется на использовании символического языка логики, формализмов теории графов и алгоритмов
7	Имитационное моделирование	Основано на логико-математическом представлении ЧМС, характеризующийся неоднородностью структуры, нестационарностью, стохастичностью и неопределенностью. Позволяет использовать любую информацию в сочетании с эвристическими оценками, полученными интуитивным путем
8	Метод экспертных оценок	Основан на использовании знаний и опыта экспертов. Метод применяется при отсутствии статистических данных и сложности выбора адекватной математической модели
9	Методы, основанные на использовании нечетких множеств	Используются при оценке сложных ЧМС, когда роль человеческого фактора является доминирующей. Метод требует априорных знаний и позволяет на основе имеющегося множества разнородных факторов построить инфологическую модель с использованием символического (а не числового) способа представления информации.

Метод нечетких множеств, строго говоря, не накладывает ограничений на выбор функции принадлежности. Однако при анализе техногенных рисков ЭУ целесообразно использовать аналитическое представление функции принадлежности $\mu_A(X)$ (нечеткого множества X с элементами x), нечетко обладающей множеством некоторых его свойств. В этом смысле представляет интерес типизация функций принадлежности в контексте указанного выше анализа риска, что существенно упрощает соответствующие аналитические и численные расчеты при применении методов теории нечетких множеств.

Выделим следующие типовые функции принадлежности (ФП):

1. Треугольные ФП используются для задания неопределенностей типа: "приблизительно равно", "среднее значение", "расположен в интервале", "подобен объекту" и т.п.

2. Z-образные ФП - для задания неопределенностей типа: "малое количество", "небольшое значение", "низкий уровень" и т.п.

3. S-образные ФП - для задания неопределенностей типа : "большое количество", "большое значение", "высокий уровень" и т.п.

4. П-образные ФП - для задания неопределенностей типа: "приблизительно в пределах от и до", "примерно равно", "около" и т.п.

В теории нечетких множеств на основе понятия: «нечеткая переменная» строится понятие «лингвистическая переменная».

Лингвистическая переменная является переменной более высокого порядка, чем нечеткая переменная, в том смысле, что значениями лингвистической переменной являются нечеткие переменные.

В настоящее время лингвистическая переменная используется для описания сложных систем, которые содержат параметры, представленные не только в количественном, ни и в качественном виде.

Процесс функционирования рассматриваемой ЧМС может быть представлен с помощью лингвистической переменной.

Такая переменная характеризуется следующей совокупностью [6]:

$$LV = [L, T, X, G, M], \quad (1)$$

где L – имя переменной, T- множество ее значений (терм-множество); X – универсальное множество нечетких переменных; G – синтаксическая процедура образования новых термов, позволяющая из простых атомарных термов строить составные термы, $G:T \rightarrow T^*$, где T^* - расширенное терм-множество; M – семантическая процедура, формирующая нечеткие множества для каждого терма T данной лингвистической переменной.

Терм-множество лингвистической переменной являются нечеткие числа.

Экспертные оценки в сочетании с логико-лингвистическим методом [7], могут использоваться при моделировании и прогнозировании техногенных рисков, что позволяет обеспечивать возможность описания и оперирования данными, являющимися результатом субъективных действий персонала.

Применение ТНМ к анализу плохо структурированным систем типа (Ч-ЭУ-С) с неполной и недостоверной информацией создает предпосылки создания нечетких экспертных систем вида Fuzzy Logic [8].

Логико-лингвистические методы описания человекомашинных систем основаны на том факте, что элементами мышления человека являются не числа, а естественный язык. Поэтому поведение системы может быть выражено в терминах ограниченного (формализованного) естественного языка. Инструментом такого представления являются лингвистические переменные (ЛП). Причем, под ЛП понимается такая переменная, значениями которой могут быть не только числа, но и слова (словосочетания) какого-либо естественного или искусственного языка. По сути ЛП представляют собой описательную иерархическую модель, включающую "понятие" - "его значение" - "смысл". Например, ЛП "Величина" можно определять с помощью терм-множества $T = \{ \text{большая отрицательная (БО)}, \text{средняя отрицательная (СО)}, \dots, \text{примерно нулевая (ПН)}, \dots, \text{большая положительная (БП)} \}$. Другими словами, терм-множество представляет собой совокупность значений ЛП.

Лингвистические переменные, как отмечалось выше, предназначены для анализа сложных, плохо определенных явлений и систем. Использование словесных описаний, которыми оперирует человек, делает возможным структурный анализ человекомашинных систем вида (Ч-ЭУ-С). Нечеткая логико-лингвистическая система описывается набором значений входных и выходных ЛП, связанных между собой эвристическими правилами.

Исходными данными для построения экспертной системы [10] является совокупность признаков компонентов человекомашинной системы (рискообразующих факторов), которые наиболее существенно влияют на создание опасных техногенных ситуаций (ОТС), а также максимально возможные значения индикаторов соответствующего вклада в образовании

ОТС и лингвистические (т.ч. балльные) оценки каждого РОФ. При этом распределение этих факторов на соответствующей универсальной шкале задается функцией принадлежности $\mu_A(x)$ и лингвистической переменной.

Введем набор узловых точек $\beta_j = [0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9]$, которые являются абсциссами максимумов соответствующих функций принадлежности. В качестве носителя X лингвистической переменной выступает отрезок вещественной оси $[0, 1]$. Узловые точки равномерно отстоят друг от друга на носителе $[0, 1]$ и симметричны относительно узла $0,5$. Тогда лингвистическая переменная "Значимость рискообразующего фактора" на носителе $[0, 1]$ в совокупности с набором узловых точек будет представлять собой стандартный трехуровневый нечеткий $[0-1]$ - классификатор. Интервалы $[0,2 - 0,4]$, $[0,4 - 0,6]$, $[0,6 - 0,8]$ отражают лингвистическую оценку (термы – «низкий», «средний», «высокий»). Для лингвистической оценки техногенного риска может быть также использован двухуровневый классификатор с терм-множеством «есть», «нет», интерпретирующим возникновение ОТС.

Аналитическое представление кусочно-непрерывной функции принадлежности задается на некоторой универсальной базе $X = [0, 1]$, в качестве которой был принят интервал действительных положительных чисел.

Аналитическое выражение функции принадлежности

$$f_{\Delta}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (2)$$

где a, b и c - числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные соотношением $a \leq b \leq c$.

В нашем случае (рисунок 1) параметры a и c характеризуют основание треугольника $(0,2; 0,9)$; параметр b - его величину $(0,5)$. Представленная функция принадлежности интерпретирует нормальное выпуклое унимодальное нечеткое множество с границами (a, c) и модой b .

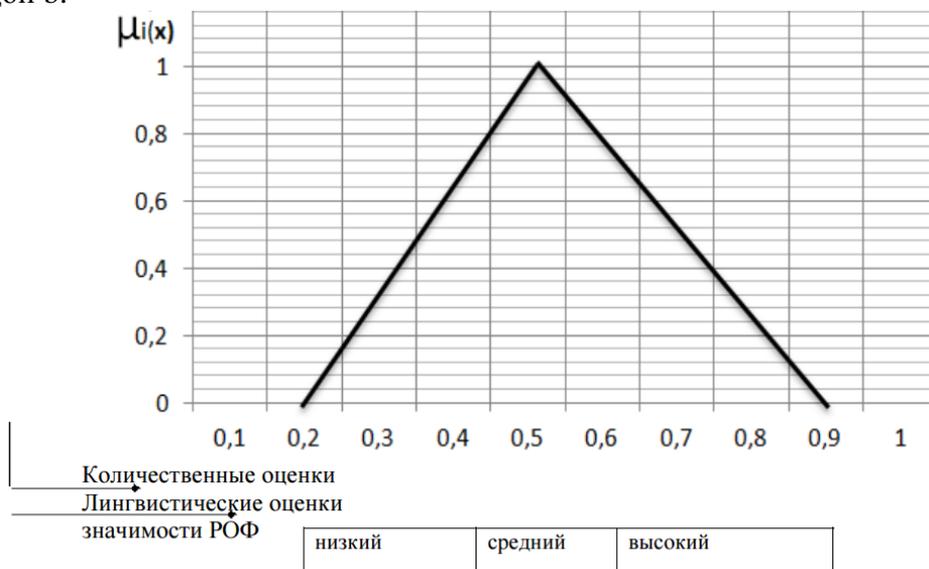


Рисунок 1 – Фрагмент построения функции принадлежности $\mu(x)$ рискообразующего фактора с терм-множеством $T \in \{ \text{"низкий"}, \text{"средний"}, \text{"высокий"} \}$

Таким образом, введение для лингвистической оценки рискообразующих факторов, соответствующих терм-множествам с формализацией их функциями принадлежности на основе логических операций «если-то», позволяет выполнить, так называемую, структурную идентификацию «входы-выходы» человекомашинной системы (Ч-ЭУ-С).

Элементы теории нечетких множеств, правила импликации и нечетких рассуждений образуют систему нечеткого вывода (СНВ). К ней следует отнести базу данных, содержащую описание функции принадлежности, механизм вывода и агрегирования, который формируется применяемыми правилами импликации.

В качестве входных и выходных сигналов выступают измеряемые величины, однозначно сопоставляющие входным значениям соответствующие выходные значения. Для обеспечения взаимодействия множества этих двух видов вводится нечеткая система - фаззификатор, преобразующий множество входных данных в нечеткое множество с помощью значений функции принадлежности. На выходе СНВ используется дефаззификатор, позволяющий преобразовывать нечеткое множество в конкретное значение выходной переменной.

Выводы

Показана возможность применения теории нечетких множеств, включающей понятие лингвистической переменной, при проектировании человекомашиной системы (Ч-ЭУ-С), что позволяет разработать модель оценки и управления техногенными рисками опасности электроустановок для создания эффективных и экономически целесообразных превентивных мер безопасности.

Список литературы

1. Никольский, О.К. Оценка и анализ рисков электроустановки [Текст] / О.К. Никольский, Т.В. Еремина // Ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал «Электробезопасность». - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ.- 2011.- № 3.- С. 19-22.
2. Электромагнитная безопасность технологических процессов АПК [Текст] : монография // О.К. Никольский [и др.]. – Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2012. - 108 с.
3. Никольский, О.К. Проблема неопределенности при анализе рисков электроустановок [Текст] / О.К. Никольский, А.Ф. Костюков, Н.П. Черкасова // Ползуновский вестник.- 2014. -№ 4.-Т.1.- С. 140-146.
4. Юсупов, Р.Х. Производственная среда предприятий АПК как информационная динамическая система при анализе и прогнозировании травматизма и профессионально обусловленной заболеваемости [Текст] : монография / Р.Х. Юсупов, А.В. Зайнишев, Ю.Г. Горшков. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. –224 с.
5. Гражданкин, А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов [Текст] /А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Безопасность труда в промышленности, 2000.– № 11. – С. 6-10.
6. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. - 167 с.
7. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. –М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
8. Никольский, О.К. Концепция оценки остаточного ресурса электропроводки и алгоритм его определения [Текст] / О.К. Никольский, Г.А. Гончаренко // Вестник КрасГАУ.- Красноярск, 2013.- № 9. – С. 210-214.
9. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде.– М.: Мир, 1976.– 43 с.
10. Лукоянычева, О.В. Экспертная система для определения показателя всхожести пшеницы/ О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Ползуновский вестник. – 2015. – №2. – С. 65-69.

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, erp_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Дробязко Олег Николаевич – д-р техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, (83852) 46-47-62, drolnik@List.ru, 8-929-396-33-12.

RISK ANALYSIS METHODOLOGY OF ELECTRICAL INSTALLATIONS DANGER IN HUMAN-MACHINE SYSTEMS BASED ON FUZZY SETS

Drobjazko O.N., Nikolskiy O.K.

*Russia, Barnaul, Altai state technical university
of I. I. Polzunov*

The methods and models of the technogenic risks analysis of human-machine systems combining elements of traditional approaches to the assessment of electric hazards have been considered. The possibility of using the theory of fuzzy sets have been showed, including the concept of a linguistic variable to solve electrical problems in the agricultural facilities in the face of uncertainty.

Keywords: electrical hazard, risks, human-machine system, fuzzy sets

Bibliography

1. Nicholas, O.K. Evaluation and analysis of electrical risks [Text] / O.K. Nikolsky, T.V. Eremina // Quarterly theoretical and scientific-practical journal "Electrical Safety". - Ufa: Izd YuUrGU.- 2011.- № 3.- pp 19-22.
2. Electromagnetic security technology APC processes [Text]: monograph // DC Nicholas [et al.]. - Barnaul, Altai State Technical University Publishing House, 2012. - 108 p.
3. Nicholas, O.K. The problem of uncertainty in the analysis of electrical risks [Text] / O.K.Nikolsky, A.F. Kostjukov, N.P. Cherkasova // Polzunovsky vestnik.- 2014. -№ 4.-Т.1.- pp 140-146.
4. Yusupov,R.H. Work environment of agricultural enterprises as a dynamic system of information for the analysis and forecasting of occupational accidents and diseases caused by [Text]: monograph / R.H. Yusupov, A.V. Zaynishev, Y.G. Gorshkov. - М.: Izd-RGAU ICCA name K.A. Timiryazev, 2009. -224 p.
5. Grazhdankin, A.I. Expert system of technical risk assessment of hazardous production facilities [Text] /A.I. Grazhdankin, P.G. Belov // Occupational safety in the industry, 2000.- № 11. - S. 6-10.
6. Zadeh, L.A.The concept of linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions [Text] / L.A. Zadeh. - М.: Mir, 1976. - 167 p.
7. Kaufman, A. Introduction to the theory of fuzzy sets [Text] / A. Kofman. -М.: Radio and Communications, 1982. - 432 p.
8. Nicholas, O.K. The concept of residual life assessment of electrical and algorithm for its determination [Text] / O.K Nikolsky, G.A. Goncharenko // Herald KrasGAU.- Krasnoyarsk, 2013.- № 9. - S. 210-214.
9. Bellman, R. Decision-making in ambiguous conditions [Text] / R. Bellman, Zade.- L. M.: Mir, 1976.- 43 p.
10. Lukoyanycheva, O.V Expert system to determine a wheat / O.V. Lukoyanycheva, S.P. Pronin // Polzunovsky Gazette. - 2015. - №2. - S. 65-69.

Nikolsky Oleg Konstantinovich - Dr. Sc, Professor, Head of "Electrification of production and way of life", Altai State Technical University.Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852) 29-08-82, 36-71-29, epb_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Drobjazko Oleg Nikolaevich - Dr. Sc, Professor, Head of "Electrification of production and way of life", Altai State Technical University.Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852)46-47-62, drolnik@List.ru.

УДК 621.311.001.57

РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО ВЕЛИЧИНЕ УДЕЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ НЕДООТПУСКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОЖИДАЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Широкоступова М.С.

Россия, г. Москва, ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского»

Предложен способ расчета надежности в условиях неопределенности информации по величине удельного ущерба с учетом вероятности превышения недоотпуска электроэнергии потребителям относительно ожидаемой величины.

Ключевые слова: расчеты надежности, неопределенность информации, удельный ущерб, уровни надежности, риск превышения ожидаемой величины, недоотпуск электроэнергии.

Для выбора оптимальных величин оперативных резервов активной мощности в объединении и пропускных способностей связей между узлами по условию взаиморезервирования используется модель, основанная на минимизации затрат целевой функции, в состав которой наряду с затратами на резерв мощности в узлах и усиление пропускных способностей межсистемных связей входит и ущерб потребителей от перерывов электроснабжения [1].

При использовании этой модели для расчетов надежности определенные трудности возникают по определению величины удельного ущерба, поэтому расчеты надежности объединения приходится вести в условиях неопределенности информации по величине удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям.

Если предположить, что удельный ущерб не зависит от глубины недоотпуска электроэнергии, то при одинаковых значениях удельного ущерба в узлах объединения и при распределении дефицита мощности между всеми узлами, которые могут принять на себя дефицит, при оптимизации по модели этого типа уровни надежности в узлах энергообъединения равны между собой и однозначно определены. При этих условиях интегральная вероятность всех дефицитов мощности в каждом узле объединения адекватна частной производной математического ожидания недоотпуска электроэнергии в объединении относительно величины оперативного резерва активной мощности в данном узле [2].

Результаты расчета надежности в условиях неопределенности информации по величине удельного ущерба приведены для ЕЭС России на уровне 2020 г. ЕЭС России представлена 7-ми узловой схемой (объединенная энергосистема (ОЭС) Северо-Запада, ОЭС Центра, ОЭС Юга, ОЭС Средней Волги, ОЭС Урала, ОЭС Сибири и ОЭС Востока). Ежегодные удельные затраты на сооружение новых резервных мощностей приняты равными 100 долл/(кВт·год).

Прежде всего, необходимо оценить интервал возможных значений удельного ущерба. В качестве нижней границы можно принять значение удельного ущерба равное 2,85 долл/кВт·ч, при котором для принятых исходных условий уровни надежности ОЭС, соответствующие оптимальным параметрам, равны $H=0,996$.

Верхнюю границу интервала возможных значений удельного ущерба при исследовании можно принять в виде вариантов. В качестве варианта верхней границы интервала возможных значений удельного ущерба можно принять значение 15 долл/кВт·ч, которое принимается при исследовании балансовой надежности в EISPC¹ [3].

Кроме того, в качестве вариантов верхней границы интервала возможных значений удельного ущерба рассматриваются промежуточные значения стоимости единицы недоотпущенной энергии равные 5,71 долл/кВт·ч и 7,61 долл/кВт·ч.

Введем следующие обозначения:

$dZ_{онм(H)}$ - дополнительные минимальные суммарные ежегодные затраты, которые равны $dZ_{онм(H)} = Z_{онм(H)} - Z_{онм(H=0,996)}$.

dZ_H - дополнительные суммарные ежегодные затраты, которые равны $dZ_H = Z_H - Z_{онм(H=0,996)}$.

где $Z_{онм(H)}$ - минимальные суммарные ежегодные затраты, которые определяются при расчете надежности, где индекс H означает уровень надежности в ОЭС, соответствующий оптимальным параметрам адекватности ресурсов (величины резервов активной мощности и пропускные способности связей по условиям взаиморезервирования). $Z_{онм(H=0,996)}$ - минимальные суммарные ежегодные затраты при уровне надежности $H=0,996$;

¹EISPC- Совет по планированию Восточнообъединения США (Eastern Interconnection States' Planning Council).

Z_H - суммарные ежегодные затраты, которые определяются как сумма ежегодных затрат в оптимальные резервные мощности и пропускные способности по условиям взаиморезервирования, соответствующие уровню надежности H в ОЭС, и ущерба, определенного по энергии недоотпуска, соответствующей этим оптимальным параметрам, и по значениям удельного ущерба в рассматриваемом интервале.

На рисунке 1 приведены уровни надежности ОЭС, соответствующие оптимальным параметрам адекватности ресурсов в зависимости от величины удельного ущерба.

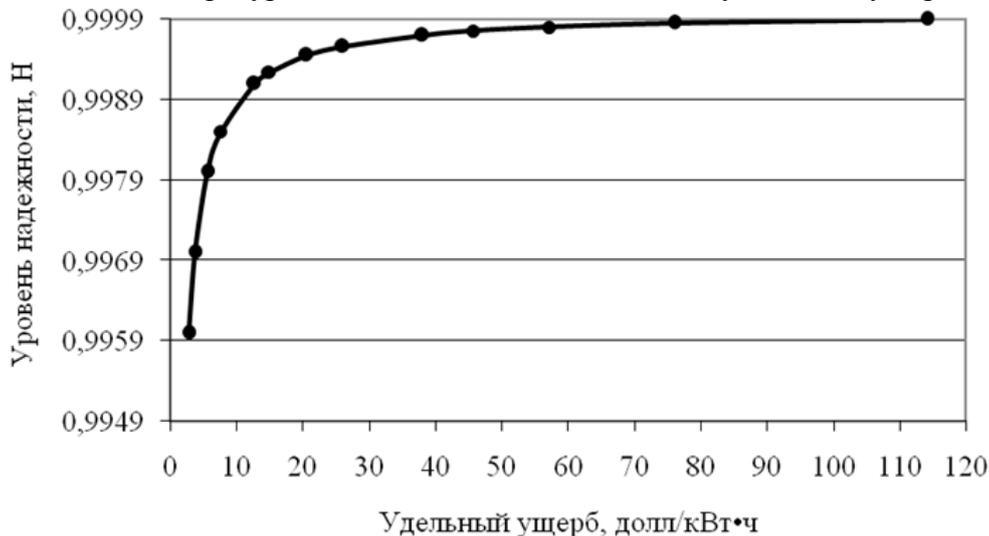


Рисунок 1 - Уровни надежности ОЭС, соответствующие оптимальным параметрам адекватности ресурсов в зависимости от величины удельного ущерба

Необходимо также учесть, что для конкретных случаев реализации существует риск превышения недоотпуска электроэнергии потребителям относительно ожидаемой величины. На рисунке 2 для различных уровней надежности ОЭС показана вероятность того, что недоотпуск электроэнергии потребителям в ЕЭС России не будет превышать ожидание недоотпуска электроэнергии потребителям в ЕЭС России.

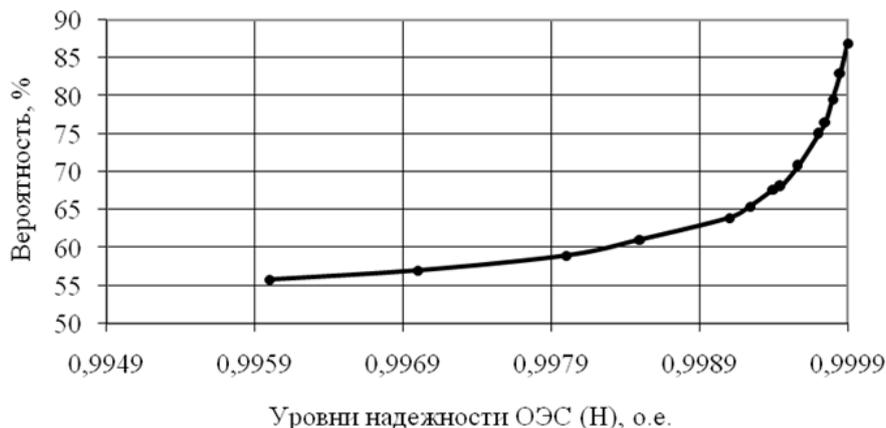


Рисунок 2 - Изменение вероятности того, что недоотпуск электроэнергии потребителям не будет превышать ожидание недоотпуска в зависимости от уровней надежности ОЭС

Как видно из рисунка 2 вероятность того, что недоотпуск электроэнергии потребителям в ЕЭС России не будет превышать ожидание недоотпуска, увеличивается при повышении уровней надежности ОЭС. Так, например, при уровнях надежности ОЭС равных $H=0,996$ с вероятностью 56 % недоотпуск электроэнергии потребителям в ЕЭС России не будет превышать ожидаемую величину недоотпуска, а при уровнях надежности ОЭС равных $H=0,9997$ - с вероятностью 75 %.

Обычно в экономике рассматриваются риски с вероятностью 85%, 90% или 95%. На рисунке 3 показано, как изменяются дополнительные ежегодные суммарные затраты $dZ_{H(R=95)}$ и $dZ_{opt(H)}$ в зависимости от величины удельного ущерба. Дополнительные ежегодные суммарные затраты $dZ_{H(95)}$ посчитаны по недоотпуску электроэнергии для риска с вероятностью 95% (с вероятностью 95 % недоотпуск электроэнергии потребителям в ЕЭС России не будет превышать ожидаемую величину недоотпуска).

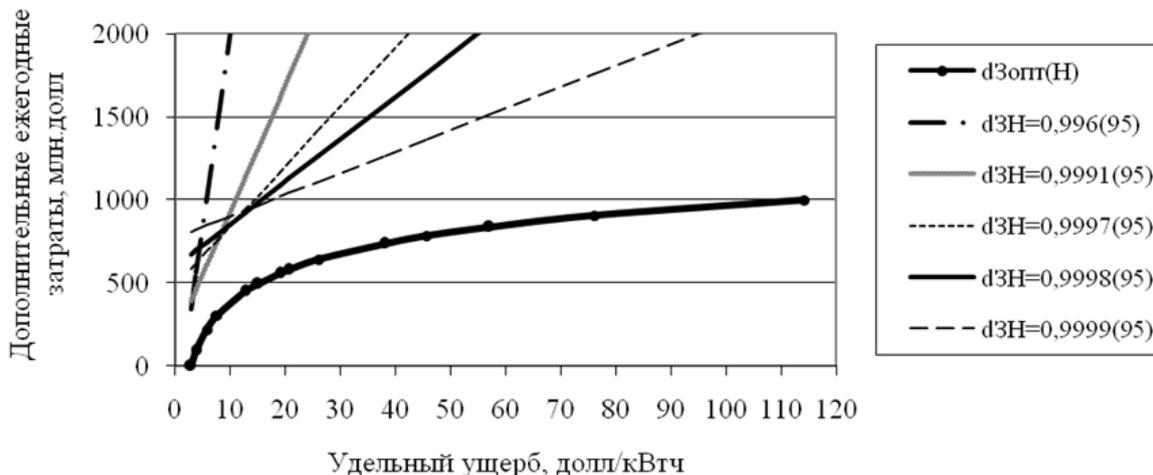


Рисунок 3 - Изменение величин дополнительных оптимальных суммарных ежегодных затрат $dZ_{opt(H)}$ и дополнительных суммарных ежегодных затрат $dZ_{H(R=95)}$ в зависимости от величины удельного ущерба

На рисунке 4 показаны возможные максимальные превышения дополнительных суммарных ежегодных затрат при оптимальных параметрах для риска с вероятностью 95 % ($dZ_{H(R=95)}$) относительно оптимальных дополнительных суммарных ежегодных затрат ($dZ_{opt(H)}$) для различных уровней надежности H в интервале возможных значений величины удельного ущерба (долл/ кВт·ч).

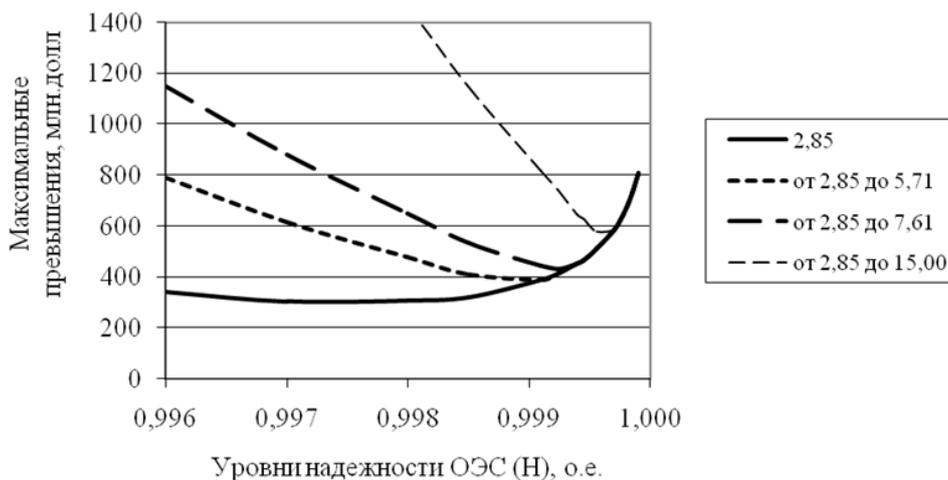


Рисунок 4 - Максимальные превышения $dZ_{H(R=95)}$ относительно $dZ_{opt(H)}$ для различных уровней надежности H в интервале возможных значений удельного ущерба

Из рисунка 4 видно, что для риска с вероятностью 95 % для удельного ущерба, равного 2,85 долл/кВт·ч более выгодно иметь оптимальные параметры, соответствующие уровню надежности ОЭС равному $H=0,998$, чем уровню $H=0,996$. Для диапазона возможного изменения величины удельного ущерба от 2,85 до 5,71 долл/кВт·ч наименьшие

максимальные превышения $dZ_{H(R=95)}$ относительно $dZ_{onn(H)}$ отмечены для оптимальных параметров, соответствующих уровню надежности в ОЭС $N=0,9991$, для диапазона от 2,85 до 7,61 долл/кВт·ч - уровню $N=0,99924$, для диапазона от 2,85 до 15 долл/кВт·ч - уровню $N=0,99956$. Таким образом, наименьшие максимальные превышения $dZ_{H(R=95)}$ относительно $dZ_{onn(H)}$ наблюдаются при уровнях надежности ОЭС, которым соответствуют оптимальные параметры адекватности ресурсов, рассчитанные по значениям удельных ущербов, находящихся вне рассматриваемых интервалов возможного значения удельного ущерба, выше верхней границы возможных значений.

На рисунке 5 приведены уровни надежности ОЭС для рисков превышения энергии недоотпуска относительно ожидаемого значения недоотпуска с вероятностью 85%, 90%, 95 %, при которых получены минимальные значения максимальных превышений $dZ_{H(R)}$ относительно $dZ_{onn(H)}$ для различных возможных интервалов значений величины удельного ущерба.

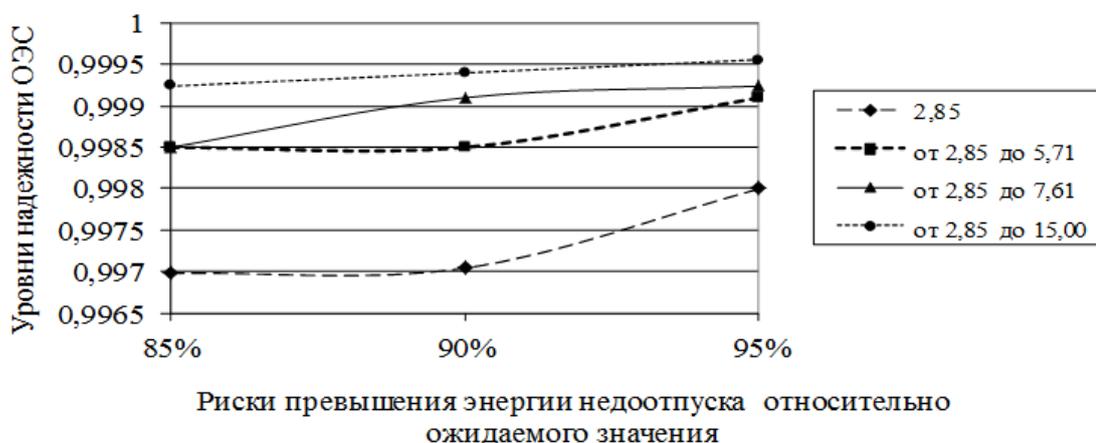


Рисунок 5 - Уровни надежности ОЭС, при которых получены минимальные значения максимальных превышений $dZ_{H(R)}$ относительно $dZ_{onn(H)}$ для различных возможных интервалов значений величины удельного ущерба при рисках превышения энергии недоотпуска относительно ожидаемого значения недоотпуска с различной вероятностью

При расчетах надежности в условиях неопределенности информации по величине удельного ущерба необходимо учитывать вероятность превышения недоотпуска электроэнергии потребителям относительно ожидаемой величины.

Выбор нормативных уровней надежности ОЭС с поправками на риск, которые представляют собой компромисс между риском и затратами, будет зависеть от отношения к риску лиц, принимающих решения в ЕЭС России или регулирующих органах.

Список литературы

1. Широкоступова М.С. Модели для расчетов надежности в объединениях электроэнергетических систем в условиях рыночных отношений в электроэнергетике [Текст] / Волков Г.А., Широкоступова М.С. // Современные проблемы надежности систем энергетики: модели, рыночные отношения, управление реконструкцией и развитием. М.: Нефть и газ, -2000.- С. 45-56.
2. Чукреев, Ю.Я. Сравнение отечественных и зарубежных вероятностных показателей балансовой надежности электроэнергетических систем [Текст] / Ю.Я. Чукреев// Известия Российской академии наук. Энергетика. - 2012. - № 6. - С. 27 - 38.
3. The Economic Ramifications of Resource Adequacy White Paper [Электронный ресурс] // Astrape Consulting. - 2013, - 83 p. - Режимдоступа: <http://pubs.naruc.org/pub/536DBE4A-2354-D714-5153-70FEAB9E1A87>. (Дата обращения 23.06.2016).

Широкоступова Мария Степановна - научный сотрудник, ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», e-mail: mariste123@gmail.com.

RELIABILITY CALCULATION UNDER UNCERTAINTY INFORMATION ON VALUE OF LOST LOAD TO CUSTOMERS ELECTRICITY, TAKING INTO ACCOUNT THE PROBABILITY OF EXCEEDING UNDERSUPPLY OF ELECTRICITY TO CONSUMERS WITH RESPECT TO THE EXPECTED VALUE

Shirokostupova M.S.

Russia, Moscow, Public corporation «Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (ENIN)»,

The paper proposes a method for calculating the reliability under uncertainty information on value of lost load, taking into account the probability of exceeding undersupply of electricity to consumers with respect to the expected value.

Key words: reliability calculations, uncertainty of information, value of lost load, levels of reliability, risk of exceeding the expected value, undersupply of electricity.

Bibliography

1. SHirokostupova M.S. Modeli dlya raschetov nadezhnosti v ob"edineniyah ehlektroehnergeticheskikh sistem v usloviyah rynochnyh otnoshenij v ehlektroehnergetike [Tekst] / Volkov G.A., SHirokostupova M.S. // *Sovremennye problemy nadezhnosti sistem ehnergetiki: modeli, rynochnye otnosheniya, upravlenie rekonstrukciej i razvitiem*. M.: Neft' i gaz, - 2000. - S. 45-56.

2. CHukreev, YU.YA.

Sravnienieotechestvennyhizarubezhnyhveroyatnostnyhpokazatelejbalansovojnadezhnostiehlektroehnergeticheskikh sistem [Tekst] / YU.YA. CHukreev // IzvestiyaRossijskoj akademii nauk. EHnergetika. - 2012. - № 6. - S. 27 - 38.

3. The Economic Ramifications of Resource Adequacy White Paper [EHlektronnyj resurs] // Astrape Consulting. - 2013, - 83 p. - Rezhim dostupa: <http://pubs.naruc.org/pub/536DBE4A-2354-D714-5153-70FEAB9E1A87>. (Data obrashcheniya 23.06.2016).

SHirokostupova Mariya Stepanovna, Researcher, Public corporation «Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (ENIN)», e-mail: mariste123@gmail.com

УДК 620.93; [621.5.09]

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Чаленко В.В.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

В статье рассматривается возможность использования энергосберегающих турбодетандерных установок для выработки электроэнергии.

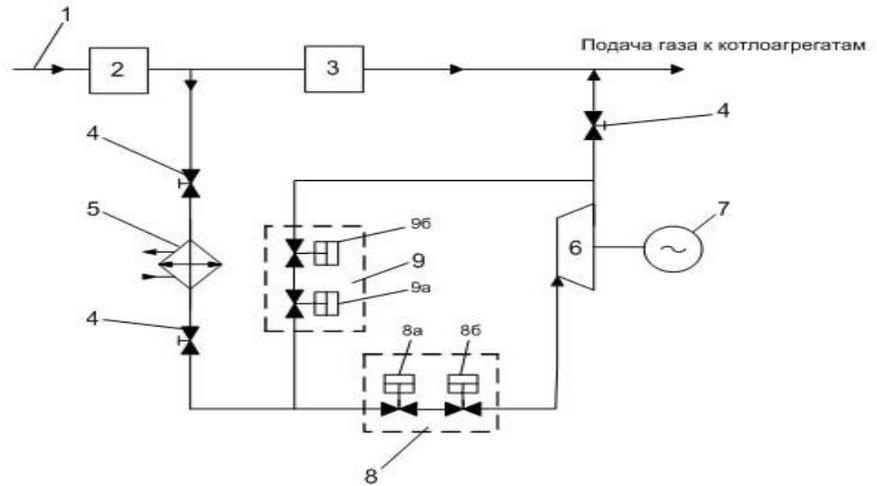
Ключевые слова: турбодетандерная установка, энергосбережение

Одной из перспективных технологий повышения энергоэффективности в электроэнергетике, является применение энергосберегающих турбодетандерных установок, предназначенных для выработки электроэнергии за счет использования энергии избыточного перепада давления природного газа, дросселируемого на газораспределительных пунктах (ГРП) и газораспределительных станциях [1]. Вариант реализации энергосберегающей турбодетандерной установки мощностью 6 МВт – ЭТДУ - 6000, приведен на рис. 1.

Природный газ с давлением P1, расходом Q из входного коллектора, поступает в газоподогреватель (теплообменный аппарат). Из газоподогревателя газ поступает через отключающую задвижку, стопорный клапан (СК) и дозирующий клапан (ДК) в турбодетандер, где, расширяясь до давления P2, приводит в действие генератор и выработанная электроэнергия поступает в электрическую сеть. Газ, после расширения в турбодетандере через отключающую задвижку направляется в выходной коллектор ГРП.

Рисунок 1 - Принципиальная схема создания ЭТДУ-6000 на ГРП тепловой электростанции

- 1 – подвод газа к ГРП; 2 – узел очистки газа; 3 – ГРП;
 4 – электрозадвижка;
 5 – газоподогреватель (теплообменный аппарат);
 6 – турбодетандер;
 7 – электрогенератор; 8 – блок регулирующего клапана, где:
 8а – стопорный клапан (СК);
 8б – дозирующий клапан (ДК);
 9 – блок байпасный:
 9а – клапан защиты (КЗ); 9б – регулятор давления газа (РДГ)



Для бесперебойного обеспечения подачи газа потребителю ЭТДУ снабжен байпасной линией, в комплект которой входят клапан защиты (КЗ) и регулятор давления газа (РДГ). В случае аварийной остановки агрегата срабатывает стопорный клапан (СК), который перекрывает подачу газа на ЭТДА. Одновременно с закрытием СК открывается быстродействующий клапан защиты КЗ и газ в обход ЭТДУ поступает в выходной коллектор ГРП. Давление в газопроводе после ЭТДУ в это время обеспечивается работой РДГ. В случае вывода из работы ЭТДУ начинают автоматически открываться редуцирующие клапаны ГРП и закрываться РДГ. После полного закрытия клапанов РДГ и КЗ ГРП установка переходит в дежурный режим работы [2].

В ходе эксплуатационных испытаний турбодетандерной установки проведенных в 2007 году ОАО «Белгородоблгаз», были выявлены следующие недостатки:

- генерация электроэнергии турбогенератором происходит только при значительном расходе газа, в период положительных температур (от +10⁰ С);
 - из-за недостаточного потребления газа потребителями турбогенератор неподвижен;
 - при производстве аварийных работ в ночное время использование освещения невозможно, так перекрыто отключающие устройства и остановлена работа турбогенератора;
 - включение турбостанции можно производить только при подключенной нагрузке.
- С учетом этих недостатков, ТДУ должна отвечать следующим условиям:
- не зависеть от сезонности расхода газа;
 - обеспечивать электроснабжение потребителей при отсутствии расхода газа;
 - обеспечивать постоянную электрическую нагрузку при подключении турбогенератора.

Для выполнения этих условий целесообразно применять генерирующую установку гибридного типа.

Установка должна состоять из турбогенератора, подающего клапана с пневмоуправлением, блока управления и вспомогательной аккумуляторной батареи (рис. 2).

При нарушении электропитания потребителя от внешней электрической сети блок управления подает напряжение на двухпозиционный электромагнитный клапан, газ под давлением поступает в полость управления крана с подвижным седлом, он открывается, пропуская газ через турбогенератор. Происходит раскрутка турбогенератора. На время раскрутки электроснабжение блока управления турбогенераторной установки и оборудования потребителя осуществляется от собственной вспомогательной аккумуляторной батареи. Эта же аккумуляторная батарея служит для сглаживания возможных пульсаций напряжения в процессе работы турбодетандерной установки.

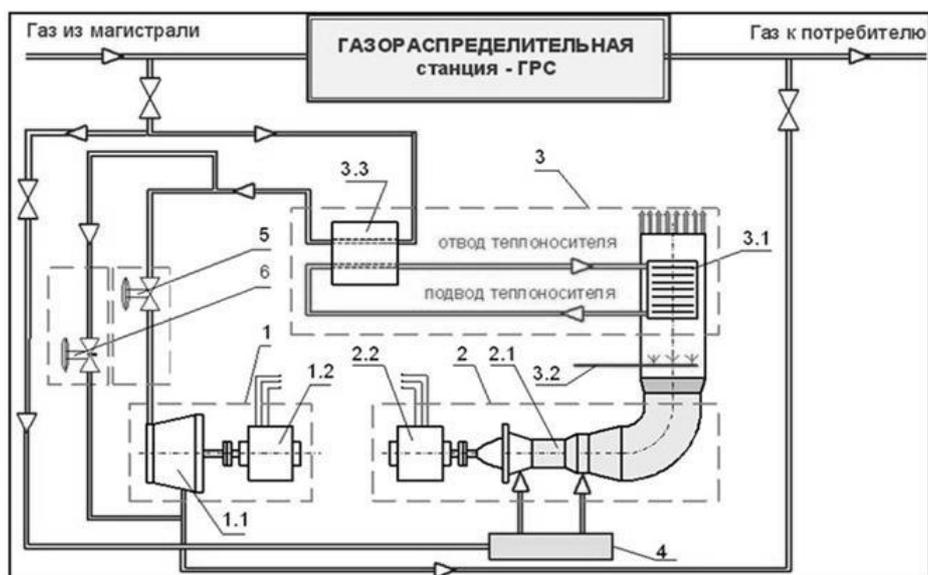


Рисунок 2 - Турбодетандерная электростанция

1 – турбодетандерная установка; 1.1 - турбодетандер; 1.2 - генератор; 2 - газотурбинная электростанция; 2.1 - газотурбинный двигатель; 2.2 - генератор; 3 - теплообменное оборудование; 3.1 - утилизационный теплообменник (котел- утилизатор водогрейный); 3.2 - дожигающее устройство; 3.3 - подогреватель "газ-вода"; 4 – газгольдер; 5 - блок стопорно-дозировочного клапана; 6 - блок байпасно - регулирующего клапана

По истечении установленного времени, необходимого на раскрутку генератора, блок управления подает напряжение на обмотку возбуждения генератора, и генератор начинает вырабатывать электрический ток. Далее электроснабжение оборудования потребителя и подзарядка вспомогательной аккумуляторной батареи происходит от турбогенератора через тот же преобразователь напряжения. [3].

При восстановлении внешнего энергоснабжения, как только на входе в блок управления появляется напряжение от внешней электрической сети, напряжение с управляющего двухпозиционного электромагнитного клапана снимается, давление из управляющей полости крана с подвижным седлом стравливается в атмосферу, происходит отсечка подачи газа к турбогенератору, и он останавливается. Турбодетандерная установка переходит в штатный режим работы.

По итогам эксплуатационных испытаний принято решение о необходимости в дополнительных исследованиях турбодетандерной установки с целью ее доработки.

- улучшение характеристик узлов турбодетандера для обеспечения выработки электроэнергии при малых расходах газа;
- улучшение технологичности производства и сборки турбодетандера;
- исследование возможности использования турбодетандерной установки как основной установки редуцирования энергии газа;
- усовершенствование системы автоматизации и управления электромагнитным тормозом;
- разработка и испытание автономного гибридного генератора на базе турбодетандера.

Список литературы

1. Гуров В.И. Турбодетандеры нового поколения в решении задач энергоснабжения. Журнал «Энергоназор и энергобезопасность» № 4 2006 г.
2. Мальханов О.В. Энергосберегающие турбодетандерные комплексы для ГРС и ГРП. «Надежность и безопасность энергетики». 2008г., № 1.
3. Марченко Е.М., Мальханов О.В. Энергосберегающие турбодетандерные агрегаты для производства электроэнергии на ГРС и ГРП. Надежность и безопасность энергетики. 2009г., № 6.

Комаристый Александр Семенович - доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ОГУ им. И.С. Тургенева, тел.8(4862) 419830.

Комаристая Людмила Семеновна - ст. препод. кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ОГУ им. И.С. Тургенева, тел.8(4862) 419830.

Молоканов Евгений Егорович - доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ОГУ им. И.С. Тургенева, тел.8(4862) 419830.

Чаленко Виктория Владимировна - студент группы 1-ЭО(з) - М, ОГУ им. И.С. Тургенева, тел.8(4862) 723087.

ENERGY TURBINE INSTALLATION TO GENERATE TLECTRICTY

Komaristy A.S., Komaristaya L.S., Molokanov E.E., Chalenko V.V.
Russia Orel, FBGOU IN "Orlovsky State University name IS Turgenev"

The article discusses the possibility of using energy-saving turbo-expander plants for electricity generation.

Key words: turbo-expander installation, energy saving.

Bibliography

1. Gurov V.I. Turbodetandery novogo pokoleniya v reshenii zadach energosnabzheniya. Zhurnal «Energoadzor i energobezопасnost» № 4 2006 g.

2. Malkhanov O.V. Energoberegayushchie turbodetandernye komplekсы dlya GRS i GRP.«Nadezhnost i bezопасnost energetiki».2008g., № 1

3. Marchenko E.M., Malkhanov O.V. Energoberegayushchie turbodetandernye agregaty dlya proizvodstva elektroenergii na GRS i GRP. Nadezhnost i bezопасnost energetiki. 2009g., № 6.

Komaristy A.S. – associate Professor of electrical and energy saving "Orlovsky State University name IS Turgenev"

Komaristaya L.S. – st. lecturer in electrical and energy saving "Orlovsky State University name IS Turgenev"

Molocanov E.E. – associate Professor of electrical and energy saving "Orlovsky State University name ISTurgenev"

Chalenko V.V. – student gr. 1 - EO_Z - M saving "Orlovsky State University name IS Turgenev"

УДК 621.3

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ

Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я.

Россия, г. Липецк, Липецкий государственный технический университет

Аннотация: В статье изложены принципы регулирования напряжения статических компенсаторов реактивной мощности. Приведенные формулы позволяют рассчитать базовую мощность СТАТКОМа и величину регулируемого напряжения в системе электроснабжения.

Ключевые слова: СТАТКОМ, резкопеременные нагрузки, мощность, провал напряжения, дуговая сталеплавильная печь.

Потребители с резкопеременной нагрузкой могут быть причиной снижения качества электроэнергии в системах электроснабжения. Наиболее известным электроприёмником с резкопеременными нагрузками является дуговая сталеплавильная печь. Она имеет три режима плавки: расплавление, окисление и рафинирование. Режим расплавления весьма близок к режиму короткого замыкания, так как в этом режиме происходят броски токов в электрической системе, что приводит к отклонению напряжения ниже номинального значения. В связи с этим уменьшается оптимальный нагрузочный ток, при котором обеспечивается наивысшая производительность параллельно работающих дуговых сталеплавильных печей, и повышается расход электроэнергии. В результате их производительность падает пропорционально падению напряжения. Более того, протекание

токов обратной последовательности в печных трансформаторах и токов высших гармоник вызывает дополнительные потери электроэнергии [1].

Применение статических компенсаторов реактивной мощности (СТАТКОМ) позволяют улучшить качество электроэнергии в системе электроснабжения за счет управления потоками реактивной мощности с последующим регулированием напряжения на прилегающей шине [2]. Отметим, что в системах с резкопеременными нагрузками целесообразно применять многоуровневые бестрансформаторные СТАТКОМы, подключаемые непосредственно на шины среднего напряжения от 6 до 35 кВ. Обратимся к рисунку 1, где система СТАТКОМ присоединена к "неспокойной" шине 35 кВ с источником резкопеременной нагрузки.

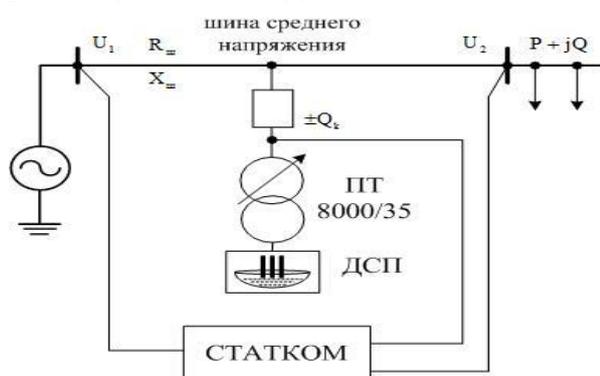


Рисунок 1 - Схема работы СТАТКОМ на шине среднего напряжения

СТАТКОМ обеспечивает необходимое качество электроэнергии, управляя мощностью линии за счёт генерации или потребления реактивной составляющей, и стабилизирует напряжения U_1 и U_2 по её концам. Рассмотрим регулирование напряжения способом управления потоками реактивной мощности. Регулирование напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях [3]. Так, для схемы сети, приведенной на рисунке 1, связь между напряжениями начала U_1 , и конца U_2 можно записать в виде

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \frac{P \cdot R_{ш} + (Q \pm Q_k) \cdot X_{ш}}{U_2}, \quad (1)$$

где U_1 - напряжение в начале линии; U_2 - напряжение в конце линии; P , Q - активная и реактивная составляющая мощности в сети; $R_{ш}$, $X_{ш}$ - активное и реактивное сопротивление линии; Q_k - переменная величина реактивной составляющей в линии.

Из формулы (1) следует, что при изменении системой СТАТКОМ величины переменной мощности Q_k от выдачи (знак "плюс" перед Q_k) до потребления (знак "минус" перед Q_k) величина ΔU будет изменяться. При неизменном напряжении U_1 такое действие приведет к изменению начального напряжения U_1 в конце сети, то есть будет произведено регулирование напряжения [3].

При воздействии резкопеременной нагрузки на сеть, появляется избыточность реактивной мощности в сети с последующим провалом напряжения на беспокойной шине. В задачу СТАТКОМа входит поддержание напряжения U_2 на уровне значений U_1 . Следовательно, в таком случае величина ΔU должна стремиться к нулю [4]. С учетом этого, запишем формулу:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R_{ш} + (Q - Q_k) \cdot X_{ш}}{U_2} = 0; \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что оперировать необходимо с числителем, поэтому, конечным преобразованием является формула:

$$Q_k = P \cdot \frac{R_{ш}}{X_{ш}} + Q. \quad (3)$$

При параллельной работе дуговых сталеплавильных печей необходимо учитывать их суммарные активные и реактивные составляющие:

$$\sum_{i=1}^n Q_k = \sum_{i=1}^n P \cdot \frac{R_{III}}{X_{III}} + \sum_{i=1}^n Q. \quad (4)$$

Выбор мощности системы СТАТКОМ следует осуществлять по формуле (4), где учитываются суммарные активные и реактивные мощности в режиме плавки. Следует отметить, что целесообразно размещать СТАТКОМ по концам питающей шины, так как регулирование напряжения должно осуществляться с учётом параллельной работы дуговых сталеплавильных печей [4].

Использование систем СТАТКОМ наиболее эффективно использовать в связке с электротермическими потребителями электроэнергии. К ним можно отнести дуговые сталеплавильные печи для плавки черных и цветных металлов [2], а так же установки индукционного нагрева для плавки и термообработки металлов [5]. Такие системы в итоге снижают потери электрической энергии и увеличивают пропускную способность электрических сетей за счёт непосредственного управления потоками мощности, это даст весьма ощутимый эффект в вопросе энергоэффективности производства.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и управления образования и науки Липецкой области в рамках научного проекта 14-48-03629 р_центр_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах металлургических производств».

Список литературы

1. Зацепин, Е.П., Зацепина В.И. Минимизация провалов напряжения при совместной работе группы дуговых сталеплавильных печей // Промышленная энергетика. №1. 2009. С. 22-24.
2. Зацепин, Е.П. Колебания и отклонения напряжения в дуговых сталеплавильных печах // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета в 2-х ч. Ч 1., 2012, г. Липецк. 345 с.
3. Зацепин Е.П., Зацепина В.И. Качество электрической энергии по напряжению в системах электроснабжения металлургических предприятий // Вести вузов Черноземья, 2013. №1, г. Липецк. С. 21-25.
4. Зацепин Е.П., Зацепина В.И., Шачнев О.Я. Анализ применения FACTS-устройств в системах с резкопеременными нагрузками. // Вести вузов Черноземья. №4. 2015. г. Липецк. С. 21-26.
5. Володин И.М. Разработка и внедрение качество-повышающей технологии термической обработки поковок // Известия тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2003. № 1. С. 100.

Зацепина Виолетта Иосифовна - д-р техн. наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. vizats@gmail.com

Зацепин Евгений Петрович - канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. ezats@mail.ru

Шачнев Олег Ярославович - аспирант кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. sh.ol.ya@yandex.ru

VOLTAGE CONTROL OF STATIC COMPENSATORS OF REACTIVE POWER IN SYSTEMS WITH VARIABLE LOADS

Zatsepina V.I., Zatsepin E.P., Shachnev O.Y.
Russia, Lipetsk, Lipetsk state technical University

Abstract: the article presents the principles of voltage control of static compensators of reactive power. The formulas allow you to calculate basic capacity of STATCOM and magnitude of the regulated voltage in the power system.

Key words: STATCOM, variable load, power, voltage SAG, arc furnace.

Bibliography

1. Zatsepin, E.P., Zatsepina V.I. Minimizacija provalov naprjazhenija pri sovmestnoj rabote gruppy dugovyh staleplavil'nyh pechej // Promyshlennaja energetika. №1. 2009. p. 22-24.
2. Zatsepin, E.P. Kolebanija iotklonenija naprjazhenija v dugovyh staleplavil'nyh pechah // Sbornik tezisov dokladov nauchnoj konferencii studentov I aspirantov Lipeckogo gosudarstvennogo tehničeskogo universitetav 2-hch. Ch 1., 2012, Lipetsk. 345 p.
3. Zatsepin E.P., Zatsepina V.I. Kachestvo jelektricheskoy jenerгии po naprjazheniju v sistemah jelektrosnabzhenija metallurgicheskikh predpriyatij // Vesti vuzov Chernozem'ja, 2013. №1, Lipetsk. p. 21-25.
4. Zatsepin E.P., Zatsepina V.I., Shachnev O.Y. Analiz primenenija FACTS-ustrojstv v sistemah s rezkoperemennymi nagruzkami. // Vesti vuzov Chernozem'ja. №4. 2015. Lipetsk. p. 21-26.
5. Volodin I.M. Razrabotka i vnedrenie kachestvo-povyshajushhej tehnologii termicheskoy obrabotki pokovok // Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematika. Mehanika. Informatika. 2003. № 1. p. 100.

Zatsepina Violetta Iosifovna, doctor of technical Sciences, Professor, Department of electrical Lipetsk state technical University. vizats@gmail.com

Zatsepin Evgeny Petrovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of electrical Lipetsk state technical University. ezats@mail.ru

Shachnev Oleg Yaroslavovich, postgraduate, Department of electrical Lipetsk state technical University. sh.ol.ya@yandex.ru

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ ПО АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я.

Россия, г. Липецк, Липецкий государственный технический университет

Аннотация: В статье рассмотрено применение теории случайных импульсных потоков для повышения эффективности программно-аппаратного комплекса, выполняемых технологических процессов и общего повышения энергоэффективности производства.

Ключевые слова: график нагрузки, импульсные потоки, программно-аппаратные комплексы, анализ электрических характеристик, технологический процесс.

В настоящее время в Российской Федерации, странах ближнего и дальнего зарубежья отмечается рост спроса на инновационные средства по обеспечению энергоэффективности предприятий. К таким средствам обычно относят устройства автоматического управления промышленными комплексами, а так же программно-аппаратные комплексы, предназначенные для автоматизации энергоуправления, энергоаудита и комплексного анализа электрической части потенциального объекта [1]. Различные электроприемники имеют специфический технологический процесс, обусловленный резким изменением потребляемой мощности в течение определенного периода времени [2]. Для точного восприятия аппаратным комплексом всех негативных возмущений целесообразно использовать теорию случайных импульсных потоков. Она позволяет представить график нагрузки в различные временные промежутки в виде импульсов, где величина импульсов является площадь области под графиком равная площади соответствующих прямоугольников 1-7 (рисунок 1).

Таким образом, суммарный график будет состоять из импульсов, с различной интенсивностью (I_i) и длительностью (τ_i). При таком подходе сохраняется полная энергия сигнала с возможностью прогнозирования графика нагрузки. Так, средняя длительность импульсов определяется на основании обработки аппроксимирующего графика [3]:

$$\tau = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1} \tau_i, \quad (1)$$

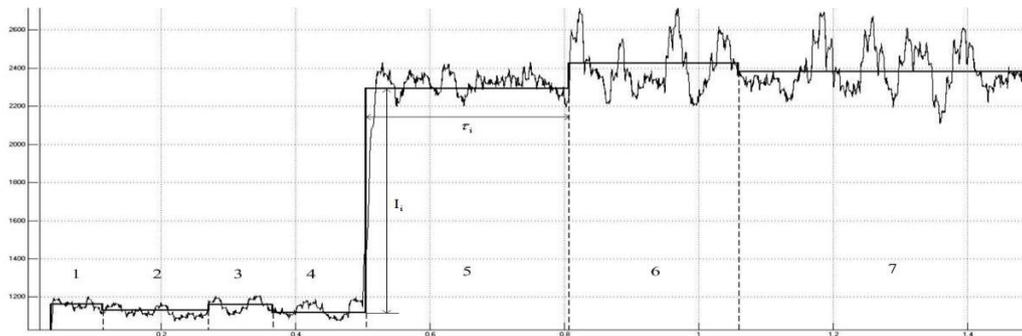


Рисунок 1 - Представление резкопеременной нагрузки в виде импульсных потоков

где n - число импульсов совпадений i -ого уровня интенсивности; τ_i - длительность i -ого импульса совпадения.

Число импульсов совпадений:

$$n_i = T \cdot \bar{\mu}_i, \quad (2)$$

где T - время наблюдения за изменением нагрузки, $\bar{\mu}_i$ - частота следования импульсов совпадения i -ого уровня интенсивности.

Вероятность появления импульсов совпадения такого уровня будет:

$$P_i = \bar{\tau}_i \cdot \bar{\mu}_i, \quad (3)$$

По параметрам импульсов совпадений определяются зависимости, характеризующие импульсы и паузы потока. К ним относятся частота $\bar{\mu}_i$, средняя длительность $\bar{\tau}_i$ и вероятность P импульсов, а так же плотность вероятности длительностей импульсов [3].

В условиях производства, при работе, например дуговой сталеплавильной печи, в различных режимах плавки металла (расплав, окисление, рафинирование) при минимальных значениях импульсов, а так же при сильной разности интенсивности импульсов при неизменном технологическом процессе будет свидетельствовать о возможных отказах в системе электроснабжения [2]. Однако, теория случайных импульсных потоков может быть применена в непосредственно технологической сфере, например, при термообработке металлов [4]. Температурные характеристики, в этом случае, позволяют корректировать составляющие импульсов для получения необходимого результата и характеристик получаемого продукта.

Применение теории случайных импульсных потоков при анализе графиков нагрузок (графиков технологического процесса) позволяет блоку управления программно-аппартного комплекса реагировать на технологические возмущения, получая наиболее оптимальный режим работы посредством вычисления вероятности появления пауз суммарного импульсного потока.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и управления образования и науки Липецкой области в рамках научного проекта 14-48-03629 р_центр_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах металлургических производств».

Список литературы

1. Зацепин, Е.П. Колебания и отклонения напряжения в дуговых сталеплавильных печах // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета в 2-х ч. Ч 1., 2012, г. Липецк. 345 с.
2. Зацепин, Е.П. Зацепина В.И. Минимизация провалов напряжения при совместной работе группы дуговых сталеплавильных печей // Промышленная энергетика. №1. 2009. С. 22-24.
3. Бош, В.И. Зацепин Е.П. Особенности систем электроснабжения сталеплавильных производств. Монография. Липецк: ЛГТУ. 2006. 152 с.

4. Володин, И.М. Разработка и внедрение качество-повышающей технологии термической обработки поковок // Известия тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2003. № 1. С. 100.

Зацепина Виолетта Иосифовна - д-р техн. наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. vizats@gmail.com

Зацепин Евгений Петрович - канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. ezats@mail.ru

Шачнев Олег Ярославович - аспирант кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета. sh.ol.ya@yandex.ru

APPLICATION OF RANDOM PULSE FLOWS IN THE SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR THE ANALYSIS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Zatsepina V.I., Zatsepin E.P., Shachnev O.Y.
Russia, Lipetsk, Lipetsk state technical University

Abstract: the article deals with the application of the theory of random impulse flows to improve the efficiency of hardware-software complex, carry out technological processes and overall efficiency of production.

Key words: load graph, pulse flows, software and hardware systems, analysis of electrical characteristics, technological process.

Bibliography

1. Zatsepin, E.P. Kolebanija i otklonenija naprjazhenija v dugovyhstaleplavil'nyh pechah // Sbornik tezisov dokladov nauchnoj konferencii studentov I aspirantov Lipeckogo gosudarstvennogo tehničeskogo universitetav 2-hch. Ch1., 2012, Lipetsk. 345 p.

2. Zatsepin, E.P., Zatsepina V.I. Minimizacija provalov naprjazhenija pri sovmestnoj rabote gruppy dugovyh staleplavil'nyh pechej // Promyshlennaja jenergetika. №1. 2009. p. 22-24.

3. Bosh V.I., Zatsepin E.P. Osobennosti sistem jelektrosnabzhenija staleplavil'nyh proizvodstv. Monografija. Lipeck: LGTU. 2006. 152 p.

4. Volodin I.M. Razrabotka i vnedrenie kachestvo-povyshajushhej tehnologii termičeskoj obrabotki pokovok // Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematika. Mehanika.Informatika. 2003. № 1. p. 100.

Zatsepina Violetta Iosifovna, doctor of technical Sciences, Professor, Department of electrical Lipetsk state technical University. vizats@gmail.com

Zatsepin Evgeny Petrovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of electrical Lipetsk state technical University. ezats@mail.ru

Shachnev Oleg Yaroslavovich, postgraduate, Department of electrical Lipetsk state technical University. sh.ol.ya@yandex.ru

УДК 621.313

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КАСКАДНО-ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И.
Россия, г. Липецк, ФГБОУ ВО «ЛГТУ»

В статье представлена математическая модель системы каскадно-частотного электропривода, позволяющая рассматривать энергетические показатели при различных законах регулирования.

Ключевые слова: каскадно-частотный электропривод; математическая модель, энергетические показатели.

The article presents a mathematical model of the system cascading-frequency electric drive allows to consider energy performance under different control laws.

Key words: cascade-frequency electric drive; mathematical model energy performance.

В настоящее время одними из направлений развития современных систем электропривода переменного тока являются частотное управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором и каскадные схемы включения асинхронных двигателей с фазным ротором. Разработка, создание и внедрение в производство новых электроприводов на основе синтеза указанных систем, обеспечивающих высокие энергетические показатели, хорошую управляемость, простоту конструкции, учет требований технологического процесса, представляет собой перспективное направление развития электроприводов переменного тока. Одним из способов повышения энергетических показателей электропривода является режим последовательного возбуждения, на основе которого построена система каскадно-частотного электропривода [1], функциональная схема силовой части которой представлена на рис. 1.

Регулируемый преобразователь $UZ1$, связанный с питающей сетью через трансформатор $TV1$, работает в режиме выпрямителя; преобразователь $UZ2$ работает в режиме автономного инвертора и может подключаться к обмотке статора через согласующий трансформатор $TV2$; преобразователь $UZ3$ является нерегулируемым выпрямителем. В цепь выпрямленного тока включен сглаживающий реактор L . Асинхронный двигатель не имеет прямого включения в сеть; энергия скольжения, за исключением потерь, передается в статорную цепь двигателя. Обмотки статора и ротора включены в общую цепь, что позволяет одновременно управлять токами, протекающими в них. Применение каскадно-частотного электропривода целесообразно при модернизации систем с реостатным управлением, для механизмов с редкими пусками и длительными или медленно меняющимися режимами работы (подъемно-транспортные механизмы, вращающиеся печи, шаровые мельницы и др.). Для наиболее полного представления о свойствах рассматриваемой системы при математическом моделировании следует выделить как можно больше параметров, призванных к рассмотрению. Помимо наиболее распространенных величин, (токи цепей статора и ротора, электромагнитного момента, потока в зазоре и т.д.), рассматриваются также значения КПД, коэффициента мощности, активной и реактивной мощностей.

На основании аналитических расчетов, полученных выражений, которые представлены в [1], [2], [3], имеем систему уравнений, описывающую каскадно-частотный электропривод. Основой данной системы уравнений является описание асинхронного двигателя в системе координат xu [4].

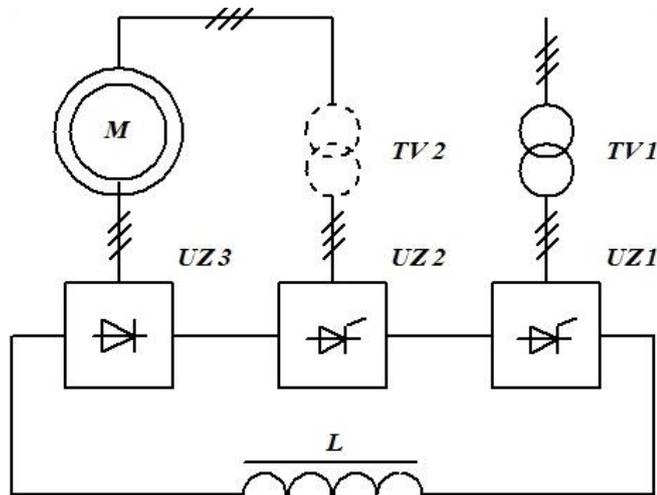


Рисунок 1 - Функциональная схема каскадно-частотного электропривода

Построенная на основании приведенной системы уравнений математическая модель каскадно-частотного электропривода (рис. 2) позволяет рассматривать энергетические показатели как в переходных процессах, так и в статических режимах при любых законах регулирования (при постоянном напряжении, подводимом к цепи статора асинхронного двигателя и различных значениях его частоты и при различных законах частотного управления).

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_{1x}}{dt} &= \sqrt{2} \cdot U_1 - \frac{r_1 L_2}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{1x} + \frac{r_1 L_\mu}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{2x} + \omega_0 \Psi_{1y}; \\
\frac{d\Psi_{1y}}{dt} &= 0 - \frac{r_1 L_2}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{1y} + \frac{r_1 L_\mu}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{2y} - \omega_0 \Psi_{1x}; \\
\frac{d\Psi_{2x}}{dt} &= u_{2x} - \frac{r_2 L_1}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{2x} + \frac{r_2 L_\mu}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{1x} + (\omega_0 - \omega) \Psi_{2y}; \\
\frac{d\Psi_{2y}}{dt} &= u_{2y} - \frac{r_2 L_1}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{2y} + \frac{r_2 L_\mu}{L_1 L_2 - L_\mu^2} \Psi_{1y} - (\omega_0 - \omega) \Psi_{2x}; \\
M &= \frac{3}{2} \frac{p_n L_\mu}{L_1 L_2 - L_\mu^2} (\Psi_{1y} \Psi_{2x} - \Psi_{1x} \Psi_{2y}); \\
i_{1x} &= \frac{L_2 \Psi_{1x} - L_\mu \Psi_{2x}}{L_1 L_2 - L_\mu^2}; \\
i_{1y} &= \frac{L_2 \Psi_{1y} - L_\mu \Psi_{2y}}{L_1 L_2 - L_\mu^2}; \\
i_{2x} &= \frac{L_1 \Psi_{2x} - L_\mu \Psi_{1x}}{L_1 L_2 - L_\mu^2}; \\
i_{2y} &= \frac{L_1 \Psi_{2y} - L_\mu \Psi_{1y}}{L_1 L_2 - L_\mu^2}; \\
u_{2x} &= -U_2 \frac{i_{2x}}{\sqrt{i_{2x}^2 + i_{2y}^2}}; \\
u_{2y} &= -U_2 \frac{i_{2y}}{\sqrt{i_{2x}^2 + i_{2y}^2}}; \\
U_1 &= U_0 + E_2 s - I_2 \frac{R_{\mathcal{G}2}}{k_f}; \\
U_2' &= \left(U_0 - E_1 - I_1 \frac{R_{\mathcal{G}1}}{k_f} \right) k_e; \\
E_1 &= I_\mu x_\mu; \quad E_2 = \frac{E_1}{k_e}; \quad I_\mu = \sqrt{I_{\mu x}^2 + I_{\mu y}^2}; \\
R_{\mathcal{G}1} &= 2(r_1 + r_{T2}) + \frac{3}{\pi} (x_1 + x_{T2}) + r_{CP}; \\
R_{\mathcal{G}2} &= 2(r_2 + r_{T2}) + \frac{3}{\pi} (x_2 s + x_{T2}) + r_{CP}; \\
\eta &= \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P}; \\
P &= M\omega + \Delta P; \\
\cos \gamma &= 1 - Kl \cdot I_d; \quad \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}; \quad \frac{\gamma}{2} = \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin \gamma}{1 + \cos \gamma} \right]; \\
Q &= K2 \cdot I_d \cdot \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right); \\
\cos \phi &= v \cdot \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.
\end{aligned}$$

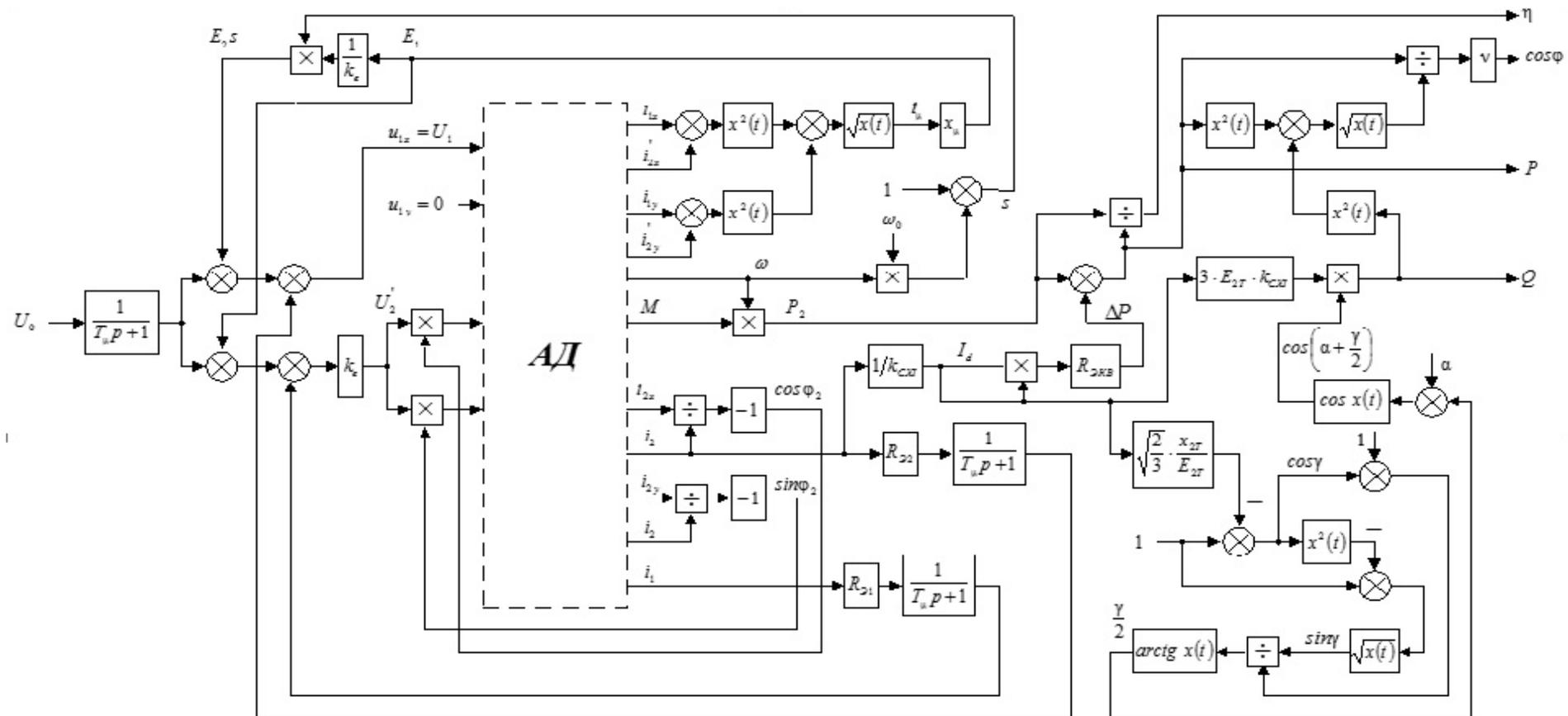


Рисунок 2 - Математическая модель системы каскадно-частотного электропривода

Список литературы

1. Статические характеристики системы асинхронного вентильного каскада с последовательным возбуждением / В.Н. Мещеряков, Д.И. Шишлин, Р.С. Рысляев, В.А. Зотов // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №2. С. 57-60.
2. Шишлин Д.И. Составление энергетического баланса и анализ энергетических характеристик системы каскадно-частотного электропривода // Электроэнергетика, энергосберегающие технологии: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции. Ч.2. Липецк: ЛГТУ, 2004. С. 141-144.
3. Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И. Особенности энергетики и определние энергетических показателей в системе каскадно-частотного электропривода // Современная электротехнология в промышленности центра России. Исследования, инновации, применение, 16 ноября 1999 г.: сборник трудов Второй региональной научно-технической конференции. Тула: ТГУ, 1999. С.123-127.
4. Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И., Мамаев А.Н. Математическое моделирование асинхронного двигателя в замкнутой системе вентильного каскада // Сборник научных трудов преподавателей и сотрудников, посвященный 45-летию Липецкого государственного технического университета. Ч.3. Липецк: ЛГТУ, 2001. С. 40-43.

Мещеряков Виктор Николаевич - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»; 398600, Липецк, ул. Московская, 30. E-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru. Телефон (4742) 328056.

Шишлин Денис Иванович - канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет». 398055 Липецк, ул. Московская, 103-210. e-mail: denis-shishlin@yandex.ru. Тел. (4742) 328056.

УДК 338.27:621.31

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Горелов В.П., Горелов С.В., Левчишин О.Н., Манчук Г.Р., Ратников В.И.

Россия, г. Новосибирск, Сибирский государственный университет водного транспорта

Развитие техники и технологии, рост производительности труда, обновление технологии требует устойчивого и надёжного обеспечения относительно недорогой электрической и тепловой энергии.

Ключевые слова: энергоресурсы, прогнозы, элементы, нетрадиционная энергетика.

Производство электрической энергии является одной из основных отраслей в современном мире. Она вырабатывается на электростанциях, которые преобразовывают в электрическую энергию химическую энергию, энергию различных видов топлива, энергию солнца, ветра, воды, атомную энергию. Например, на тепловых электростанциях используют газообразное, жидкое и твёрдое топливо. Тепловые электростанции подразделяют на станции с паровыми и газовыми турбинами. Станции с паровыми турбинами в свою очередь подразделяют на теплофикационные (ТЭЦ) и конденсационные (КЭС). Последние снабжают потребителей только электрической энергией [1, 9–11].

В ряде случаев для потребителей северных и отдалённых районов Сибири более эффективным, чем централизованное теплоэнергоснабжение, является использование мобильных и стационарных малых ТЭЦ. Применяются современные технологии производства, позволяющие наряду с получением пара, совместно, вырабатывать и электроэнергию. Такое направление в энергетике называют когенерацией. Имеется несколько типов когенерационных систем:

- с паротурбинной установкой;
- с газотурбинной установкой;
- с двигателем внутреннего сгорания.

Материальные объекты, которые обладают возможной для использования энергией, относят к **энергоресурсам**. Количественной оценкой различных форм движения материи является энергия, подразделяющаяся на механическую, химическую, электрическую, ядерную и др. [1, 10].

К возобновляемым источникам энергии относят энергоресурсы постоянно существующих природных земных процессов. Важной особенностью является их неистощаемость или способность восстанавливать свой потенциал за относительно короткое время.

Энергия (греч. – действие, деятельность) является количественной мерой различных форм движения материи и в зависимости от природы различается на восемь видов: механическая, тепловая, химическая, электрическая, магнитная, электромагнитная, ядерная, гравитационная. Энергетика или энергетическая система представляет собой совокупность больших естественных и искусственных систем, предназначенных для получения и использования человеком энергетических ресурсов.

Энергетическая система состоит из:

- электроэнергетики и электроэнергетических систем;
- газо- и нефтеснабжения;
- угольной промышленности;
- нетрадиционной энергетики.

Необходим системный подход к энергетике, при которой она рассматривается как большая система, состоящая из подсистем (рисунок 1) [9].

Анализ современных тенденций и прогнозов развития энергетики рассматривают на основе технологического прогноза Международного энергетического агентства (МЭА) с учётом особенностей инновационного развития энергетики России.

Научно-технический процесс в энергетике суммирует достижения результатов практически всех наук (рисунок 2). Так, результаты наук об экономике и экосфере влияют на требования общества к развитию энергетики; другие – физика, механика, химия, создают предпосылки для энергетических инноваций; третьи (геология, биология, физика) определяют доступные энергоресурсы, а математика, информационные технологии и процессы управления определяют управляемость создаваемых энергетических технологий.

Важным является вклад науки о Земле в части климатологии и экосферы для определения реальной угрозы климату от эмиссии парниковых газов и выработки эффективных противодействий, включая научные основы и методы геоинженерии.

Эффективная технологическая и производственная структура энергетики распространяется на все стадии преобразования энергии от источников в природной среде до использования у потребителей. Основные потоки преобразования энергии и возможные потери показаны на рисунке 3.

Важной особенностью энергоэкспортирующих стран является высокая обеспеченность сравнительно дешёвыми энергоресурсами. Россия владеет 15 % мировых разведанных запасов при менее 3,0 % населения мира. Для нашей страны особенно важны технологии дальней транспортировки энергии и распределённая (децентрализованная) энергетика.

В развитых странах потребление различных видов энергии возрастает. В тоже время собственные энергоресурсы, например, Европейского Союза (ЕС) ограничены. В настоящее время энергопотребности ЕС удовлетворяются на 41 % за счёт нефти, 22 % – газа, 16 % – угля, 15 % – атомной энергетики и 6 % – за счёт **нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ)**. В перспективе доля НВИЭ будет расти при различном процентном вкладе различных видов источников энергии. Так ЕС планирует увеличение доли НВИЭ в энергопотреблении с 6 % в 1997 г. до 12 % в 2020 г., что окажет позитивное влияние на занятость населения в сельской местности в небольших городах.

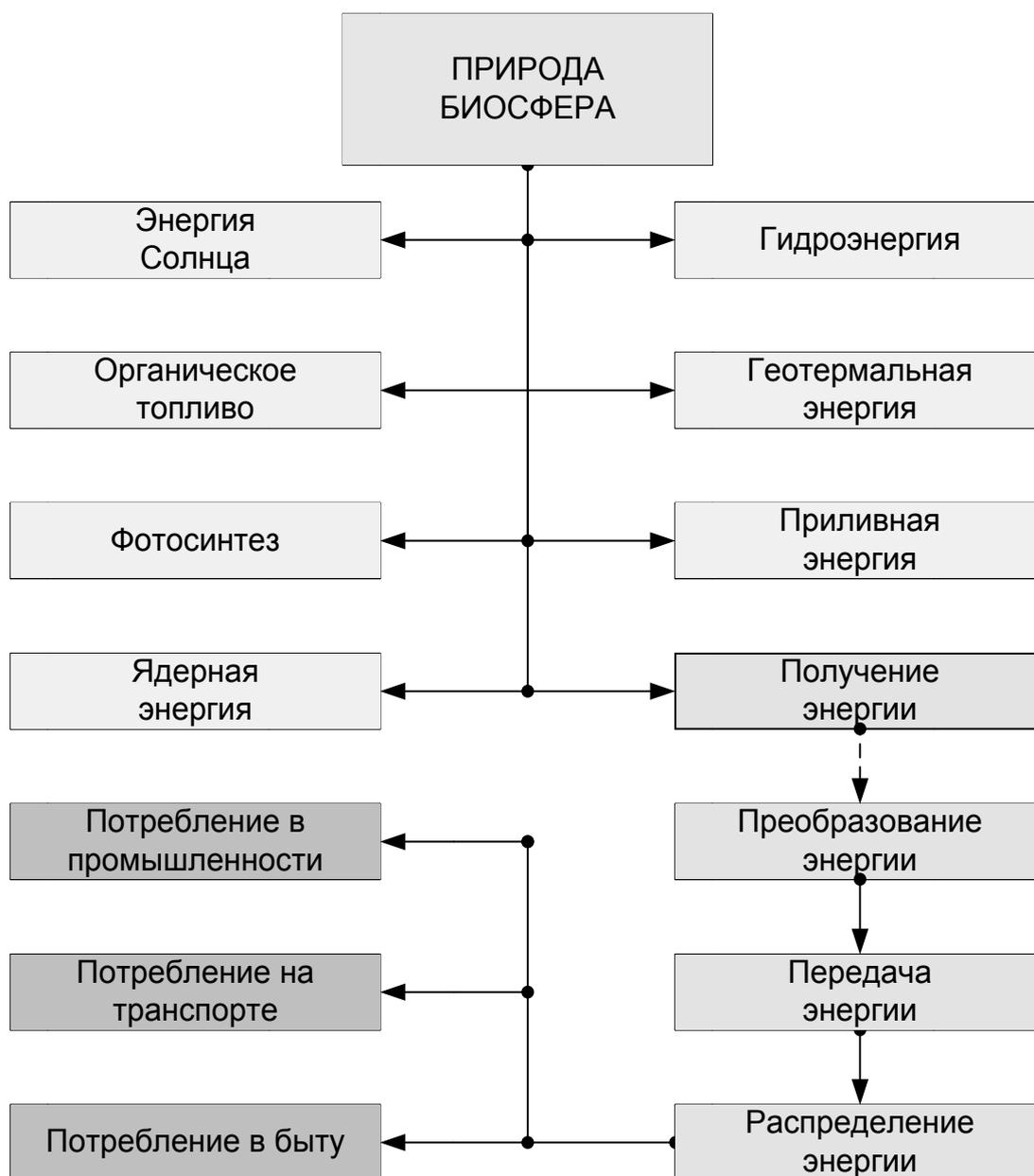


Рисунок 1 – Системный подход к энергетике

К нетрадиционной энергетике относят (рисунок 3):

- мини- и микро- газотурбинные агрегаты для производства тепла и/или электроэнергии:
 - на природном газе;
 - на биогазе;
 - на биомассе;
- комбинированные установки для производства энергоносителей (метанол, водород и др.);
- возобновляемые источники энергии:
 - ветроэлектрические;
 - геотермальные;
 - приливные;
 - волновые;
 - солнечные;
 - тепловые насосы;

–мини- и микро- ГЭС;

- новые энергетические технологии (термоядерные и др.).



Рисунок 2 – Научно-технические прогнозы в энергетике как реализация достижений науки

Следует учитывать, что энергетика от ВНИЭ ориентируется на существующие ресурсы конкретного региона и их масштабному использованию должен предшествовать длительный мониторинг мощности источников и структурных потребностей региона в энергии.

Рост стоимости энергоносителей в значительной мере объясняется ограниченностью запасов ископаемых источников энергии. Это обстоятельство является ещё одной причиной актуальности более широкого использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии: тепла Земли и низкопотенциального тепла, энергии ветра, солнца, малых рек и водоёмов. Использование ВНИЭ является частью государственной энергетической политики, предусматривающей:

- ускорение развития производства установок и оборудования;
- обеспечение устойчивого энергоснабжения предприятий и населения;
- создание автономных энергосистем с использованием местных НВИЭ;
- улучшение экономических показателей на территории России, связанных со снижением вредных выбросов в окружающую среду.



Рисунок 3 – Составные элементы нетрадиционной энергетики

Планируется увеличение объёмов строительства объектов ВНИЭ, включающих малую гидроэнергетику, геотермальную энергию и энергию переработки биомассы

При этом важной является государственная поддержка в области применения возобновляемых источников энергии:

- принятие закона о государственной политике в сфере использования возобновляемых источников энергии;
- создание полигонов и демонстрационных объектов для испытания ключевых элементов технологий;
- организация и стимулирование серийного производства оборудования на основе отечественных технологий;
- выделение целевых субсидий, дотаций, льготных кредитов;
- применение системы налоговых льгот участникам всего цикла – от разработки до эксплуатации.

Список литературы

1. Горелов, С.В. Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов: учеб.пособие: в 3 ч. Ч.1 / С.В.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. – 239 с.
2. Горелов, В.П. Общая энергетика: учебник: в 2 кн. Кн. 1. Альтернативные источники энергии / В.П.Горелов, С.В.Горелов, В.С.Горелов, Т.А.Толашко, С.Н.Удалов; под ред. В.П.Горелова, Е.В.Ивановой. – Новосибирск: Изд-во Сибирского государственного университета водного транспорта, 2016. – 417 с.

3. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебник / С.Н.Удалов. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.
4. Лукутин, Б.В. Нетрадиционные способы производства электроэнергии: учеб.пособие / Б.В.Лукутин, М.А.Сурков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 193 с.
5. Лукутин, Б.В. Силовые преобразователи в электроснабжении: учеб.пособие / Б.В.Лукутин, С.Г.Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 148 с.
6. Лукутин, Б.В. Автономное энергоснабжение от микрогидроэлектростанций / Б.В.Лукутин, С.Г.Обухов, Е.Б.Шандарова. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
7. Горелов, В.П. Системы энергоснабжения транспорта и предприятий: учебник / С.В.Горелов, В.П.Горелов, Е.В.Иванова; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та водн. тр-та, 2015. – 526 с.
8. Лукутин, Б.В. Исследование режимов работы автономного ветродизельного комплекса электроснабжения: монография / Б.В.Лукутин, Р.М.Мустафина, М.А.Сурков. – Павлодар: Кереку, 2012. – 169 с.
9. Ушаков, В.Я. История и современные проблемы электроэнергетики и высоковольтной электрофизики: учеб.пособие / В.Я. Ушаков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.–219 с.
10. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб.пособие / В.Я.Ушаков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 447 с.
11. Горелов, С.В. Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В.Горелов, В.В.Горелов, А.Л.Ивановский; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2008. – 424 с.
12. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>
13. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб.пособие: в 2 кн. Кн.1. Водный транспорт с комбинированными электроисточниками / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн.трансп., 2012. – 299 с.
14. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб.пособие: в 2 кн. Кн.2. Электротранспорт и промышленные предприятия / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2012. – 378 с.

Горелов Валерий Павлович - д-р техн. наук, профессор кафедры «ЭСЭ», ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33.; e-mail: nsawt_ese@mail.ru

Горелов Валерий Сергеевич - магистрант, ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33.

Левчишин Олег Николаевич - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33.

Манчук Глеб Русланович - ведущий инженер ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Ратников Валентин Иванович - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33.

SYSTEM APPROACH FORECASTING ENERGY DEVELOPMENT

Gorelov V.P., Gorelov V.S., Levchishin O.N., Manchuk G.R., Ratnikov V.I.
Russia, Novosibirsk, Siberian State University of Water Transport

Development of engineering and technology, labor productivity growth, upgrade technology requires stable and reliable provide a relatively inexpensive electrical and thermal energy.

Keywords : energy , forecasts , elements , alternative energy.

Bibliography

1. Gorelov , S.V. Power supply stationary and mobile objects : Textbook. Pozo Bie : Part 1 of 3 h / S.V.Gorelov [et al .] . ed. V.P.Gorelova , N.V.Tsuglenka . - Novosibirsk : Novosib . state .Acad . aq . transp , 2006. - . 239 .
2. Gorelov V.P. Total power : the textbook: in 2 books . Bk. 1. Alternative energy sources / V.P.Gorelov , S.V.Gorelov , V.S.Gorelov , T.A.Tolashko , S.N.Udalov ; ed. V.P.Gorelova , E.V.Ivanovoy . - Novosibirsk : Publishing House of the Siberian State University of Water Transport , 2016. - 417 p.

3. Udalov, S.N. Renewable energy : the textbook / S.N.Udalov . - Novo -Siberian : Publishing House of Novosibirsk State Technical University , 2007. - 432 p .
4. Lukutin , B.V. Nontraditional methods of electricity production : Textbook. Pozo Bie / B.V.Lukutin , M.A.Surkov ; Tomsk Polytechnic University . - Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University , 2012. - 193 p.
5. Lukutin , B.V. Power converters in electric power : Studies. Benefit / B.V.Lukutin , S.G.Obuhov ; Tomsk Polytechnic University . - Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University , 2013. - 148 p.
6. Lukutin , B.V. Independent power supply of the micro hydro / B.V.Lukutin , S.G.Obuhov , E.B.Shandarova . - Tomsk : STT, 2001. - 120 p.
7. Gorelov V.P. Systems of energy supply and transport companies : the textbook / S.V.Gorelov , V.P.Gorelov , E.V.Ivanova ; ed. V.P.Gorelova , V.G.Salnikova . - NEWS - sibirsk : Publishing House of the Sib . state .Univ aq . tr Press, 2015. - 526 p.
8. Lukutin , B.V. Study modes of autonomous wind-diesel power complex : monograph / B.V.Lukutin , R.M.Mustafina , M.A.Surkov . - SAW lodar : Kerekou , 2012. - 169 p.
9. Ushakov V.Y. History and modern problems of electric power and high- Electrophysics : Proc . Benefit / VJ Ushakov . - Tomsk : Publishing house TPU , 2010. -219 p.
10. Ushakov V.Y. Modern problems of electric power : Studies. Benefit / V.Ya.Ushakov . - Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University , 2013. - 447 p.
11. Gorelov , S.V. The resistors in the circuits elektroteplosnabzheniya / S.V.Gorelov , V.V.Gorelov , AL Ivanovskii ; ed. V.P.Gorelova , N.V.Tsuglenka . - Novosibirsk : New - sib . state .Acad . aq . transp , 2008. - . 424
12. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>
13. Gorelov V.P. Electricity transport objects : Textbook. Benefit : In 2 books . Book 1 . Water transport with combined Elektrostochnik / V.P.Gorelov [et al .] ; ed. V.P.Gorelova , V.G.Salnikova - Novosibirsk : Publishing House of Novosib . state .Acad . water . transp , 2012. - . 299 p.
14. Gorelov V.P. Electricity transport objects : Textbook. Benefit : In 2 books . Kn.2 . Electric transport and industrial enterprises / V.P.Gorelov [et al .] ; ed. V.P.Gorelova , V.G.Salnikova . - Novosibirsk : Publishing House of Novosib . state .Acad . water . transp , 2012. - . 378 .

Gorelov Valeriy Pavlovich, doctor of technical sciences, professor of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.; e-mail: nsawt_ese@mail.ru

Gorelov Valeriy Sergeevich, undergraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Levchishin Oleg Nikolaevich, postgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Manchuk Gleb Ruslanovich, lead engineer of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Ratnikov Valentin Ivanovich, postgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

УДК 621.31.03.001.7

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

**Горелов С.В., Горелов В.С., Левчишин О.Н., Байдек В.С.
Манчук Г.Р., Тыщенко И.В., Хлыстова К.А.**

Россия, г. Новосибирск, Сибирский государственный университет водного транспорта

Применение комбинированных систем электроснабжения с активной нагрузкой в виде различного вида резисторов из композиционных материалов (бетэла, рапита, экома, tuball) расширяют область бесперебойного энергоснабжения потребителей.

Ключевые слова: электротеплоснабжение, бетэл, рапит, эком, tuball, связка, аккумулятор, суперконденсатор, графен, нанотрубка, фуллерен.

Проведённые ранее исследования показывают, что аккумулялирование энергии позволяет:

- добиваться повышения потенциала энергии до требуемого качества при накоплении низкопотенциальной энергии;
- превращать энергию одного вида в энергию другого вида;

- повысить качество электроснабжения потребителей;
- обеспечить длительное энергоснабжение в периоды его недостатка или отсутствия.

Бесперебойное энергоснабжение потребителей на основе возобновляемых источников наиболее эффективно может быть осуществлено не только с использованием аккумуляторов энергии, но и на основе комбинированных систем (рисунок 1) [1–3].

Подчеркнём, что в большинстве вышеприведённых энергетических устройств в качестве активной нагрузки применяются различного типа резисторы, например, металлические и резисторы из композиционных материалов на основе силикатных, полимерных или фосфатных связок (бетэла, рапита и экома) [2–5].

Структурная энергетическая схема системы электроснабжения энергоавтономного здания приведены на рисунке 2. Области применения композиционных резисторов из бетэла и рапита отражены на рисунке 3 [2–3].

Существенное ограничение применения электроэнергии на транспорте обусловлено тем, что накопителем электрической энергии может быть конденсатор, обладающий ёмкостью не менее десятков или даже сотен фарад. Реализовать конденсатор подобной ёмкости, используя обычные технологии изготовления конденсаторов с использованием металлических обкладок, разделённых лентой диэлектрика, невозможно. Электролитические оксидные конденсаторы на основе алюминия и титана, в которых тонкий оксидный слой является диэлектриком, обладают неприемлемыми габаритами, хотя и находят ограниченное применение в качестве накопителей малой ёмкости.

Наиболее пригодными для накопления большого количества электрической энергии, являются молекулярные конденсаторы, электрическая удельная ёмкость которых в (300–2000) раз выше ёмкости традиционных конденсаторов. Использование ёмкостных накопителей становится целесообразным в связи с разработкой как за рубежом, так и в России, конденсаторов с двойным электрическим слоем (КДЭС) или электрохимических конденсаторов (ЭХК). Сегодня ЭХК – новый, динамично разрабатываемый тип источников тока, занимает промежуточное положение между аккумуляторами и традиционными конденсаторами.

Функционально КДЭС представляют собой класс устройств для накопления/отдачи энергии, в которых используются электролиты и электроды различного вида. При этом в отличие от аккумуляторных батарей, в которых энергия накапливается в форме внутренней энергии вещества активной массы электродов, электрохимические конденсаторы используют накопление заряда на поверхности раздела сред: электрод (электронный проводник) – электролит (ионный проводник).



Рисунок 1 – Блок-схема комбинированного электротеплоснабжения потребителей

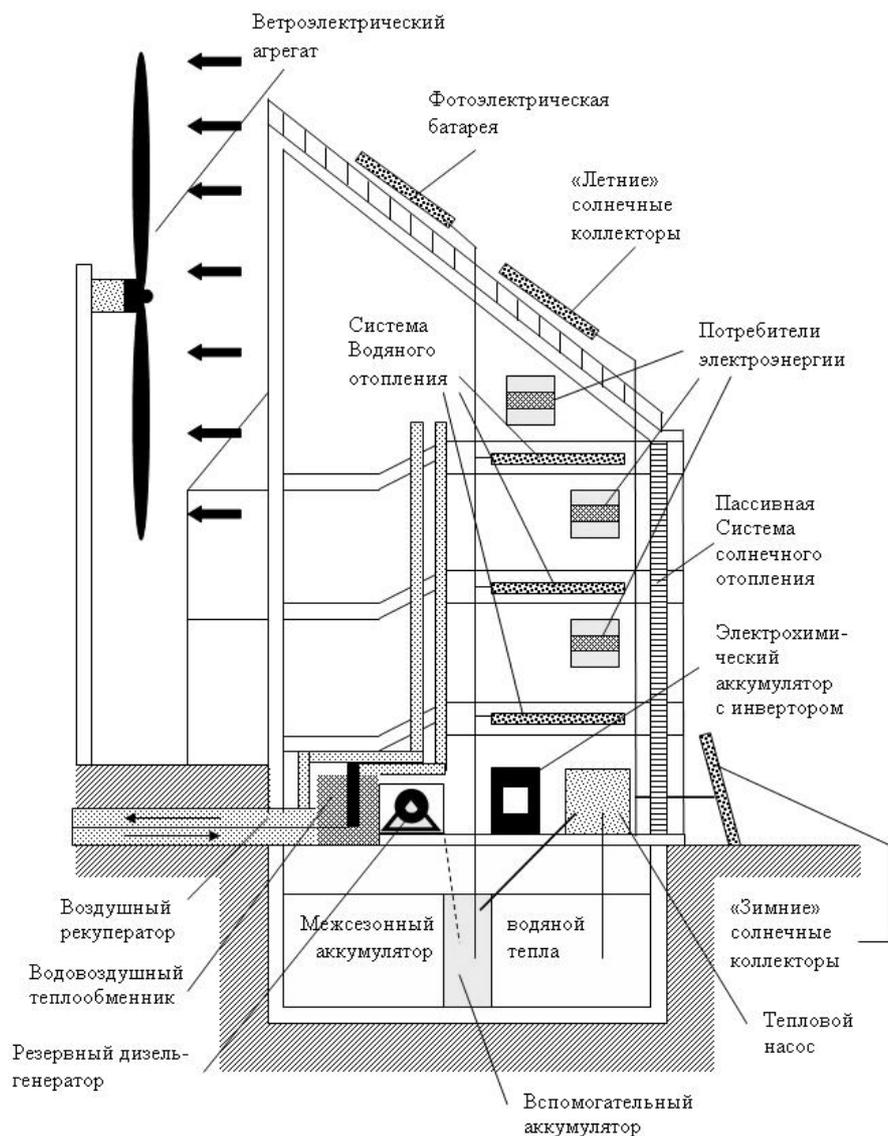


Рисунок 2 – Структурная энергетическая схема энергоавтономного здания

Благодаря тому, что расстояние между заряженной поверхностью проводника (из которого изготавливаются электроды) и слоем ионов очень мало (измеряется нанометрами), а величина поверхности проводника, изготовленного из высокопористого материала (например, активированного угля), достигает $(1500\text{--}3000) \text{ м}^2/\text{г}$ (рисунок 4), ёмкость угольного электрода массой 1 г может составлять $(100\text{--}500) \text{ Ф}$.

Отличительная особенность КДЭС заключается в его способности к хранению в статическом равновесии противоположных по знаку электрических зарядов на молекулярных расстояниях.

Скорость отдачи энергии КДЭС мало зависит от температуры конденсатора и остаётся теоретически неизменной в диапазоне от (-100) до $(+160) \text{ оС}$. Это объясняется тем, что накопление электроэнергии в КДЭС не связано с протеканием в нём химических реакций, требующих определённого временного интервала для их протекания.

Конкретный состав электролита принципиальной роли не играет. В частности, он может быть как кислотным или щелочным, так и солевым (нейтральным), или с электролитом в виде твёрдого раствора. Принципиальное значение имеет лишь концентрация ионов. Ионы скапливаются на поверхности электродов, образуя так называемый двойной электрический слой, если приложенный потенциал не превышает энергию гидратации ионов, как правило, несколько вольт. В случае дальнейшего увеличения

напряжения начинается электролиз, поэтому рабочее напряжение ограничено потенциалом гидратации ионов.

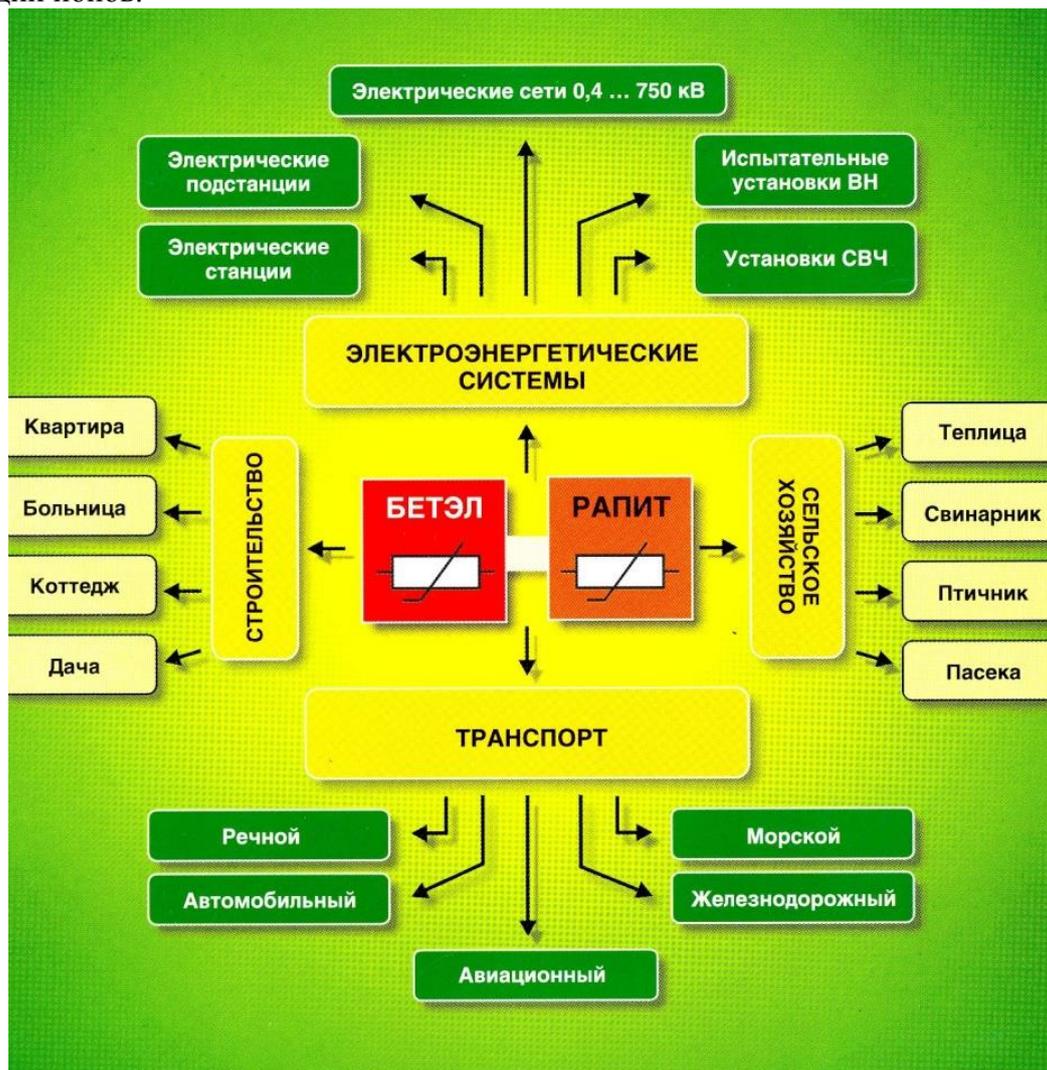


Рисунок 3 – Применение бетэловых и рапитовых изделий на водном транспорте, сельскохозяйственных объектах и других областях

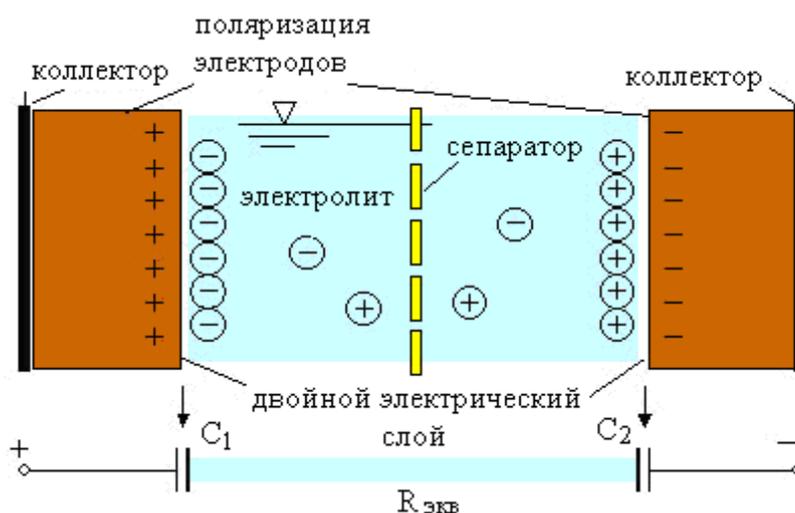


Рисунок 4 – Упрощённая эквивалентная схема конденсатора с двойным электрическим слоем: C_1 – конденсатор отрицательного электрода; $R_{экв}$ – электрическое сопротивление электролита и материалов проводников; C_2 – конденсатор положительного электрода



Рисунок 5 – Конструктивное исполнение конденсатора с двойным электрическим слоем

превышает показатели существующих КДЭС [7].

Созданием супераккумуляторов занимается коллектив Института биохимической физики Российской академии наук и учреждённая им компания «Конгран» (конденсатор графеновый Академии наук). Для аккумулятора предлагают магниевый анод и катод из гипероксидированного графена – одного из созданных ими передовых наноматериалов. В катоде сочетается принцип химической реакции окисления-восстановления, общий для всех типов аккумуляторов, с доступностью большой поверхности электрода для электрических зарядов, на которой основаны другие накопители энергии – суперконденсаторы [8].

Многие из перспективных направлений в материаловедении, нанотехнологии, нанoeлектронике, прикладной химии связываются в последнее время с фуллеренами, нанотрубками, графеном и другими похожими структурами, которые можно назвать общим термином углеродные каркасные структуры [9].

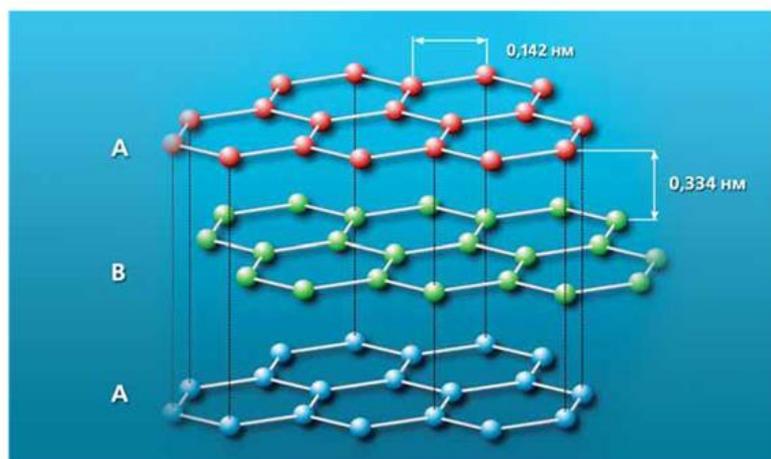
Углеродные каркасные структуры – это большие молекулы, состоящие исключительно из атомов углерода. Можно даже говорить, что углеродные каркасные структуры – это новая аллотропная форма углерода (в дополнение к давно известным: алмазу и графиту). Главная особенность этих молекул – это их каркасная форма: они выглядят как замкнутые, пустые внутри «оболочки» (рисунок 6) [12].

Фуллерены – полициклические полые структуры сферической формы, состоящие из атомов углерода, связанных в шести- и пятичленные циклы. Это новая модификация углерода, для которой, в отличие от других известных модификаций (алмаза, графита, карбина, графена), характерна не полимерная, а молекулярная структура. Своё название эти вещества получили по имени американского инженера и архитектора Р.Б.Фуллера, конструировавшего полусферические архитектурные сооружения, состоящие из шести- и пятиугольников.

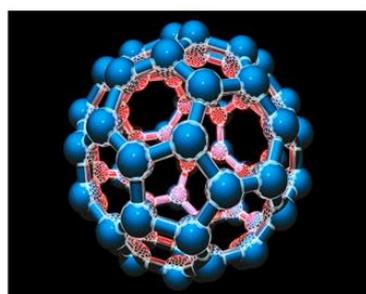
Первоначально возможность существования структуры, состоящей из 60 углеродных атомов (C₆₀ – фуллерена), была обоснована теоретически Д.А. Бочваром и Е.Н. Гальпереным в 1978 г. (Россия).

В 1992 г. были обнаружены природные фуллерены в углеродном материале-шунгите и других докембрийских породах. Шунгиты содержат до 90% чистого углерода, в том числе примерно одну сотую процента в виде фуллерена.

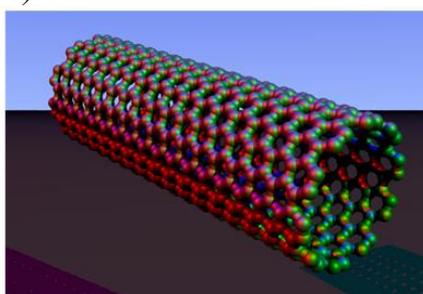
Графен – это близкий родственник углеродных сверхмолекул – нанотрубок и фуллеренов. Разница лишь в том, что, в отличие от уже известных материалов, в графене все частицы находятся в одной плоскости. Внешне вновь открытая молекула представляет собой миллионы развёрнутых углеродных трубок, которые «склеены» в один лист [8–9].



a)



б)



в)



г)

Рисунок 6 – Строение графита а), феллерена б), нанотрубки из фуллеренов в) и пример магний-графенового аккумулятора г)

Потенциальные области применения графена включают:

- замену углеродных волокон в композитных материалах с целью создания легковесных самолётов и спутников;
- замена кремния в транзисторах;
- введение в пластмассу с целью придания ей электропроводности;
- датчики на основе графена могут обнаружить опасные молекулы;
- использование графеновой пудры в электрических аккумуляторах, с целью увеличения их эффективности;
- оптоэлектроника;
- более крепкий, прочный и чёткий пластик;
- прозрачное токопроводящее покрытие для солнечных панелей и для мониторов;
- более крепкие ветряные двигатели;
- суперконденсаторы.



Рисунок 7 – Области применения композита «tuball» с наноуглеродными наполнителями

2016 год стал ключевым годом в разработке технологий применения одностенных углеродных трубок в аккумуляторной индустрии. Проведение вышеуказанной конференции способно ускорить процесс внедрения нанотрубок в производство аккумуляторов. Достижения в развитии технологий при производстве литий-ионных и свинцовых аккумуляторов послужат толчком к появлению новых аккумуляторов следующего поколения с увеличенной энергоёмкостью и сроком службы [10].

Применение ультратонкой фольги для аккумуляторов, покрытой одностенными углеродными нанотрубками, позволяет значительно улучшить энергетические параметры аккумуляторов. Так в России используют новый продукт на основе алюминиевой и медной фольги, покрытой слоем одностенных углеродных трубок и получившей название TUBBALL™ FOIL. Увеличили объём активного вещества при его минимальном проводящем покрытии и продлили срок службы аккумуляторов.

TUBALL содержит 75 % и более одностенных углеродных нанотрубок и может использоваться в качестве универсального аддитива, улучшающего одновременно прочность, электро- и теплопроводимость большинства материалов, таких как полимеры, резины, металлы и некоторые другие. Значительное улучшение свойств материала наблюдается уже начиная с добавления 0,001 % – 0,1 % массовых частей TUBALL (рисунок 7) [10–11].

Список литературы

1. Горелов, С.В. Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов: учеб. пособие: в 3 ч. Ч.1 / С.В.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. – 239 с.
2. Горелов, В.П. Общая энергетика: учебник: в 2 кн. Кн. 1. Альтернативные источники энергии / В.П.Горелов, С.В.Горелов, В.С.Горелов, Т.А.Толашко, С.Н.Удалов; под ред. В.П.Горелова, Е.В.Ивановой. – Новосибирск: Изд-во Сибирского государственного университета водного транспорта, 2016. – 417 с.
3. Горелов, С.В. Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В.Горелов, В.В.Горелов, А.Л.Ивановский; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2008. – 424 с.
4. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>
5. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб. пособие: в 2 кн. Кн.1. Водный транспорт с комбинированными электроисточниками / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2012. – 299 с.
6. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб. пособие: в 2 кн. Кн.2. Электротранспорт и промышленные предприятия / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2012. – 378 с.
7. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2010/samyi-emk<08.07.2016>>
8. <http://www.Altenergiya.ru/accumulator<08.07.2016>>
9. <http://www.scorcher.ru/art/science/nano.php<08.07.2016>>
10. <http://www.ocsial.com/ru/news/190<08.07.2016>>
11. <http://www.ocsial.com/ru/product/tuball<08.07.2016>>
12. <http://www.diplomba.ru/work/130846<08.07.2016>>

Горелов Сергей Валерьевич - д-р техн. наук, заведующий кафедрой «ЭСЭ», ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул Щетинкина, д.33.; e-mail: nsawt_ese@mail.ru

Горелов Валерий Сергеевич - магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Левчишин Олег Николаевич - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Байдек Виктор Сергеевич - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Манчук Глеб Русланович - ведущий инженер ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Тыщенко Игорь Викторович - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Хлыстова Кристина Андреевна - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

NEW TECHNOLOGIES OF UNINTERRUPTED ENERGY TO CONSUMERS

**Gorelov S. V., Gorelov V. S., Levchishin O. N., Baydek V. S.
Manchuk G. R., Tyischenko I. V., Hlyistova K. A.**
Russia, Novosibirsk, Siberian State University of Water Transport

The using of combined electrical power systems with the resistive load in the form of different types resistors made from composite materials (e.g.: a betel, a rapit, an ekom, a tuball) broaden an area of continuous power supply for customers.

Keywords: electricity and heating, betel, rapita, ECOM, tuball, bunch, battery, supercapacitor, graphene, nanotubes, fullerenes.

Bibliography

1. Gorelov, S.V. Energosnabzhenie statsionarnyih i mobilnyih ob'ektov: ucheb. posobie: v 3 ch. Ch.1 / S.V.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, N.V.Tsuglenka. – Novosibirsk: Novosib. gos. akad. vodn. transp., 2006. – 239 s.

2. Gorelov, V.P. Obschaya energetika: uchebnik: v 2 kn. Kn. 1. Alternativnyie istochniki energii / V.P.Gorelov, S.V.Gorelov, V.S.Gorelov, T.A.Tolashko, S.N.Udalov; pod red. V.P.Gorelova, E.V.Ivanovoy. – Novosibirsk: Izd-vo Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta vodnogo transporta, 2016. – 417 s.

3. Gorelov, S.V. Rezistoryi v shemah elektroteplosnabzheniya / S.V.Gorelov, V.V.Gorelov, A.L.Ivanovskiy; pod red. V.P.Gorelova, N.V.Tsuglenka. – Novosibirsk: Novosib. gos. akad. vodn. transp., 2008. –424 s.

4. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>

5. Gorelov, V.P. Elektrosnabzhenie transportnyih ob'ektov: ucheb. posobie: v 2 kn. Kn.1. Vodnyiy transport s kombinirovannymi elektroistochnikami / V.P.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, V.G.Salnikova – Novosibirsk: Izd-vo Novosib. gos. akad. vod. transp., 2012. – 299 s.

6. Gorelov, V.P. Elektrosnabzhenie transportnyih ob'ektov: ucheb. posobie: v 2 kn. Kn.2. Elektrotransport i promyshlennyye predpriyatiya / V.P.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, V.G.Salnikova. – Novosibirsk: Izd-vo Novosib. gos. akad. vod. transp., 2012. – 378 s.

7. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2010/samyi-emk<08.07.2016>>

8. <http://www.Altenergiya.ru/accumulator<08.07.2016>>

9. <http://www.scorcher.ru/art/science/nano.php<08.07.2016>>

10. <http://www.ocsial.com/ru/news/190<08.07.2016>>

11. <http://www.ocsial.com/ru/product/tuball<08.07.2016>>

12. <http://www.diplomba.ru/work/130846<08.07.2016>>

Gorelov Sergey Valerevich, the dr.sci.tech., head of the "ESE" department, Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.; e-mail: nsawt_ese@mail.ru

Gorelov Valeriy Sergeevich, the undergraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Levchishin Oleg Nikolaevich, posgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Baydek Viktor Sergeevich, posgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Manchuk Gleb Ruslanovich, lead engineer of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Tyischenko Igor Viktorovich, posgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Hlyistova Kristina Andreevna, posgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

УДК 629.122:611.391

ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СУДНА ОТ БЕРЕГОВОЙ СЕТИ

Клеутин В.И., Руппель А.А.

Россия, г. Омск, ОИВТ-филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Мочалин К.С.

Россия, г. Новосибирск, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Развитие единой транспортной инфраструктуры (автомобильного, водного и железнодорожного транспорта) является важной задачей развития общества. Водному (речному) транспорту отводится значительная доля грузоперевозок. В северные районы доставка грузов возможна только судами. Это увеличивает нагрузку на технический флот (плавкраны, земснаряды, землесосы и т.д.), который обеспечивает водный путь и участвуют в процессе погрузки-выгрузки.

Ключевые слова: Электроснабжение, электромагнитная совместимость, судовая электроэнергетическая система, передача энергии, технический флот.

По экономическим причинам суда технического флота, где это, возможно, получают электроэнергию от береговых сетей. При этом качество функционирования электропередачи «берег-судно» 0,4 кВ из-за неудовлетворительной устойчивости судовых узлов нагрузки по напряжению не удовлетворяет требованиям эксплуатации, а качество электроэнергии требованиям стандартов и «Правилам классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра» (ПСВП РРР). Значительный физический износ

судов технического флота обостряет проблему повышения устойчивости их электрической нагрузки по напряжению.

Электроснабжение судна от береговой электрической сети обуславливается экономической эффективностью. Экономия эксплуатационных расходов (руб/год) при этом определяется по выражению.

$$\Delta \mathcal{E} = (C_c - C_o)W_n - P_a K_\Sigma, \quad (1)$$

где C_c -себестоимость электроэнергии судовой электростанции, руб/кВт·ч;
 C_o -стоимость потребленной электроэнергии от береговой сети, руб/кВт·ч;
 W_n -количество электроэнергии, потребляемой приемниками судна от береговой сети в течении навигации, кВт·ч;
 P_a -норма амортизационных отчислений от капитальных вложений на устройство необходимых для питания судов элементов береговой сети;
 $K_\Sigma = K_o + K_c$ -суммарные капитальные вложения по берегу (K_o) и судну (K_c), руб.

Срок окупаемости (лет) дополнительных капитальных вложений определяется по формуле.

$$T_0 = \frac{K_\Sigma}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (2)$$

Электроснабжение судов осуществляется по договору на пользование электрической энергией от береговых сетей.

Судовая электрическая сеть как одна из составляющих судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) при электроснабжении судна с берега становится частью береговой электрической сети. При этом качество функционирования такой электрической сети определяет уровень электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств. Судовые электроприёмники при неблагоприятной электромагнитной обстановке (ЭМО) могут оказаться рецепторами.

С целью уточнения технических особенностей СЭЭС в системе электроснабжения осуществляется их ретроспективный анализ на основании данных. Эта система, в общем случае, состоит из следующих основных элементов (рисунок 1): источников и преобразователей электрической энергии с системами регулирования и управления, главного (ГРЩ), аварийного (АРЩ), вторичных (РЩ) электрораспределительных щитов, перемычек (П), линий электропередачи и электрораспределительного щита питания с берега (РЩПБ).

Особенности построения СЭЭС и режимы ее работы тесно связаны с требованиями, определяемыми потребителями электрической энергии. В качестве источников электрической энергии на судах применяются генераторы переменного тока с приводом от дизелей (Д), а также аккумуляторные батарей.

Линии электропередачи в СЭЭС выполняют с помощью кабелей. Электрораспределительные щиты (РЩ) служат для подключения линий электропередачи. Аварийно-распределительные щиты (АРЩ) подключается к аварийному дизель-генератору (АДГ).

Совокупность источников электрической энергии с их ГРЩ являются судовой электрической станцией (СЭС). Судовые электростанции подразделяются на основные, аварийные и специальные. Основные СЭС обеспечивают электроэнергией все технические средства судна во всех эксплуатационных режимах, включая аварийный (пробоина, пожар). Аварийная СЭС обеспечивает питание только особо важных потребителей в случае отказа основной СЭС. Ее размещают в помещении, находящемся выше главной палубы.

Структурные схемы СЭЭС зависят от назначения, архитектуры и особенностей эксплуатации судна, от типа ее энергетической установки и других факторов. В основном

СЭЭС можно классифицировать по двум признакам: по количеству электростанций, входящих в состав СЭЭС, и по связи СЭЭС с главной энергетической установкой.

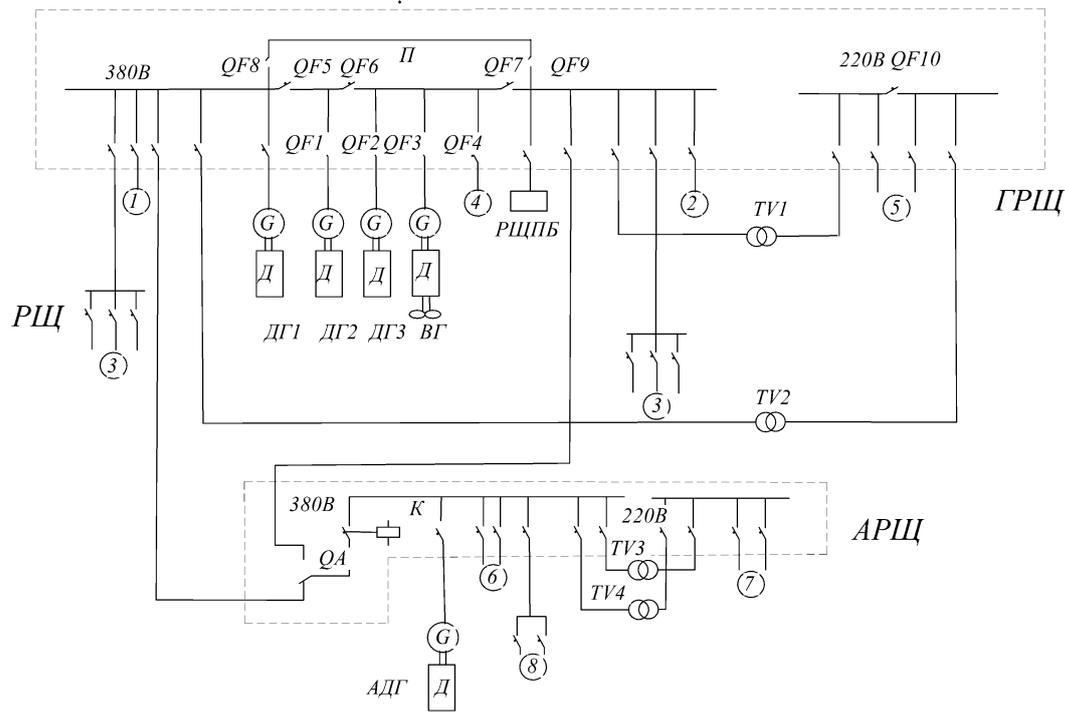


Рисунок 1 - Схема судовой электроэнергетической системы

1-8 – потребители электроэнергии: 1 – основные; 2 – резервные; 3 – бытовые, системы вентиляции, кондиционирования воздуха и т.п.; 4 – подруливающее устройства; 5 – освещение; 6,7 – особо ответственные; 8 – зарядные устройства аккумуляторных батарей

Подключение к береговым сетям руководствуются требованиями РТМ 212.0051-75 «Энергоснабжение судов от береговых сетей». На рисунке 2 приведена система электропередачи «берег-судно».

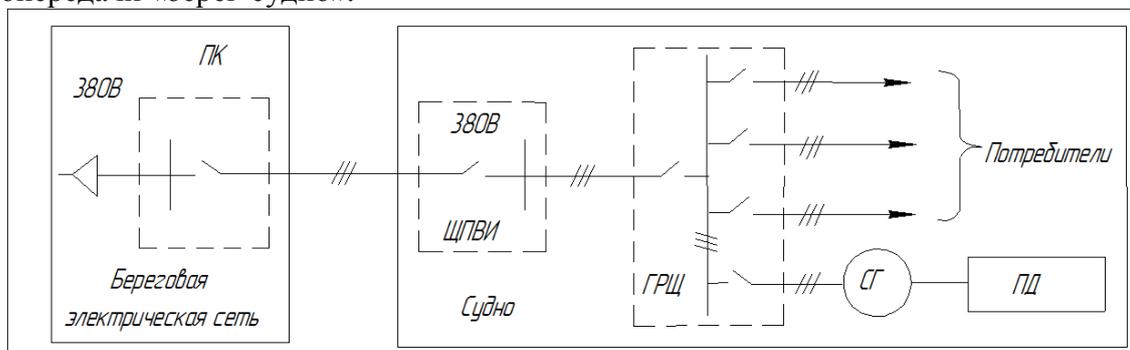


Рисунок 2 – Система электропередачи «берег – судно»

ПК – питательная колонка для присоединения судов; ЩПВИ – щит питания от внешнего источника; ГРЩ – главный распределительный щит; СГ – синхронный генератор; ПД – приводной двигатель

Система электропередачи «берег-судно» объединяет электротехнические элементы береговых и судовых сетей, служит для транзитной передачи электроэнергии от шин (6-10) кВ центра питания (ЦП) береговой электрической сети к приемникам электроэнергии судовой сети.

Штатный гибкий кабель судна, служащий для соединения судового щита питания от внешних источников (ЩПВИ) с береговой питательной колонкой (ПК) для присоединения судов, должен быть шланговый, четырехжильный. Сечение четвертой (нейтральной) жилы

должно быть не менее половины сечения фазной жилы. Если штатный судовой кабель трехжильный, то временно допускается его применение с отдельно проложенной четвертой (нулевой) жилой, механически закрепленной с ним.

На судне устанавливается ЩПВИ, на котором, кроме трех входных фазных зажимов, должен иметься болтовой зажим, надежно электрически соединенный с корпусом судна (с гайкой – барашком) для присоединения нулевой (нейтральной) жилы кабеля. На ГРЩ должна быть блокировка, исключающая параллельное включение судовых генераторов и фидера питания с берега на шины щита.

Уровнями ЭМС являются нормы качества электрической энергии, которые определяются для береговой сети стандартом, а для судовой Российским Речным Регистром и Российским Морским Регистром судоходства. При соблюдении указанных норм обеспечивается ЭМС технических средств в указанных сетях, если судовая ЭЭС работает в автономном режиме.

При электроснабжении судна с берега необходимо обеспечить такие уровни возмущений показателей качества электроэнергии, при которых с вероятностью не менее 95% должна иметь место электромагнитная совместимость технических средств. Электропередача «берег-судно» объединяет береговую и судовую электрические сети. При этом необходимо обеспечить уровни ЭМС технических средств судовой электрической сети в соответствии, не нарушая требования стандарта.

Наиболее опасными для электроприёмников береговой электрической сети является кондуктивные ЭМП, распространяющиеся по проводам. Эти помехи обуславливаются нестандартными значениями показателей качества электроэнергии.

Большие отклонения напряжения в питающей сети возникают при работе мощных (по отношению к мощности трехфазного короткого замыкания (КЗ) потребителей электроэнергии. При резкопеременном режиме работы этих потребителей возникают провалы напряжения, которые приводит к мгновенным последствиям, тем более значимым, чем больше их глубина и длительность. Следует отметить, что чем меньше глубина, длительность и частота провалов напряжения, тем выше уровень надежности электроснабжения.

Изложенное позволяет сделать следующее заключение:

- провалы напряжения относятся к основному виду искажений уровней ЭМС для кондуктивных ЭМП в электропередаче «берег-судно»;
- провалы напряжений повсеместно наблюдаются в сетях низкого и среднего классов напряжений;
- подавление этих искажений напряжений является актуальной задачей в электроэнергетике.

Список литературы

1. Баранов, А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / А.П. Баранов. – СПб.: Судостроение, 2005. – 528с.
2. Российский Речной Регистр. Правила Т. 4. – Электрическое оборудование, средства радиосвязи, навигационное оборудование» – М., Российский Речной Регистр, 2009. - 454 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр судоходства, СПб., 2005.
4. Клеутин, В.И. Электромагнитная совместимость в электрических сетях Прииртышья / В.И. Клеутин [и др.] // Энергосистема: исследование свойств, управление, автоматизация: матер. междунар. науч.-техн. конф.; Новосибирск, 26-29 мая 2009 г. – Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. Спецвыпуск. – 2009. – № 1. – С. 223–227.
5. Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В.Иванова // Трансп. дело России. – 2006. – № 8. – С. 16–20.

6. Клеутин, В.И. Электромагнитная обстановка в судовой электроэнергетической системе / В.И. Клеутин [и др.] // Сб. науч. трудов вып. №8 - Омск: ОИВТ (филиал(ФГОУ ВПО «Нов. гос. акад. вод. трансп.»), 2010. – С.13-16

Клеутин Владислав Иванович - канд. техн. наук, ОИВТ-филиал ФГБОУ ВО «СГУВТ», г. Омск, ул. Ивана Алексеева 4.

Руппель Александр Александрович - канд. техн. наук, доц. ОИВТ-филиал ФГБОУ ВО «СГУВТ», г. Омск, ул. Ивана Алексеева, 4.

Мочалин Константин Сергеевич – ведущий инженер ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33., e-mail: nsawt_ese@mail.ru

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT OF ELECTRICITY SUPPLY FROM COASTAL NETWORK

Kleytin V.I., Ruppel A.A.

Russia, Omsk, OMIVT, dep. of SSUWT, Siberian State University of Water Transport

Mochalin K. S.

Russia, Novosibirsk, SSUWT, Siberian State University of Water Transport

Development of uniform transport infrastructure (auto, water and railway transport) is the important task of developmental society. The water (river) transport is led out by the considerable share of a cargo transportation.

Keywords: Electric power supply, electromagnetic compatibility, ship electric power system, power transmission, automotive fleet

Bibliography

1. Baranov, A.P. Sudovyye avtomatizirovannyye elektroenergeticheskiye sistemy: ucheb-nik dlya vuzov. 2-e izd., prerab. i dop. / A.P. Baranov. – SPb.: Sudostroenie, 2005. – 528s.
2. Rossiyskiy Rechnoy Registr. Pravila **Т. 4.** – Elektricheskoye oborudovaniye, sredstva radiosvyazi, navigatsionnoye oborudovaniye – М., Rossiyskiy Rechnoy Registr, 2009. - 454 s.
3. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Rossiyskiy Morskoy Registr sudohodstva, SPb., 2005.
4. Kleutin, V.I. Elektromagnitnaya sovmestimost v elektricheskikh setyah Priirtyishya / V.I. Kleutin [i dr.] // Energosistema: issledovaniye svoystv, upravleniye, avtomatizatsiya: mater. mezhdunar. nauch.-tehn. konf.; Novosibirsk, 26-29 maya 2009 g. – Nauch. probl. transp. Sib. i Dal. Vost. Spetsvyipusk. – 2009. – # 1. – S. 223–227.
5. Ivanova, E.V. Konduktivnyye elektromagnitnyye pomehi v setyah transportnykh sis-tem (teoriya, raschyot, podavleniye) / E.V. Ivanova // Transp. delo Rossii. – 2006. – # 8. – S. 16–20.
6. Kleutin, V.I. Elektromagnitnaya obstanovka v sudovoy elektroenergeticheskoy sis-teme / V.I. Kleutin [i dr.] // Sb. nauch. trudov vyip. #8 - Омск: ОИВТ (филиал(ФГОУ ВПО «Нов. гос. акад. вод. трансп.»), 2010. – С.13-16

Kleytin Vladislav Ivanovich, candidate of technical sciences, «OMIVT» branch of «Syberian state water transport university», Omsk, St. Ivan Alekseev h. 4

Ruppel Aleksandr Aleksandrovich, candidate of technical sciences, assistant professor, «OMIVT» branch of «Syberian state water transport university», Omsk, St. Ivan Alekseev h. 4, phone +79045584125

Mochalin Konstantin Sergeevich, lead engineer of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st. Schetinkina, h.33., E-mail: nsawt_ese@mail.ru

УДК 621.316.9

АЛГОРИТМ ВЫБОРА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Лизалек Н.Н., Васильев В.В., Аржанников С.Г.

Россия, г. Новосибирск, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Бородин Д.Н.

Россия, г. Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет

Мочалин К.С., Тоньшев В.Ф.

Россия, г. Новосибирск, Сибирский государственный университет водного транспорта

В настоящее время все большую актуальность приобретают задачи оценки динамической устойчивости сложных энергосистем в темпе процесса – например, в рамках централизованной системы противоаварийного управления (ЦСПА). Предлагается алгоритм выбора управляющих воздействий по условию обеспечения динамической устойчивости на основе представлений о структурноорганизованном движении синхронных машин в энергосистеме. Выделив общесистемное поступательное движение и колебательные движения синхронных машин можно сгруппировать энергосистему в подсистемы на основе анализа отклонений векторов напряжения. Полученное представление системы в виде подсистем, соединенных слабыми сечениями, сводит задачу анализа динамической устойчивости к оценке устойчивости подсистем выделенной структуры. Для определения управляющих воздействий используется теорема об изменении кинетической энергии (метод площадей). Преимуществами предлагаемого алгоритма являются: точность прогнозирования сечения асинхронного хода, возможность выбора управления различных циклахканий, выбор объема управляющих воздействий с учетом эффективности их реализации.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, структурно-организованное движение, метод площадей, алгоритм выбора управляющих воздействий по условию обеспечения динамической устойчивости.

Введение

Задача выбора противоаварийного управления требует подробных знаний о нарушениях устойчивости. Информация только об устойчивости или неустойчивости конкретного динамического перехода уже оказывается недостаточной, необходимо определение и сечения развивающегося асинхронного хода. Модифицированную задачу устойчивости, включающую в себя определение положения сечения асинхронного хода, будем называть задачей исследования процессов распада параллельной работы (синхронизма) энергосистемы при действии возмущений.

Синхронное движение системы в любом переходном процессе представлено движением её центра инерции. Исследование устойчивости системы сводится к анализу колебательных движений, развивающихся в системе относительно её центра инерции. Расчетные и аналитические исследования показывают, что эти колебания имеют волновой характер. Это проявляется в образовании смежных областей системы (динамических подсистем), движущихся относительно центра инерции противоположным образом. Волновое движение приводит к его структурной организации (формируется колебательная структура относительного движения). Эти области могут представлять пространственное распределение ускорений, скоростей или смещений.

Кроме колебательных структур, формирующихся в переходном процессе, могут рассматриваться спектральные совокупности структур собственных малых колебаний системы различной частоты – осцилляторы системы [1,2]. Структуры осцилляторов системы при системных и локальных колебаниях наиболее полно представляют её слабые звенья и их взаимодействие при движениях в окрестности исходного режима [3,4].

Так как устойчивость электромеханических колебаний определяется работами, производимыми на траектории движения, то для их исследования необходимо рассматривать волну смещения, определяющую работу, совершаемую избыточными моментами в переходном процессе. Выявление изменяющейся во времени колебательной структуры в переходном процессе может быть проведено на базе основного топологического свойства волнового движения – его гребни и впадины в пространстве соседствуют. Границы между гребнями и впадинами наиболее вероятно могут входить в сечения асинхронного хода.

При исследованиях энергетических характеристик движения динамических подсистем используется представление о структурно организованном движении энергосистемы. Движение синхронных машин в энергосистеме разбивается на составляющие: общесистемное (поступательное) движение центра инерции системы, колебательные движения центра инерции подсистем относительно центра инерции системы (региональные процессы) и колебания машин подсистемы относительно центра инерции подсистемы (локальные процессы).

Структурно-организованное движение обладает рядом важных качеств [5]:

- движения подсистем как целого относительно центра инерции системы определяются избыточными моментами относительного движения подсистем в системе;

- движения синхронных машин в подсистеме относительно ее центра инерции определяется избыточным моментом относительного движения машины в подсистеме;
- суммы избыточных моментов относительных движений всех подсистем в системе и всех синхронных машин в подсистеме всегда равны нулю (вне зависимости от математической модели системы), что отражает закон сохранения импульса в системах координат, связанных с центрами инерции системы и подсистем;
- уравнения относительных движений подсистем формируется на основе операций сложения относительных моментов, воздействующих на объекты, объединяемые в подсистему.

Понятие колебательной структуры возникает на основе наблюдения за перемещениями векторов напряжения в различных узлах системы. При этом проявляется естественная структурная организация электромеханических колебаний энергосистем, приводящая к формированию наблюдаемых колебательных структур. В основе структурной организации движения лежит образование групп синхронных машин, движущихся относительно центра инерции системы сходным образом. Такие группы (ядра подсистем) формируют вокруг себя области системы, вектора напряжений в узлах которых перенимают характер движения группы.

Признаком граничной связи, объединяющей две смежные подсистемы, может быть разный знак отклонений индивидуальной частоты в узлах по её концам. Если все такие связи системы в момент времени t считать отключенными и провести топологический анализ системы на предмет выделения несвязных подсистем, то получившиеся подсистемы будут иметь общий признак – одинаковый знак отклонений индивидуальных частот внутри подсистемы, а любые смежные из подсистем будут характеризоваться разными знаками этих отклонений. Описанный алгоритм позволяет определять колебательную структуру движения в системе как функцию времени $S(t)$. Эта колебательная структура описывает пространственное распределение относительных скоростей движения по системе как электромеханическую волну, выделяя чередующиеся области, опережающие или отстающие от центра инерции системы. На основе аналогичных соображений может быть выделена структура, отображающая электромеханическую волну смещений.

Изменения колебательной структуры во времени могут иметь различную глубину. Так как колебательные структуры связаны с движениями больших масс, то их эволюция проходит достаточно медленно. Процесс эволюции колебательной структуры во времени связан с неустановившимся волновым процессом в существенно неоднородной системе. Наибольший интерес представляют структуры, сложившиеся в системе к моменту начала развития асинхронного хода.

Идентификация неустойчивости

Свойство колебательных структур – любые смежные подсистемы имеют противоположные знаки определяющей переменной – скорости или смещения, определяет топологические характеристики этих структур. Для колебательных структур без колец разрыв любой связи приводит к делению системы на две части, которые в свою очередь могут рассматриваться как подсистемы, между которыми возможно развитие асинхронного хода (возможные структуры неустойчивости). Внутри кольца деление на две части происходит при разрыве двух связей.

Для идентификации неустойчивости необходимо выделить межсистемное сечение колебательной структуры, по которому собственно и происходит развитие асинхронного хода. Для выделения такого сечения можно воспользоваться вычислениями изменений взаимных углов между смежными подсистемами колебательной структуры [6]. Для смежных подсистем, s -ой и m -ой, изменение взаимного угла $\Delta\delta_{sm}(t, t_0)$ на интервале (t_0-t) определяется как:

$$\Delta\delta_{sm}(t, t_0) = \Delta\delta_{s0}(t, t_0) - \Delta\delta_{m0}(t, t_0) = \frac{\sum_{k_s} J_k [\delta_{zk}(t) - \delta_{zk}(t_0)]}{J_s} - \frac{\sum_{k_m} J_k [\delta_{zk}(t) - \delta_{zk}(t_0)]}{J_m}, \quad (1)$$

где k_s и k_m - множества генераторных узлов s -ой и m -ой подсистем. При этом выявление сечения, по которому возникает асинхронный ход, можно проводить по признаку увеличения разности взаимных углов более чем на 180° .

Неустойчивая пара подсистем и её энергетические соотношения

Неустойчивой парой (НП) будем называть подсистемы, связанные между собой сечением развивающегося асинхронного хода. Она может быть образована двумя подсистемами колебательной структуры, выявленными при идентификации неустойчивости, или подсистемами, образованными в результате *полного или частичного слияния* её подсистем, находящихся по разные стороны сечения асинхронного хода (если в колебательной структуре больше двух подсистем). НП может охватывать часть системы или всю систему в целом. Для упрощения записи будем полагать, что подсистемы, входящие в НП, имеют номера 1 и 2.

Определим относительную скорость центра инерции подсистемы, содержащей обе подсистемы НП, относительно центра инерции системы $\Delta\Omega_{(1+2)0}$ на основе соотношения:

$$J_1\Delta\Omega_{10} + J_2\Delta\Omega_{20} = (J_1 + J_2)\Delta\Omega_{(1+2)0}, \quad (2)$$

где $\Delta\Omega_{10}(t)$ и $\Delta\Omega_{20}(t)$ - отклонения скоростей первой и второй подсистем НП относительно центра инерции системы, J_1 и J_2 - моменты инерции подсистем.

Таким образом, введена подсистема, состоящая из двух подсистем НП, образованная их слиянием. Отклонения скоростей подсистем от скорости собственного центра инерции НП $\Delta\Omega_{1(1+2)}$ и $\Delta\Omega_{2(1+2)}$ равны:

$$\Delta\Omega_{1(1+2)} = \Delta\Omega_{10} - \Delta\Omega_{(1+2)0}, \quad \Delta\Omega_{2(1+2)} = \Delta\Omega_{20} - \Delta\Omega_{(1+2)0}. \quad (3)$$

Для этих отклонений скорости будет всегда выполняться соотношение:

$$J_1\Delta\Omega_{1(1+2)} + J_2\Delta\Omega_{2(1+2)} = 0. \quad (4)$$

Уравнение движения собственного центра инерции НП относительно центра инерции системы (ΔM_s - суммарный избыточный момент в системе):

$$(J_1 + J_2) \frac{d(\Delta\Omega_{(1+2)0})}{dt} = \Delta M_1 + \Delta M_2 - \frac{J_1 + J_2}{J_s} \Delta M_s. \quad (5)$$

Два уравнения движения подсистем НП относительно её собственного центра инерции будут иметь вид:

$$J_1 \frac{d(\Delta\Omega_{1(1+2)})}{dt} = \frac{\Delta M_1 J_2 - \Delta M_2 J_1}{J_1 + J_2} = \Delta M_{1(1+2)}, \quad (6)$$

$$J_2 \frac{d(\Delta\Omega_{2(1+2)})}{dt} = \frac{\Delta M_2 J_1 - \Delta M_1 J_2}{J_1 + J_2} = \Delta M_{2(1+2)}, \quad (7)$$

где ΔM_1 и ΔM_2 - абсолютные избыточные моменты подсистем 1 и 2; $\Delta M_1 = \sum_{k_1} \Delta M_k$, $\Delta M_2 = \sum_{k_2} \Delta M_k$, $\Delta M_k = \frac{\Delta P_k}{\Omega_{zk}}$, ΔP_k - небаланс мощности на валу машины; k_1 , k_2 - множества узлов, входящих в 1 и 2 подсистемы; $\Delta M_{1(1+2)}$ и $\Delta M_{2(1+2)}$ - относительные избыточные моменты подсистем 1 и 2, определяющие их относительные движения около собственного центра инерции НП, причем $\Delta M_{1(1+2)} + \Delta M_{2(1+2)} = 0$. Кинетическая энергия региональных колебаний $K_{pez(1+2)}$ НП определяется как сумма кинетической энергии двух подсистем:

$$K_{\text{рез}(1+2)} = J_1 \frac{\Delta\Omega_{10}^2}{2} + J_2 \frac{\Delta\Omega_{20}^2}{2} = (J_1 + J_2) \frac{\Delta\Omega_{(1+2)0}^2}{2} + J_1 \frac{\Delta\Omega_{1(1+2)}^2}{2} + J_2 \frac{\Delta\Omega_{2(1+2)}^2}{2}. \quad (8)$$

Видно, что часть кинетической энергии связана с общим движением НП, а также имеется составляющая, определяемая внутренними региональными колебаниями подсистем НП около её собственного центра инерции

$$K_{\text{вн}(1+2)} = J_1 \frac{\Delta\Omega_{1(1+2)}^2}{2} + J_2 \frac{\Delta\Omega_{2(1+2)}^2}{2}. \quad (9)$$

Так как отклонения скоростей $\Delta\Omega_{1(1+2)}$ и $\Delta\Omega_{2(1+2)}$ в любой момент времени связаны соотношением:

$$\Delta\Omega_{2(1+2)} = -\frac{J_1}{J_2} \Delta\Omega_{1(1+2)}, \quad (10)$$

то составляющую региональных внутренних колебаний НП можно определить и так:

$$K_{\text{вн}(1+2)} = J_1 \frac{\Delta\Omega_{1(1+2)}^2}{2} \left(\frac{J_1 + J_2}{J_2} \right). \quad (11)$$

Из уравнений движения подсистем НП относительно её собственного центра инерции следует, что изменение этой составляющей кинетической энергии определяется интегралами мощностей процессов превращения кинетической энергии в работу. Так как $\Delta M_{2(1+2)} = -\Delta M_{1(1+2)}$, то:

$$\int_{t_0}^t dK_{\text{вн}(1+2)} = \int_{t_0}^t \Delta M_{1(1+2)} \Delta\Omega_{1(1+2)} dt + \int_{t_0}^t \Delta M_{2(1+2)} \Delta\Omega_{2(1+2)} dt = \int_{t_0}^t \Delta M_{1(1+2)} (\Delta\Omega_{1(1+2)} - \Delta\Omega_{2(1+2)}) dt \quad (12)$$

Или, иначе, изменение кинетической энергии равно сумме интегралов работ относительных моментов:

$$\int_{t_0}^t dK_{\text{вн}(1+2)} = \int_{\Delta\delta_{1(1+2)}(t_0)}^{\Delta\delta_{1(1+2)}(t)} \Delta M_{1(1+2)} d(\Delta\delta_{1(1+2)}) + \int_{\Delta\delta_{2(1+2)}(t_0)}^{\Delta\delta_{2(1+2)}(t)} \Delta M_{2(1+2)} d(\Delta\delta_{2(1+2)}), \quad (13)$$

на смещениях подсистем относительно собственного центра инерции НП. Обозначив $\Delta\Omega_{12} = \Delta\Omega_{1(1+2)} - \Delta\Omega_{2(1+2)}$ вместо двух интегралов можно ограничиться одним интегралом работы избыточного относительного момента $\Delta M_{1(1+2)}$ на *взаимном перемещении* подсистем НП:

$$\int_{t_0}^t dK_{\text{вн}(1+2)} = \int_{\Delta\delta_{12}(t_0)}^{\Delta\delta_{12}(t)} \Delta M_{1(1+2)} d(\Delta\delta_{12}), \quad (14)$$

где $d(\Delta\delta_{12}) = \Delta\Omega_{12} dt$. К аналогичным энергетическим соотношениям приводит известный прием преобразования дифференциальных уравнений относительного движения, применённый для НП. Первое из них умножается на J_2 , второе на J_1 , затем из первого вычитается второе. Так как $\Delta M_{2(1+2)} = -\Delta M_{1(1+2)}$, то получим *одно* дифференциальное уравнение *взаимного движения* подсистем:

$$\frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} \frac{d(\Delta\Omega_{1(1+2)} - \Delta\Omega_{2(1+2)})}{dt} = \frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} \frac{d(\Delta\Omega_{12})}{dt} = \Delta M_{1(1+2)}. \quad (15)$$

Избыточный момент в правой части, определяющий взаимное движение подсистем, совпадает с избыточным моментом, действующим на первую подсистему в её относительном движении около собственного центра инерции НП. Величина $J_{\text{вз}} = J_1 J_2 / (J_1 + J_2)$ - моментинерции взаимного движения. Переход к описанию взаимного движения подсистем НП сводит задачу к одномерной задаче исследования устойчивости движения синхронной машины с моментом инерции $J_{\text{вз}}$ при действии на неё избыточного момента $\Delta M_{1(1+2)}$.

Кинетическая энергия взаимного движения, описываемого этим уравнением: $J_{\text{вз}} \frac{\Delta\Omega_{12}^2}{2}$.

Оказывается, что при учете соотношения (10), эта кинетическая энергия равна:

$$J_{\text{вз}} \frac{\Delta\Omega_{12}^2}{2} = J_1 \frac{\Delta\Omega_{1(1+2)}^2}{2} \left(\frac{J_1 + J_2}{J_2} \right) = K_{\text{вн}(1+2)}. \quad (16)$$

Т.е., кинетическая энергия взаимного движения подсистем НП равна суммарной кинетической энергии колебаний подсистем НП относительно её собственного центра инерции. Заметим, что тот же прием, применённый к уравнениям движения подсистем НП относительно центра инерции системы, даёт соотношение:

$$J_1 J_2 \frac{d(\Delta\Omega_{10} - \Delta\Omega_{20})}{dt} = J_1 J_2 \frac{d(\Delta\Omega_{12})}{dt} = J_2 \Delta M_{10} - J_1 \Delta M_{20} = J_2 \Delta M_1 - J_1 \Delta M_2, \quad (17)$$

которое после деления правой и левой части на $J_1 + J_2$, становится тем же дифференциальным уравнением взаимного движения:

$$\frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} \frac{d(\Delta\Omega_{12})}{dt} = \frac{J_2 \Delta M_1 - J_1 \Delta M_2}{J_1 + J_2} = \Delta M_{1(1+2)}, \quad (18)$$

совпадающим с приведенным выше. Понятно, что это совпадение связано с тем, что разница скоростей подсистем не зависит от того общего, относительно чего они измеряются:

$$\Delta\Omega_{12} = \Delta\Omega_{1(1+2)} - \Delta\Omega_{2(1+2)} = \Delta\Omega_{10} - \Delta\Omega_{20}. \quad (19)$$

где $\Delta\Omega_{12}(t)$ - отклонение взаимной скорости первой и второй подсистем НП. То же относится и к взаимному угловому смещению подсистем НП на интервале (t_0, t) $\Delta\delta_{12}(t, t_0)$, которое можно вычислить так:

$$\Delta\delta_{12}(t, t_0) = \Delta\delta_{10}(t, t_0) - \Delta\delta_{20}(t, t_0) = \frac{\sum_{k_1} J_k [\delta_{\text{эк}}(t) - \delta_{\text{эк}}(t_0)]}{J_1} - \frac{\sum_{k_2} J_k [\delta_{\text{эк}}(t) - \delta_{\text{эк}}(t_0)]}{J_2}. \quad (20)$$

где $\delta_{\text{эк}}$ - угловое смещение генераторов относительно общей, произвольно выбранной оси.

Кроме регионального движения синхронные машины подсистем НП участвуют в локальных колебаниях, описываемых дифференциальными уравнениями их движения относительно центра инерции подсистемы, в которую они входят:

$$J_k \frac{d(\Delta\Omega_{\text{эк}k1})}{dt} = \Delta M_k - \frac{J_k}{J_1} \Delta M_1 = \Delta M_{k1}, \quad J_k \frac{d(\Delta\Omega_{\text{эк}k2})}{dt} = \Delta M_k - \frac{J_k}{J_2} \Delta M_2 = \Delta M_{k2} \quad (21)$$

$$\Delta\Omega_{\text{эк}k1}(t) = \Omega_{\text{эк}k}(t) - \Omega_{10}(t) = \Delta\Omega_{\text{эк}k0}(t) - \Delta\Omega_{10}(t), \quad (22)$$

$$\Delta\Omega_{\text{эк}k2}(t) = \Omega_{\text{эк}k}(t) - \Omega_{20}(t) = \Delta\Omega_{\text{эк}k0}(t) - \Delta\Omega_{20}(t). \quad (23)$$

где $\Delta\Omega_{\text{эк}k0}(t)$ - изменение скорости генератора относительно центра инерции системы.

Величины ΔM_{k1} , ΔM_{k2} представляют собой избыточные моменты, определяющие относительные движения синхронных машин около центра инерции подсистем. Кинетическая энергия локальных колебаний внутри подсистем:

$$K_{\text{лок}k1}(t) + K_{\text{лок}k2}(t) = \sum_{k_1} J_k \frac{\Delta\Omega_{\text{эк}k1}^2(t)}{2} + \sum_{k_2} J_k \frac{\Delta\Omega_{\text{эк}k2}^2(t)}{2}. \quad (24)$$

В каждой подсистеме будут присутствовать синхронные машины, скорости вращения которых будут либо больше, либо меньше скорости перемещения центра инерции подсистемы. Это означает, что эти подсистемы, также можно разбить на отдельные части. Ограничимся разбиением синхронных машин подсистем на две группы, опережающие и отстающие от центра инерции подсистемы, не решая топологическую проблему пространственной конфигурации (структуры) движения внутри подсистемы. Тогда величины $K_{\text{лок}k1}(t)$ и $K_{\text{лок}k2}(t)$ можно представить в виде сумм:

$$K_{лок1}(t) = K_{лок1}^+(t) + K_{лок1}^-(t) = \sum_{k_1, \Delta\Omega_{ek1}(t) > 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{ek1}^2(t)}{2} + \sum_{k_1, \Delta\Omega_{ek1}(t) < 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{ek1}^2(t)}{2}, \quad (25)$$

$$K_{лок2}(t) = K_{лок2}^+(t) + K_{лок2}^-(t) = \sum_{k_2, \Delta\Omega_{ek2}(t) > 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{ek2}^2(t)}{2} + \sum_{k_2, \Delta\Omega_{ek2}(t) < 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{ek2}^2(t)}{2}, \quad (26)$$

собирающих в одном слагаемом синхронные машины, опережающие по скорости центр инерции подсистемы, а в другом - машины, отстающие от него.

Таким образом, колебания подсистем неустойчивой пары относительно её центра инерции описывается соотношениями, внешне сходными с аналогичными соотношениями для двухмашинной схемы. Отличие сводится к тому, что избыточный момент, определяющий взаимное движение подсистем, зависит от **полных** траекторий движения (**региональных плюс локальных**) синхронных машин **всей** системы (как вне, так и внутри неустойчивой пары, а не только от регионального взаимного смещения $\Delta\delta_{12}(t, t_0)$, как это было бы для действительно двухмашинной схемы). В частности, влияние остальной части системы, окружающей неустойчивую пару, проявляется в изменении скорости движения её собственного центра инерции и в величинах избыточных моментов ΔM_1 и ΔM_2 .

Кинетическая энергия региональных колебаний подсистем НП на интервале (t_0, t) может нарастать (при возрастании отклонения скорости по модулю) или убывать. В первом случае работа положительна, во втором отрицательна. Работа A может быть увязана с изменением потенциальной энергии, причём *положительная работа* соответствует уменьшению потенциальной энергии (спуск в потенциальную яму), а отрицательная – подъёму из потенциальной ямы.

Колебания возникают тогда, когда процессы спуска в потенциальную яму и подъёма из неё чередуются во времени, подсистемы совершают колебания около положения устойчивого равновесия, лежащего на её дне (в точке минимума потенциальной энергии). Тогда, при прохождении положения равновесия, они имеют максимальную кинетическую энергию и максимальную по модулю относительную скорость. Подъём из потенциальной ямы, снижающий кинетическую энергию и относительную скорость до нуля (до полной остановки подсистем в их относительном движении), сопровождается максимальными региональными отклонениями от положения равновесия и характеризуется максимальной положительной величиной потенциальной энергии по отношению к положению равновесия, накопленной подсистемами НП вследствие их взаимного смещения.

Недостаточность отрицательной работы, совершаемой при взаимном движении подсистем неустойчивой пары (недостаточная высота потенциального барьера), выступает физической причиной развития асинхронного хода. Ограниченная высота потенциального барьера приводит к тому, что, при достаточно большой кинетической энергии колебаний подсистем НП, они достигают в своём перемещении его вершины, переваливают через неё, и продолжают движение с нарастанием относительной скорости. Количественной оценкой недостаточности высоты потенциального барьера может выступать величина непогашенной избыточной кинетической энергии $K_{изб}$, которой обладают подсистемы НП в момент перевала через его вершину.

При выходе на вершину потенциального барьера изменения смещений, обусловленных взаимным региональным движением подсистем, уменьшаются. Так как моменты, определяющие региональные движения зависят как от региональных, так и локальных перемещений не только подсистем НП, но и других, окружающих её подсистем, то в окрестности вершины потенциального барьера значимость локальных колебаний НП и внешних движений возрастает. Можно говорить, что высота потенциального барьера изменяется локальными колебаниями НП и внешними движениями. Энергетической

характеристикой этих изменений выступают колебания региональной кинетической энергии НП на вершине (окрестности вершины) потенциального барьера.

Это означает, что задача управления по обеспечению устойчивости, сводимая к анализу энергетических соотношений для региональных движений только двух подсистем, осложняется при прохождении вершины потенциального барьера. Можно представить подход, позволяющий в этих условиях решать задачи устойчивости. Выбор управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивость регионального движения, надо производить с некоторым *запасом путем отступа от вершины* потенциального барьера на величину, определяемую энергетическими характеристиками изменчивости его высоты. Управление должно обеспечивать достаточную удалённость траекторий регионального движения от вершины потенциального барьера, т.е. от *критического смещения*.

Для этого необходимо предложить алгоритмы фиксации критического смещения и алгоритм определения закладываемого запаса. Определение момента времени, в который региональное движение максимально исчерпывает возможность совершения отрицательной работы $t_{кр}$, можно основать на определении моментов времени, в которые отклонения региональной скорости ускоряющейся, после нарушения устойчивости, подсистемы от скорости движения центра инерции пары достигают минимума, с последующим выбором того из них, в котором кинетическая энергия регионального движения минимальна [6]. В момент достижения критического регионального смещения между подсистемами НП можно определить их региональную $K_{вн(1+2)}(t_{кр})$ и локальную кинетическую энергию. При этом целесообразно выделить только ту составляющую локальной кинетической энергии, которая связана с локальным движением синхронных машин в подсистемах, происходящих в ту же сторону, что и движение подсистемы, в которую они входят. Если ускоряющаяся после нарушения устойчивости подсистема имеет номер 1, то эта составляющая локальной кинетической энергии определится как $K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})$:

$$K_{лок1}^+(t_{кр}) = \sum_{k_1, \Delta\Omega_{zk1}(t_{кр}) > 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{zk1}^2(t_{кр})}{2}, K_{лок2}^-(t_{кр}) = \sum_{k_2, \Delta\Omega_{zk2}(t_{кр}) < 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{zk2}^2(t_{кр})}{2}. \quad (27)$$

Пусть $K_{вн(1+2)}(t_{кр})$ равна нулю, т.е. региональные движения НП имеют точку останова в момент $t_{кр}$. При этом $K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})$ будет равна нулю только при полном отсутствии локальных движений, что возможно в случае, когда обе подсистемы содержат по одной синхронной машине. Величину $K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})$ можно полагать как *неопределенность вычисления* $K_{вн(1+2)}(t_{кр})$. Это значит, что для исключения влияния локальных движений при управлении с целью обеспечения устойчивости, величина $K_{изб}$ не должна приниматься равной нулю из-за равенства нулю $K_{вн(1+2)}(t_{кр})$. Её следует выбрать равной $K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})$. Если $K_{вн(1+2)}(t_{кр})$ не равна нулю, то $K_{изб}$ можно, например, выбрать так:

$$K_{изб} = \max(K_{вн(1+2)}(t_{кр}), K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})). \quad (28)$$

Выбор корректирующего управления по динамической устойчивости

Для рассматриваемых схемно-режимных условий вводится исследуемое возмущение и управляющие воздействия, выбранные по условию обеспечения нормированного запаса статической устойчивости в послеаварийном режиме. Производится расчет переходного процесса с вводом найденных управляющих воздействий. В случае идентификации неустойчивого переходного процесса определяются сечение асинхронного хода и дополнительные управляющие воздействия. Расчет переходного процесса повторяется с целью проверки результативности управления.

Корректирующее управление по динамической устойчивости подразумевает уже определенные объем и место управляющих воздействий по условию обеспечения статической устойчивости и допустимой токовой загрузки силового оборудования. То есть известно время ввода управляющих воздействий t_{yc} , обеспечивающих послеаварийную статику и место их реализации.

Выделение неустойчивой пары снижает размер рассматриваемой модели энергосистемы до двух подсистем. При этом часть системы, не входящая в НП, не отбрасывается, так как учитывается в движении центра инерции НП. В случае недостаточности управляющих воздействий возможна коррекция НП (путем слияния с другими подсистемами) вплоть до объединения всей энергосистемы в две подсистемы относительно сечения нарушения устойчивости.

После определения неустойчивой пары становится известным время идентификации неустойчивости $t_{ин}$. Здесь под временем $t_{ин}$ понимается время фиксации факта нарушения динамической устойчивости по критерию расхождения взаимного угла двух подсистем более чем на 180^0 . Основные этапы алгоритма описаны ниже.

1. Определение отклонения скоростей подсистем НП от её собственного центра инерции $\Delta\Omega_{1(1+2)}(t)$ и $\Delta\Omega_{2(1+2)}(t)$ в моменты $t_{ин}$ и t_{yc} проводятся по выражениям (2,3). Далее будем полагать подсистему с положительным отклонением скорости в момент $t_{ин}$ под номером 1, а с отрицательным – под номером 2.

2. Определение цикла качаний, в котором зафиксировано нарушения устойчивости:

$\Delta\Omega_{1(1+2)}(t_{ин})\Delta\Omega_{1(1+2)}(t_{yc}) > 0$ - нарушение устойчивости в нечетном цикле качаний,

$\Delta\Omega_{1(1+2)}(t_{ин})\Delta\Omega_{1(1+2)}(t_{yc}) < 0$ - нарушение устойчивости в четном цикле качаний.

3. Определение времён изменения знака относительного момента $t_{изм.зн}^k$.

Проводится путем анализа его значений в различные моменты времени t_v на различных шагах интегрирования (v - номер шага интегрирования):

$$\Delta M_{1(1+2)}(t_v) = \frac{\Delta M_1(t_v)J_2 - \Delta M_2(t_v)J_1}{J_1 + J_2} \quad (29)$$

где $\Delta M_{1(1+2)}(t_v)$ - избыточный момент первой подсистемы НП относительно центра инерции НП; $\Delta M_1(t_v)$ и $\Delta M_2(t_v)$ - избыточные моменты первой и второй подсистем НП соответственно в абсолютном выражении.

Выполнение неравенства $\Delta M_{1(1+2)}(t_v)\Delta M_{1(1+2)}(t_{v+1}) < 0$ влечет внесение момента t_v в список времён изменения знака. При этом в обозначенном списке должны различаться случаи изменений знака с минуса на плюс (моменты наступления минимума отклонения скорости $\Delta\Omega_{1(1+2)}$) и с плюса на минус (моменты наступления максимума отклонения скорости $\Delta\Omega_{1(1+2)}$).

Определение моментов изменения знака избыточного момента проводится на интервале $(0 - t_{ин})$ (время, равное 0 – время аварии). Получение пустого множества времён изменения знака обозначает либо отсутствие послеаварийного режима, либо чрезмерно позднее введение управления по обеспечению его существования.

В результате получено множество возрастающих значений времён изменения знака момента $t_{изм.зн}^k$ (k - номер элемента множества) и признаков минимума или максимума отклонений скорости в эти моменты времени.

4. Расчет значений отклонений скорости и кинетической энергии регионального движения НП относительно её собственного центра инерции в моменты $t_{изм.зн}^k$. Проводится по выражениям (2,3,16,19).

5. Определение времени наступления критического смещения $t_{кр}$. Проводится путем анализа значений $K_{ен(1+2)}(t)$ на множестве $t_{изм.зн}^k$. Для этого, начиная с последнего элемента множества, пошагово перемещаясь к его началу (движение в сторону уменьшения времени), определяется момент времени, в который кинетическая энергия достигает минимума в точках минимума отклонения скорости (что показывает состояния максимального торможения подсистем без ввода управляющих воздействий). Дополнительно, контролируется знак углового смещения между ускоряющейся и замедляющейся подсистемами $\Delta\delta_{12}$, который должен быть положительным.

6. Определение избыточной кинетической энергии $K_{изб}$. Проводится после сопоставления величин $K_{ен(1+2)}(t_{кр})$ и $K_{лок1}^+(t_{кр}) + K_{лок2}^-(t_{кр})$, определяемых по выражениям (16,27). Избыточная кинетическая энергия, которую необходимо погасить путем ввода управляющих воздействий определяется по выражению (28).

7. Определение времени внесения управляющих воздействий для обеспечения динамической устойчивости $t_{yд}$. При нарушениях устойчивости в нечетных циклах качаний в качестве времени $t_{yд}$ может приниматься t_{yc} , т.е. $t_{yд} = t_{yc}$. При нарушениях устойчивости в четных циклах качаний $t_{yд}$ может выбираться в момент достижения максимума $K_{ен(1+2)}(t_v)$ при положительном отклонении $\Delta\Omega_{1(1+2)}(t_v)$.

Оптимальным выбором времени ввода управляющих воздействий является время ввода, при котором реализуется максимальное изменение региональной кинетической энергии НП при минимальной величине управляющего воздействия (см. пункты 8 и 9).

8. Определение углового смещения между подсистемами НП на интервале времени от $t_{yд}$ до $t_{кр} - \Delta\delta_{12}(t_{кр}, t_{yд})$. Проводится по выражению (20).

9. Расчет управляющего воздействия – отключения генераторов в избыточной подсистеме 1. Отключение генераторов в избыточной подсистеме приводит к изменению кинетической энергии регионального движения подсистем НП в переходном процессе за счёт двух основных факторов: за счёт изменения (уменьшения) вращающейся массы; за счёт изменения площадки торможения (т.е. за счёт увеличения кинетической энергии, преобразуемой в потенциальную энергию).

Оценить первый фактор можно на основе соотношения:

$$\Delta K_{ен(1+2)} = \Delta J_1 \frac{\Delta\Omega(t_{yд})_{1(1+2)}^2}{2}, \quad (30)$$

где ΔJ_1 - момент инерции отключаемой части генерации, $\Delta\Omega(t_{yд})_{1(1+2)}$ - отклонение скорости выбегающей подсистемы НП относительно её центра инерции в момент ввода корректирующего управления. Или:

$$\Delta K_{ен(1+2)} = \frac{\Delta J_1}{J_1} J_1 \frac{\Delta\Omega(t_{yд})_{1(1+2)}^2}{2} = \frac{\Delta J_1}{J_1} K_{ен1}(t_{yд}) \approx \frac{\Delta P_{m1}}{P_{m1}(t_{yд})} K_{ен1}(t_{yд}), \quad (31)$$

где ΔP_{m1} - отключаемая мощность турбин в «1» подсистеме, $P_{m1}(t_{yд})$ - мощность турбин в «1» подсистеме в момент, непосредственно предшествующий вводу корректирующего управления, $K_{ен1}(t_{yд})$ - кинетическая энергия выбегающей подсистемы «1» в тот же момент времени.

Дополнительно преобразуемая (в потенциальную энергию), кинетическая энергия $\Delta K_{ен(1+2)}^{nom}$ оценивается:

$$\Delta K_{ен(1+2)}^{nom} \approx \Delta M_{m1(1+2)} \Delta\delta_{12}(t_{кр}, t_{yд}) \approx \frac{\Delta M_{m1} J_2}{J_1 + J_2} \Delta\delta_{12}(t_{кр}, t_{yд}) \approx \frac{\Delta P_{m1} J_2}{\Omega_{ном} (J_1 + J_2)} \Delta\delta_{12}(t_{кр}, t_{yд}), \quad (32)$$

где: $\Omega_{\text{н.ом}} = 100\pi$ и $\Delta\delta_{12}(t_{\text{кр}}, t_{\text{yd}}) \geq 0$. Тогда, полагая, что:

$$\Delta K_{\text{ен}(1+2)} + \Delta K_{\text{ен}(1+2)}^{\text{ном}} = K_{\text{узб}}, \quad (33)$$

определим мощность турбин отключаемых генераторов в выбегающей части системы ΔP_{m1} :

$$\Delta P_{m1} \approx \frac{K_{\text{узб}}}{\frac{K_{\text{ен}1}(t_{\text{yd}})}{P_{m1}(t_{\text{yd}})} + \frac{J_2}{\Omega_{\text{н.ом}}(J_1 + J_2)} \Delta\delta_{12}(t_{\text{кр}}, t_{\text{yd}})}. \quad (34)$$

Минимизация объема отключения достигается при наибольшем значении знаменателя в выражении (34). Это в свою очередь требует выбора момента ввода управляющих воздействий, в котором реализуется суммарный максимум работ торможения и выбегающей (из оборота) кинетической энергии.

Без учета скачкообразного изменения кинетической энергии системы (первой составляющей) мощность турбин отключаемых генераторов в выбегающей части системы ΔP_{m1} определялась бы как:

$$\Delta P_{m1} = \Omega_{\text{н.ом}} \frac{(J_1 + J_2)}{J_2} \frac{K_{\text{узб}}}{\Delta\delta_{12}(t_{\text{кр}}, t_{\text{yd}})}. \quad (35)$$

10. Распределение управляющего воздействия в избыточной подсистеме. Распределение проводится между электростанциями, привлечёнными к управлению. Рассчитывается локальная кинетическая энергия управляемых синхронных машин, опережающих центр инерции выбегающей подсистемы 1 в момент ввода управления:

$$K_{\text{лок1y}}^+(t_{\text{yd}}) = \sum_{k_1 \in k_{1y}, \Delta\Omega_{\text{ck1}}(t_{\text{yd}}) > 0} J_k \frac{\Delta\Omega_{\text{ck1}}^2(t_{\text{yd}})}{2}. \quad (36)$$

Если $K_{\text{лок1y}}^+(t_{\text{yd}}) = 0$ (в подсистеме только одна машина) задача распределения не рассматривается. Определяется относительный вклад управляемой и одновременно опережающей машины в эту кинетическую энергию:

$$\mu_k = \frac{J_k \frac{\Delta\Omega_{\text{ck1}}^2(t_{\text{yd}})}{2}}{K_{\text{лок1y}}^+(t_{\text{yd}})}. \quad (37)$$

Определяется управляющее воздействие на управляемую и опережающую машину:

$$\Delta P_{m1k} = \mu_k \Delta P_{m1}. \quad (38)$$

Если ΔP_{m1k} меньше некоторого заданного значения, то это управляющее воздействие переносится на другую машину. Если ΔP_{m1k} больше заданного, то управляющее воздействие ограничивается, избыточное управление переносится на другую машину.

Примеры расчета переходного движения подсистем

На рис. 1 отображены процессы изменения кинетической энергии колебаний в случае устойчивого переходного процесса.

На рис. 2 отображены некоторые этапы алгоритма выбора управляющих воздействий по условию обеспечения динамической устойчивости, поясняющие процесс поиска избыточной энергии колебаний и демонстрирующий изменение кинетической энергии колебаний в случае неустойчивого переходного процесса. Минимум кинетической энергии характеризует критическое положение системы, в котором исчерпаны все ресурсы по торможению. Величина минимума кинетической энергии характеризует необходимый объем управляющих воздействий по условию обеспечения динамической устойчивости.

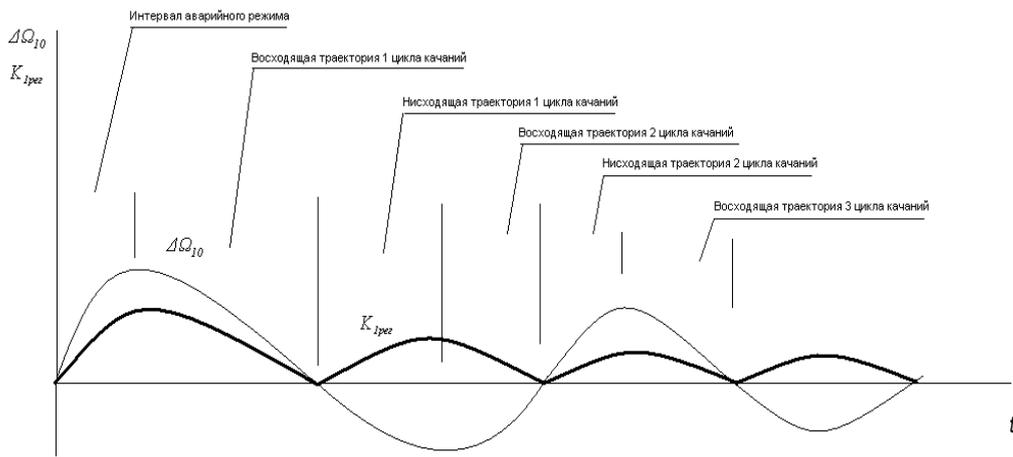


Рисунок 1 – График изменения отклонения скорости первой подсистемы относительно центра инерции системы и её региональной кинетической энергии в случае устойчивого переходного процесса

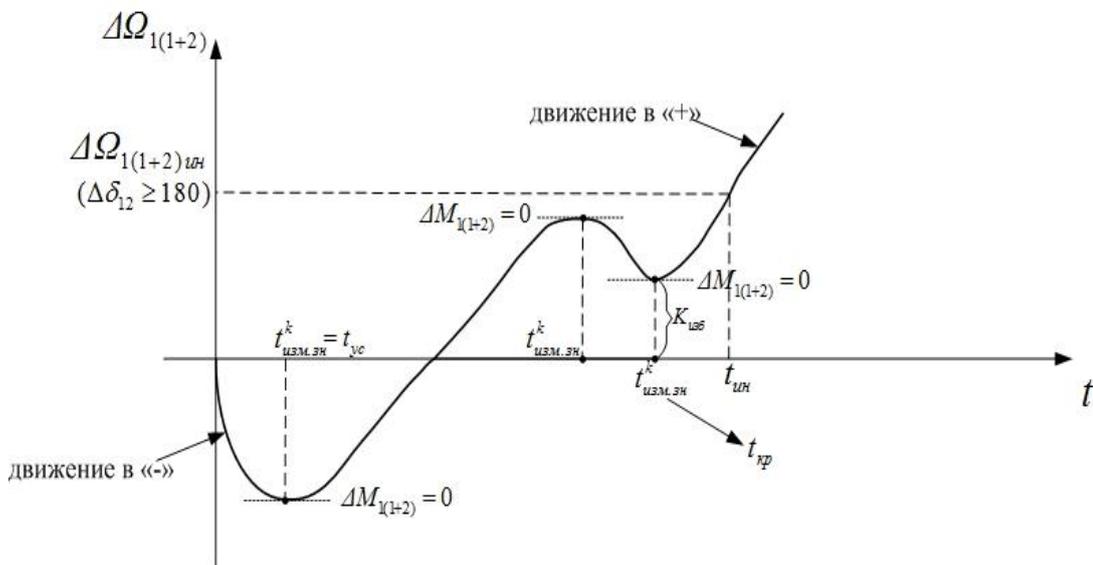


Рисунок 2 – График изменения отклонения скорости первой подсистемы неустойчивой пары относительно ее центра инерции. Нарушение динамической устойчивости во втором цикле качаний

Заключение

Построение систем противоаварийного управления требует модификации классической постановки задач устойчивости как задач исследования процессов распада синхронизма системы при возмущениях. При этом вопрос о положении сечения асинхронного хода становится неотъемлемой частью расчетных алгоритмов.

Анализ процессов распада синхронизма сложных энергосистем можно проводить на основе расчета кинетической энергии колебаний с выделением её региональных и локальных составляющих для определения дефицита отрицательной работы при движении крупных регионов системы.

Для разбиения на подсистемы могут использоваться колебательные структуры, формирующиеся в переходном процессе. Простая топология колебательной структуры позволяет свести рассмотрение устойчивости движения к ряду задач устойчивости двухмашинных схем. Вариант двухмашинного представления, идентифицируемый на основе выявления неустойчивой пары подсистем, определяет сечение асинхронного хода.

Описанные алгоритмы оценки применимы для анализа распада системы на любом цикле качаний. В них используются все понятия классического метода площадей

(энергетического метода): кинетической энергии, работы (площади ускорения и торможения), характеристик мощности в аварийном и послеаварийном режиме.

Список литературы

1. Лизалек Н.Н., Ладнова А.Н., Тонышев В.Ф., Данилов М.В., Мочалин К.С. Структура электромеханических колебаний и устойчивость энергосистем. Электричество. – 2011. – №6. – С. 11 – 19.
2. Лизалек Н.Н., Ладнова А.Н., Тонышев В.Ф., Попова Е.Ю., Вторушин А.С. Оценка динамической устойчивости энергосистем на основе метода площадей. Изв. АН Энергетика. – 2013. - №1. – С. 139-152.
3. Лизалек Н.Н. Динамические свойства энергосистем при электромеханических колебаниях. Структурная организация движений и устойчивость: учеб. пособие / Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 212 с.
4. Лизалек Н.Н., Бородин Д.Н. Структурный анализ движений синхронных машин в энергосистемах. Сборник докладов XXII конференции «релейная защита и автоматика энергосистем», ISBN 978-5-9903581-4-0. – С. 277-278.
5. СО-ДН-1/15-Т.3.1. Отчет о научно-исследовательской работе. Разработка программного (автономного) модуля под ОС Windows расчета управляющих воздействий по условиям обеспечения динамической устойчивости электростанций для ЦСПА ОЭС Сибири. ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск, 2015.
6. Лизалек Н.Н., Бородин Д.Н., Вторушин А.С., Аржанников С.Г. Алгоритмы оценки динамической устойчивости при управляемом переходе к послеаварийному режиму. Сборник докладов 5-й международной научно-технической конференции "Современные направления развития систем релейной защиты и автоматика энергосистем". <http://www.cigre.ru/activity/conference/relayprotect5/materials/S.2.1.pdf>

Лизалек Николай Николаевич – главный научный сотрудник ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем» г. Новосибирск, Россия, доктор технических наук, профессор. Email: lizaleknn@gmail.com, телефон: 8-913-985-92-27.

Васильев Владимир Владимирович – главный специалист по РЗА и ПА в ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем» г. Новосибирск, Россия, кандидат технических наук. Email: vvv@iaes.ru, телефон: 363-02-65.

Бородин Дмитрий Николаевич – аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем (АЭЭС) в Новосибирском Государственном Техническом Университете (НГТУ). Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Лизалек Н.Н. Email: dlko17@mail.ru, телефон: 8-983-139-21-49.

Аржанников Сергей Гаврилович – старший научный сотрудник ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем», г. Новосибирск, Россия. Email: arg@iaes.ru, телефон: 363-02-65.

Мочалин Константин Сергеевич – ведущий инженер ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33., E-mail: nsawt_ese@mail.ru

Тонышев Владимир Фёдорович – доцент ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33., E-mail: nsawt_ese@mail.ru

CORRECTION CONTROL ALGORITHM FOR POWER SYSTEMS DYNAMIC STABILITY

Lizalek N.N., Vasiliev V.V., Arghannikov S.G.
Russia, Novosibirsk, JSC «Power System Automation Institute»

Borodin D.M.
Russia, Novosibirsk Novosibirsk State Technical University

Mochalin K.S., Tonishev V.F.
Russia, Novosibirsk Novosibirsk State Technical University

Currently all the more relevant take the dynamic stability evaluation task of complex power systems on-line – for example, under the centralized system of emergency control (CSEC). It's offered the control actions selecting algorithm for dynamic stability ensuring based on the idea of structurally organized synchronous machines motion in power

system. The feature of the structurally-organized motion is the reduction of dynamic stability research to a dual-machine equivalent using the square method to select the desired amount of emergency control. Highlighting system-wide translational motion and the vibrational motion around a system-wide, synchronous machines may be grouped into the subsystems according to the deviation voltages principle. Obtained an equivalent system representation as subsystems, connected by a weak cross-sections, reduces the transient stability analysis problem to the stability assessment of the selected structure subsystems. Also to identify the stability loss and the adequacy of control actions, the square method is used. The advantages of the proposed algorithm are: prediction accuracy of the asynchronous move cross section, the control subject choice to the cycle of the dynamic stability violation, the selection accuracy of the amount control actions taking into account their efficiency.

Keywords: dynamic stability, structurally-organized motion, square method, control actions choosing algorithm to provide dynamic stability.

Bibliography

1. Lizalek N. N., Ladnova A.N., Tonyshev V. F., Danilov M. V., Mochalin K.S. Structure of electromechanical fluctuations and stability of power supply systems. *Electricity*. – 2011. – No. 6. – Page 11 – 19.
2. Lizalek N. N., Ladnova A.N., Tonyshev V. F., Popova E.Yu., Vtorushin A.S. Otsenka of dynamic stability of power supply systems on the basis of a method of the areas. *Изв. AN of the Power engineering specialist*. – 2013. - No. 1. – Page 139-152.
3. Lizalek N. N. Dynamic properties of power supply systems in case of electromechanical fluctuations. Structural organization of movements and stability: studies. benefit / N. N. Lizalek, V. F. Tonyshev. – Novosibirsk: NGTU publishing house, 2013. – 212 pages.
4. Lizalek N. N., Borodin D. N. The structural analysis of movements of synchronous machines in power supply systems. Collection of reports of the XXII conference "relay protection and automatic equipment of power supply systems", ISBN 978-5-9903581-4-0. – Page 277-278.
5. SO-DN-1/15-T.3.1. Report on research work. Development of the program (autonomous) module under Windows OS of calculation of corrective actions under the terms of ensuring dynamic stability of power plants for TsSPA OES of Siberia. CJSC IAES, Novosibirsk, 2015.
6. Lizalek N. N., Borodin D.N., Vtorushin A.S., Arzhannikov S.G. Algorithms of an assessment of dynamic stability upon the managed transition to postemergency operation. Collection of reports of the 5th international scientific and technical conference "Modern Directions of Development of Systems of Relay Protection and Automatic Equipment of Power Supply Systems". <http://www.cigre.ru/activity/conference/relayprotect5/materials/S.2.1.pdf>

Lizalek Nikolay Nikolaevich, Main scientific employee of the JSC «Power System Automation Institute», Novosibirsk, Russia, Doctor of Engineering, professor. Email: lizaleknn@gmail.com, phone: 8-913-985-92-27.

Vasiliev Vladimir Vladimirovich, Head specialist in relay defense and emergency control automatic of the JSC «Power System Automation Institute», Novosibirsk, Russia, Candidate of Technical Sciences. Email: vvv@iaes.ru, phone: 363-02-65.

Borodin Dmitrii Nikolaevich, Phd. student of the electrical power systems automation department in the Novosibirsk State Technical University.

Arghannikov Sergey Gavrilovich Senior researcher of the JSC «Power System Automation Institute», Novosibirsk, Russia. Email: arg@iaes.ru, phone: 363-02-65.

Mochalin Konstantin Sergeevich lead engineer of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Tonishev Vladimir Fedorovich associate professor of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

УДК 623.3

БЕЗОТКАЗНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Шарапов Н.А.
Липецкий государственный технический университет

В статье выполнен анализ безотказности электрооборудования электрических систем. Установленные зависимости позволяют определить параметры элементов относительно его ненадежности. Однотипные параметры надежности для различных системы не одинаковые, на их влияют многочисленные факторы, а в первую очередь это определяется законами распределения отказов.

Ключевые слова: Вероятность, наработка на отказ, управление, анализ, элемент, система электроснабжения.

В отношении надежности: выработка ресурсов составляющих его отдельных элементов к моменту включения оборудования в работу отсутствует. Отказавший при работе элемент заменяется исправным. После этого эксплуатация электрооборудования продолжается до момента выхода из строя очередного элемента. Он также будет заменен исправным элементом и т.д. Такой подход может быть распространен и на отдельное электрооборудование системы электроснабжения. Многолетний опыт эксплуатации систем электроснабжения свидетельствует, что если не учитывать это обстоятельство, то теоретические результаты надежности оказываются завышенными. Следовательно, необходима количественная оценка надежности электрооборудования (систем), работающего в режиме замены отказавших элементов. Частота отказов оборудования в процессе его эксплуатации будет

$$\bar{\mu}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n(t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\Delta n(t)$ - число элементов электрооборудования (оборудования систем), отказавших в интервале времени $t, t + \Delta t$.

Чтобы решение задачи носило общий характер, будем полагать, что рассматриваемая система (подсистема, соединение системы, отдельное электрооборудование и т.д.) состоит из n элементов $D_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$. Для упрощения решения примем условие, согласно которому время устранения отказа равно нулю. Такое условие возможно потому, что время восстановления отказов, в рассматриваемом случае, во много раз меньше наработок на отказ. При этом необходимо помнить, что в действительности, время восстановления отказа состоит из времени обнаружения отказа, организационного времени, времени ликвидации отказа, времени опробования и включения электрооборудования в работу. Все эти составляющие носят случайный характер по длительности. В результате основным при решении таких задач носят законы распределения, рассматриваемых величин. Самым простым служит экспоненциальный закон распределения, он характеризуется одним параметром. Для логарифмически-нормального распределения соответствует два параметра. В данном случае образуются объемные функции распределения. Естественно это усложняет расчеты, но более сложными они оказываются при трех параметрах, характеризующих распределения, что соответствует усеченно-нормальному закону. Чтобы подтвердить изложенное, построены объемные зависимости временных параметров для логарифмически-нормального и усеченно-нормального законов распределения (рис.1-рис.6).

Принятое условие справедливо потому, что анализу подлежит частота появления отказов, а не другие вероятностные параметры, которые связаны с наработкой на отказ.

Для принятого условия, когда отказавшее электрооборудование $D_{i,1}$ заменяется электрооборудованием $D_{i,2}$, которое в свою очередь после отказа заменяется электрооборудованием $D_{i,3}$ и т.д., очередность появления отказов в системе $D_{i,k} (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ можно рассматривать, как последовательное появление бесконечно коротких пауз. Их частота равна частоте моментов появления отказов электрооборудования. В нашем случае момент появления отказов электрооборудования будет удовлетворять неравенству

$$d_{i,k+1} \geq d_{i,k}, \quad (2)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

Когда электрооборудование $D_{i,k}$ в отношении влияния его отказов на работу системы (подсистемы, соединения системы, отдельного электрооборудование и т.д.) является равнозначным, то характеристическая функция времени безотказной работы каждой единицы оборудования выразится равенством

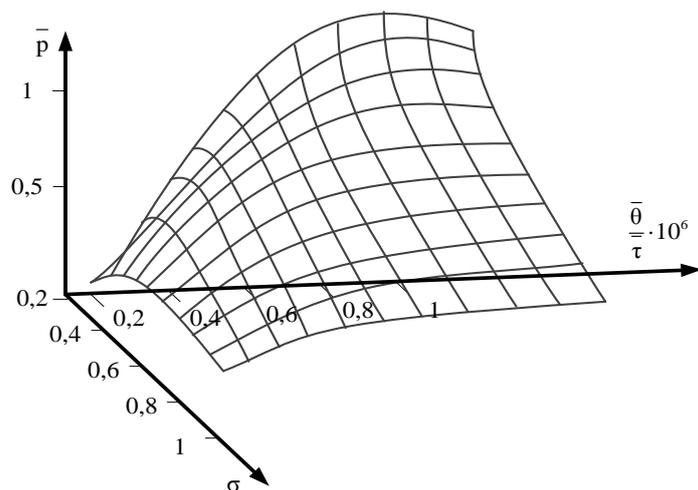


Рисунок 1 - Изменение вероятности появления отказов для логарифмически-нормального распределения времени восстановления электрооборудования

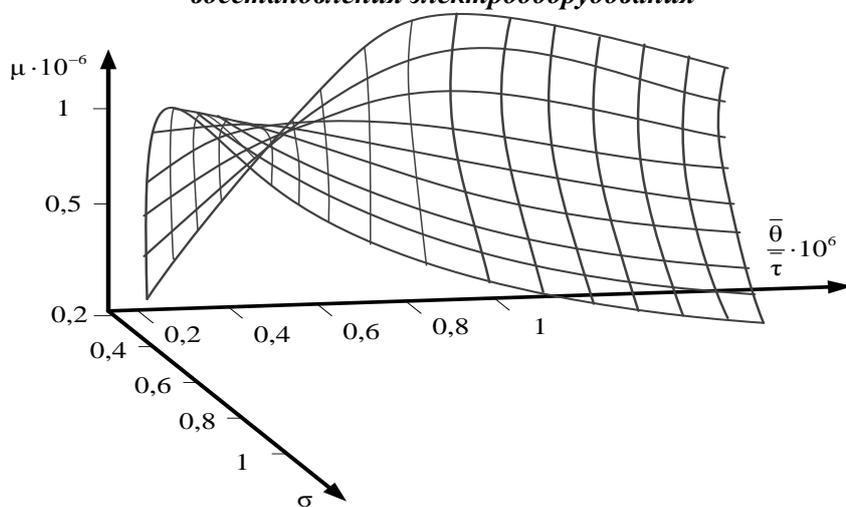


Рисунок 2 - Изменение частоты появления отказов для логарифмически-нормального распределения времени восстановления электрооборудования

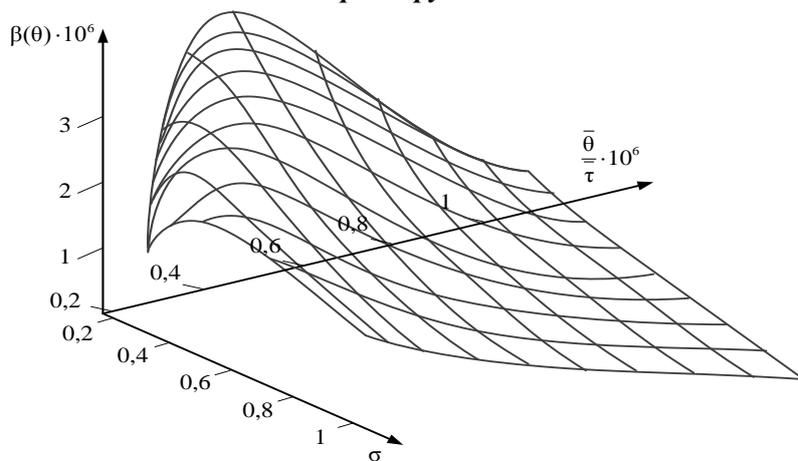


Рисунок 3 - Изменение распределения времени восстановления отказов электрооборудования при логарифмически-нормальном законе

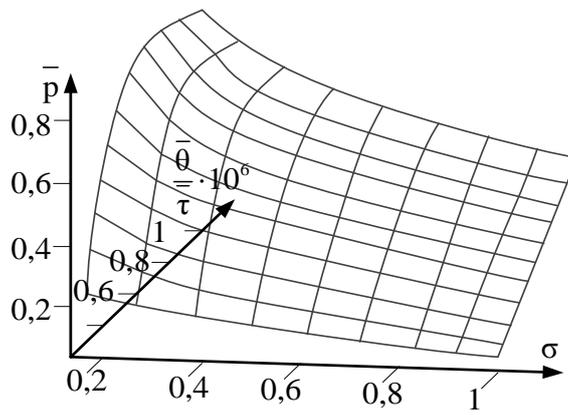


Рисунок 4 - Изменение вероятности появления отказов для усеченно-нормального распределения времени восстановления электрооборудования с нормирующим множителем равном 1,5

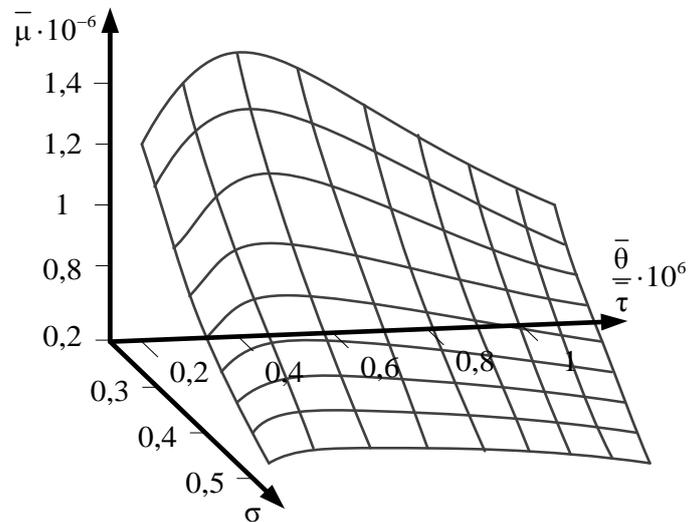


Рисунок 5 - Изменение частоты появления отказов для усеченно-нормального распределения времени восстановления электрооборудования с нормирующим множителем равном 1,5

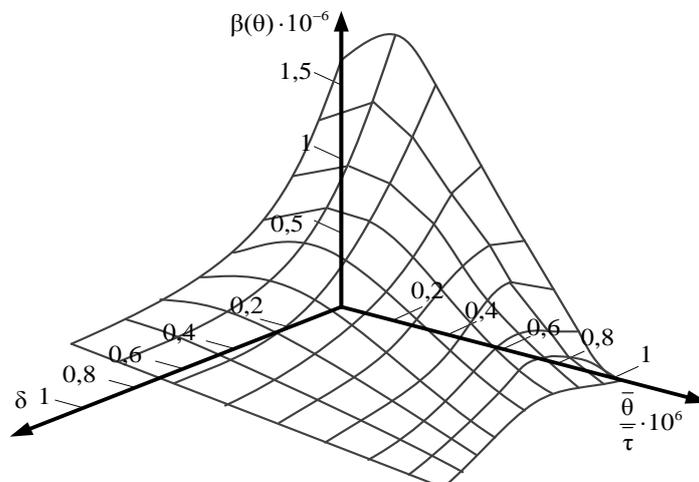


Рисунок 6 - Изменение распределения времени восстановления отказов электрооборудования при усеченно-нормальном законе с нормирующим множителем равном 1,5

$$Z_i(j\alpha) = \int_0^{\infty} \alpha_i(\tau) \exp(-j\alpha\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $\alpha_i(\tau)$ - плотность вероятности наработки на отказ электрооборудования.

Характеристическая функция момента отказа электрооборудования выразится в виде

$$Z_{i,k}(j\alpha) = Z_i^k(j\alpha). \quad (4)$$

Зависимость (4) позволяет определить плотность вероятности появления отказов, отдельной единицы электрооборудования в системе. Она равна

$$\psi_{i,k}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Z_i^k(j\alpha) \exp(-j\alpha t) d\alpha. \quad (5)$$

Среднее число отказов в пределах интервала времени $t, t + \Delta t$ выразится равенством

$$\Delta n_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \psi_{i,k}(t) \Delta t + o(\Delta t). \quad (6)$$

Используя (6) определим изменение частоты отказов электрооборудования во времени. Для этой цели в выражение (6) подставим $\psi_{i,k}(t)$, осуществим суммирование под знаком интеграла, затем разделим правую и левую части на Δt . Тогда в пределе, что $\Delta t \rightarrow 0$ получим

$$\bar{\mu}_i(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Z_i(j\alpha)}{1 - Z_i(j\alpha)} \exp(-j\alpha t) d\alpha. \quad (7)$$

Выражение (7) является довольно сложным для расчетов. Оно может быть упрощено за счет получения из него уравнения Вольтера второго рода

$$\bar{\mu}_i(t) = \alpha_i(t) + \int_0^t \bar{\mu}_i(\tau) \alpha_i(t-\tau) d\tau. \quad (8)$$

Правая часть (8) имеет предел, который определяется через наработку на отказ электрооборудования. Он равен

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \bar{\mu}_i(t) = \frac{1}{\tau_i}. \quad (9)$$

Зависимость (9) справедлива потому, что анализу подлежат бесконечно короткие длительности отказов по отношению к длительностям наработок на отказ. Отказы по длительности не перекрываются во времени. Поэтому их частота появления будет

$$\bar{\mu} = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i(t). \quad (10)$$

Для бесконечно коротких пауз, когда $t \rightarrow \infty$ математическое ожидание наработки на отказ электрооборудования равно равенству

$$\bar{\tau} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \right)^{-1} = \frac{1}{\bar{\mu}(\infty)}. \quad (11)$$

Справедливость выражения (11) тем, что для электрооборудования систем электроснабжения наработка на отказ в сотни, тысячи раз больше времени восстановления отказов. Поэтому

$$\bar{\mu} \approx \bar{\mu}(\infty). \quad (12)$$

Чтобы в полной мере охарактеризовать иерархическую систему кроме частоты и математического ожидания наработки на отказ следует определить вероятность безотказной ее работы за рассматриваемый период времени. В нашем случае, когда отказавшее электрооборудование подлежит замене, искомая вероятность выразится равенством

$$p_i(t) = \prod_{i=1}^n \int_t^{\infty} \alpha_i(\tau) d\tau. \quad (13)$$

где $\alpha_i(\tau)$ - плотность вероятности наработки на отказ i -ой единицы электрооборудования.

Плотность вероятности распределения наработки на отказ системы будет

$$\Psi(\tau) = \bar{\tau} \frac{d^2}{d\tau^2} \prod_{i=1}^n \int_{\tau_i}^{\infty} \int_x^{\infty} \alpha_i(\tau) d\tau. \quad (14)$$

где $\bar{\tau}$ - математическое ожидание наработки на отказ системы (подсистемы, соединения системы, отдельного электрооборудование и т.д.).

Во многих случаях при анализе функционирования системы необходимо определить вероятность ее работы в определенном интервале времени, то есть в пределах $t, t + \Delta t$. В данных пределах система будет исправно работать с вероятностью

$$p_{t, t+\Delta t}(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_{\tau}^{\infty} dx \int_x^{\infty} \Psi(\tau) d\tau. \quad (15)$$

Зависимость, представленную в виде (15) с учетом (14) можно представить равенством

$$p_{t, t+\Delta t}(\tau) = \prod_{i=1}^n \int_{\tau_i}^{\infty} \int_x^{\infty} \alpha_i(\tau) d\tau. \quad (16)$$

Количество единиц электрооборудования системы электроснабжения промышленного предприятия даже средней мощности составляет сотни, тысячи штук, а если это так, то в соответствии с выполненными аналитическими исследованиями в предыдущих пунктах настоящей работы, можно считать, что распределение $\Psi(\tau)$ является экспоненциальным, т.е.

$$\Psi(\tau) = \frac{1}{\tau} \exp\left(-\frac{\tau}{\tau}\right). \quad (17)$$

С учетом (17) зависимость (15) примет вид

$$p_{t, t+\Delta t}(\tau) = \exp\left(-\tau \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i}\right) \quad (18)$$

При определении вероятности $p_{t, t+\Delta t}(\tau)$ имелось в виду, что на рассматриваемый момент времени система (подсистема, соединения системы, отдельное электрооборудование и т.д.) выработала часть своего ресурса. Если это так, то для одномодульных распределений $\alpha_i(\tau)$ будет выполняться условие

$$p_{t, t+\Delta t}(\tau) \geq p_{t, t+2\Delta t}(\tau).$$

Последнее неравенство имеет место только тогда, когда наработка на отказ электрооборудования описывается экспоненциальным законом. При таком законе распределения вероятностные параметры электрооборудования систем электроснабжения не будут зависеть от момента их определения. Не совсем так, при логарифмически-нормальном и усечено-нормальном распределениях. В данном случае следует учитывать время ввода электрооборудования в эксплуатацию.

Список литературы

1. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Оценка эффективности безотказности систем // Вести вузов Черноземья. 2013. №1. С. 25-33
2. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Бош В.И. Случайные импульсные потоки // Елецк-Липецк. 2004. 292 с.
3. Шпиганович А.Н., Шарапов Н.А. Оценка электроснабжения предприятий малой мощности // Липецк. 2015. 96 с.
4. Benganem, M. Technique of Harmonics Elimination Method Applied to an N.P.C. Topology Three Level Inverter [Text] / M. Benganem, A. Draou, A. Tahri // International Conference on

Communication, Computer & Power (ICCCP), Muscat Sultanate of Oman, – 2001.

5. Mazari, B. Fuzzy Hysteresis Control and Parameter Optimization of a Shunt Active Power Filter [Text] / B. Mazari, F. Mekri // Journal of information science and engineering. – 2005. – №21. – P.1139-1156.

6. Bose, B.K. An adaptive hysteresis-band current control technique of a voltage fed PWM inverter for machine drive system [Text] / B.K. Bose // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1990. – №37. – P.402-408.

7. Abdeslam, D.O. Neural Approach for the Control of an Active Power Filter [Text] / D.O. Abdeslam, P. Wira, J. A. Mercle // 5th international Power Electronics Conference (IPEC2005). – 2005.

8. Bansal, R.C. Artificial Intelligence Techniques for Reactive Power/ Voltage Control in Power Systems: A Review [Text] / R.C. Bansal, T.S. Bhatti, D.P. Kothari // International Journal of Power and Energy Systems. – 2003. – №23. – P.81-89.

9. Stacey, E.J. Hybrid power filters [Text] / E.J. Stacey // IEEE IAS, Annu meet. – 1977. – P. 1133-1140.

Шпиганович Александр Николаевич - д-р техн. наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета.

Шпиганович Алла Александровна - канд. техн. наук, доцент кафедры экономики Липецкого государственного технического университета.

Шарапов Николай Андреевич - аспирант кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30.

e-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru;

УДК 623.3

БЕЗОТКАЗНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Шарапов Н.А.
Липецкий государственный технический университет

В статье выполнен анализ структурных взаимосвязей электрооборудования систем электроснабжения промышленных производств. Установленные зависимости позволяют оценить взаимосвязь элементов относительно ненадежной работы для любого уровня системы независимо от ее структуры. Однотипные параметры надежности для различных узлов системы не одинаковые, на их влияют многочисленные факторы, а в первую очередь структурные соединения.

Ключевые слова: вероятность, наработка на отказ, управление, анализ, элемент, система электроснабжения.

Если использовать изложенное в [1-9] то можно осуществлять решение оценки безотказности системы электроснабжения относительно ее отдельных соединений. Чтобы решение носило общий характер целесообразно использовать математическую модель. Построение модели должно осуществляться на базе не статических, а динамических параметров, то есть применить не средние значения, а функции распределения. В основном показатели безотказности зависят от типа, применяемого электрооборудования и структурной надежности системы, хотя немаловажным оказывается негативное влияние как внутренних, так и внешних возмущающих факторов. В процессе функционирования системы ее оборудование может находиться в двух состояниях: в работоспособном и отказе. Оборудование характеризуется наработкой на отказ и временем восстановления отказов. Нарботка на отказ определяется качеством изготовления оборудования, периодичностью обслуживания, воздействием возмущающих факторов. Время восстановления отказа зависит от его сложности и в первую очередь от квалификации обслуживающего персонала. Если математическая модель должна отображать динамику функционирования оборудования в системе, то зависимости, характеризующие параметры надежности электрооборудования должны быть выражены через функции распределения. Решение будем осуществлять

относительно отказов оборудования. В общем случае предположим, что на их возникновение действует m случайных негативных величин. Известно, что распределение любой случайной величины выражается через ее плотность вероятности. Используя дельта-функцию- δ , совместное распределение суммы случайных величин будет

$$W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n [\bar{p}_i \delta(x_i - 1) + p_i \delta(x_i)]. \quad (1)$$

В результате математическое ожидание длительности отказа выразится уравнением

$$\bar{\theta}_n = \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} dx_2 \int_{-\infty}^{\infty} dx_3 \dots \int_{-\infty}^{\infty} [W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \sum_{i=1}^n x_i] dx_n. \quad (2)$$

Не всегда негативные факторы приводят к отказам оборудования. Поэтому в n воздействиях негативных факторов может возникнуть m отказов. Их возникновение соответствует вероятности $\bar{p}_n^{(m)}$. От i -го воздействия отказ появится с вероятностью \bar{p}_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$). Значение этой вероятности $\bar{p}_n^{(m)}$ можно определить согласно формулы

$$\bar{p}_n^{(m)} = \frac{1}{m!} \frac{d^m}{d\mathbf{x}^m} \prod_{i=1}^n (p_i + x p_i) \Big|_{x=0}. \quad (3)$$

Всегда для электрооборудования противоположным событием отказа является его работоспособное состояние. Оно равно разности между единицей и значением, рассчитанным по (3).

Выражение (2) для инженерных расчетов является довольно сложным. В том случае, когда негативные факторы, вызывающие отказы оборудования производят суммирование их длительностей, то равенство (2) может быть представлено в виде

$$\bar{\theta}_n = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i. \quad (4)$$

При этом дисперсия определится равенством

$$D_n = \sum_{i=1}^n p_i \bar{p}_i. \quad (5)$$

Для подтверждения достоверности последнего равенства применяется выражение, которое получено на основании схемы Бернулли

$$D_n = \sum_{m=0}^n (m - \bar{m})^2 \bar{p}_n^{(m)}. \quad (6)$$

Вероятность $\bar{p}_n^{(m)}$ в формуле (6) лучше всего определить применив формулу Пуассона

$$\bar{p}_n^{(m)} \approx \frac{\bar{m}^m}{m!} e^{-\bar{m}} = \bar{p}(m), \quad (7)$$

где $\bar{m} = np = \text{const}$, при этом имеется в виду, что вероятность появления не более k отказов из n воздействий равна

$$\bar{p}(m \leq k) = e^{-\bar{m}} \sum_{m=0}^k \frac{\bar{m}^m}{m!}. \quad (8)$$

Выражение (8) может быть упрощено. Для этой цели правую часть выражения (8) следует представить в виде интеграла

$$\bar{p}(m \leq k) = \frac{1}{k!} \int_k^{\infty} z^k e^{-z} dz. \quad (9)$$

Чем меньше вероятность отказов \bar{p} , тем выражения (8) и (9) обеспечивают большее приближение к формуле Бернулли. Если вероятность \bar{p} не является величиной достаточно малой, а в нашем случае вероятность появления отказов электрооборудования составляет десятитысячные и более, то выражения (8), (9) могут носить только оценочный характер при применении формулы:

$$\bar{p}_{n,m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} \bar{p}^m \bar{p}^{n-m}.$$

В случае применения выражений (1)-(9) для анализа безотказности систем электроснабжения связано с многочисленными вычислениями. Чтобы их использовать, необходима вычислительная техника, осуществляющая расчеты по соответствующим программам. Упрощение аналитических расчетов можно осуществить, если применить к формулам локальную теорему Лапласа. Ее использование позволяет вероятность $\bar{p}_n^{(m)}$ определить через функции

$$\bar{p}_n^{(m)} = \frac{1}{\sqrt{np\bar{p}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{X^2}{2}\right), \quad (10)$$

где $x = \frac{m - n\bar{p}}{\sqrt{np\bar{p}}}$.

Формула (10) носит оценочный характер. Он связан с определением вероятности возможного числа отказов, за рассматриваемый период времени. Период, за который происходят отказы, лежит в пределах от m_1 до m_2 . Вероятность отказов равна

$$\bar{p}_n(m_1, m_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x'}^{x''} \exp\left(-\frac{X^2}{2}\right) dx. \quad (11)$$

Здесь $x' = \frac{m_1 - n\bar{p}}{\sqrt{np\bar{p}}}$; $x'' = \frac{m_2 - n\bar{p}}{\sqrt{np\bar{p}}}$. Для систем электроснабжения промышленных

предприятий период работы составляет десятки лет. В результате можно предполагать, что n достаточно большое число. Если это так, то $X_m^3 / \sigma^4 \rightarrow 0$, где $X_m = m - n\bar{p}$; $\sigma = \sqrt{np\bar{p}}$. Поэтому вероятность того, что число отказов m не окажется больше значения k в соответствии с асимптотической формулой Лапласа будет

$$\bar{p}(m \leq k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \sum_{m=0}^k \exp\left(-\frac{X_k^2}{2\sigma^2}\right). \quad (12)$$

Если представить

$$\frac{X_{k+1} - X_k}{\sigma} = \frac{\Delta X_k}{\sigma},$$

то для больших значений n правую часть выражения (2.42) можно выразить, используя табулированную функцию Лапласа. Для систем электроснабжения она равна

$$\bar{p}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{\theta^2}{2}\right) d\theta. \quad (13)$$

Выражения (11) и (13) равнозначны. Поэтому плотность вероятности длительностей отказов для условия, что на функционирование электрооборудования одновременно действует группа негативных факторов, выразится зависимостью

$$\bar{p}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}\right). \quad (14)$$

Функция (14) представляет гауссовское распределение. Можно предполагать, что выполняется центральная предельная теорема. Согласно которой с увеличением числа слагаемых негативных факторов вид распределения будет приближаться к нормальному закону. Если уменьшается число возмущающих факторов вид распределения длительностей отказов, а соответственно и их частота появления будут меняться. Для подтверждения таких заключений осуществлен теоретический анализ. Его результаты свидетельствует, что одновременному воздействию более пяти возмущающих факторов на электрооборудование соответствует функция распределения длительностей отказов, которая имеет нормальный вид. В случае одновременного действия трех и менее негативных факторов распределение отказов электрооборудования может быть представлено экспоненциальной зависимостью.

Для систем электроснабжения, как показывают результаты экспериментальных исследований, распределения могут подчиняться, экспоненциальному, логарифмически-нормальному, нормально-усеченному, а так же и другим законам (рис. 1).

Обычно на работу электрооборудования одновременно действует несколько возмущающих факторов. Возможно, что каждый из факторов может вызвать отказ электрооборудования. В том случае, когда одновременно действует n возмущающих факторов, то плотность вероятности продолжительности отказов в соответствии с [] будет:

$$\beta_{n,n}(\theta) = \frac{1}{\theta_{n,n}} \exp\left(-\frac{\theta}{\theta_{n,n}}\right).$$

Если возмущающие факторы перекрываются во времени, то при n факторах распределение длительностей перекрывания стремится к экспоненциальному. В то же время, какой бы сложной ни была система электроснабжения предприятия, но количество слагаемых негативных факторов всегда будет значительно меньше значения $n \rightarrow \infty$. Поэтому приходится иметь дело с конечным числом слагаемых негативных факторов. Экспоненциальное распределение является самым простым из рассматриваемых распределений. В результате возникает задача, с какого наименьшего числа перекрываемых во времени негативных факторов распределение отказов по длительности можно принимать за экспоненциальное. Математическое ожидание длительности отказа является величиной постоянной. Следовательно

$$\Psi_{n,n}(\theta) = \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{\theta}{\theta}\right) [1 + R_{n,n}(\theta)]. \quad (15)$$

Здесь

$$R_{n,n}(\theta) = \exp\left(-\frac{\theta}{\theta}\right) \int_0^{\infty} \beta_{n,n}(\theta) d\theta - 1. \quad (16)$$

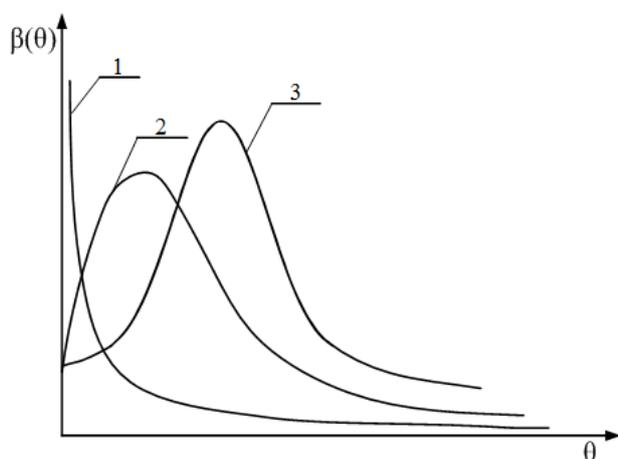
Если учесть зависимость (16), то можно записать выражение

$$R_{n,n}(\bar{\theta}) = \frac{\sum_{i=1}^n 1/\theta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n 1/\theta_i\right)^2}. \quad (17)$$

Независимо от величины математического ожидания отказа для выражения (17) будет справедливо неравенство

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i^2}}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i}\right)^2} \geq \frac{1}{n}. \quad (18)$$

Чем больше число возмущающих негативных факторов, тем меньше правая часть выражения (18). Это приводит к тому, что с большим приближением распределение длительности отказов



электрооборудования, независимо от вида распределений длительности действия негативных факторов, можно принять за экспоненциальное. Для подтверждения правомерности такого утверждения

Рисунок 1 - Возможные виды распределения продолжительностей отказов электрооборудования
 1 – экспоненциальное распределение;
 2 – логарифмически-нормальное распределение;
 3 – усеченно-нормальный вид

поступим следующим образом. Пусть распределения длительностей отказов от негативных возмущающих факторов удовлетворяют функции

$$\beta_i(\theta) = \delta\left(\theta - \frac{n}{a}\right), \quad (19)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $\delta(x)$ - дельта-функция.

После не сложных операций значение зависимости (19) определится в виде

$$\beta_{n,k}(\theta) = \begin{cases} \delta\left(\theta - \frac{1}{a}\right) & \text{при } k = 1; \\ \frac{n-1}{n\theta} \left(1 - \frac{a\theta}{n}\right)^{n-2} & \text{при } n \geq 2. \end{cases} \quad (20)$$

Последнее выражение в значительной степени упрощает проведение анализа, устанавливающего вид распределения длительностей восстановления отказов. Его использование для различного числа перекрываемых во времени возмущающих факторов позволило определить зависимости, характеризующие плотности вероятности длительности отказов электрооборудования. Выявлено, что когда перекрываются четыре и больше негативных фактора, то есть происходит суммирование их по длительности, то зависимости для практических целей могут быть приняты в виде экспоненциального распределения. В качестве критерия использования экспоненциального распределения длительности отказа электрооборудования предлагается условие

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i}}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_i}\right)^2} \leq 0,25 = \frac{1}{n}, \quad (21)$$

где n – число негативных возмущающих факторов, участвующих в отказе.

В системах электроснабжения промышленных предприятий всегда на каждую единицу электрооборудования действуют внешние и внутренние негативные факторы. Их естественно, всегда будет более четырех. Поэтому с учетом установленных выражений выявлено, что независимо от вида соединения электрооборудования в системах электроснабжения в отношении надежности длительности отказов будут подчиняться экспоненциальному распределению. В самом деле, это не может гарантировать в полной мере, что распределение длительностей отказов не будет подчиняться другим законам распределения. На основании статистических данных и результатов анализа литературных источников установлено, что так же возможны такие распределения как, усечено-нормальное или логарифмически-нормальное. Выявлено, что закон распределения отказов зависит от квалификации обслуживающего персонала предприятия. Когда квалификация персонала высокая, то закон распределения, как правило, экспоненциальный, а при низкой квалификации - усечено-нормальный.

Чтобы показать различие однотипных параметров, характеризующих отказы электрооборудования, то в качестве иллюстрации для экспоненциального, логарифмически-нормального и усечено-нормального законов распределения продолжительностей отказов построены графики (рис.2 - рис.5). Графики представлены в относительных единицах. При построении графиков учитывалось, что вероятность, отказа для электрического оборудования лежит в пределах $\bar{p} \approx (0,2 - 0,9)10^{-6}$, а вероятность работы соответственно была равна $p \approx 0,9999998 - p \approx 0,9999991$. В этом случае наработка на отказ электрооборудования составляет порядка 10^6 часов, в то время как, продолжительность восстановления отказов – часы. Необходимо отметить, что функция распределения плотности вероятности для экспоненциального распределения отказов характеризуется только одним параметром временем восстановления, при логарифмически-нормальном

распределении отказов необходимо учитывать уже два параметра, кроме времени восстановления, также и среднеквадратическое отклонение, а в случае усечено-нормального распределения таких параметров три.

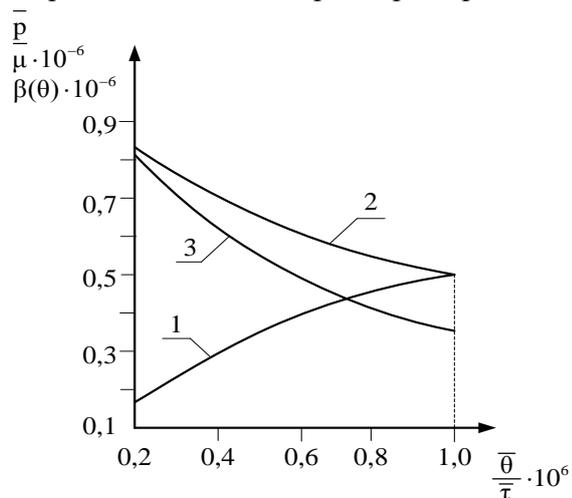


Рисунок 2 - Изменение параметров отказов электрооборудования при экспоненциальном распределении времени восстановления

1 – вероятность отказа; 2 – частота;
3 – плотность вероятности распределения времени восстановления

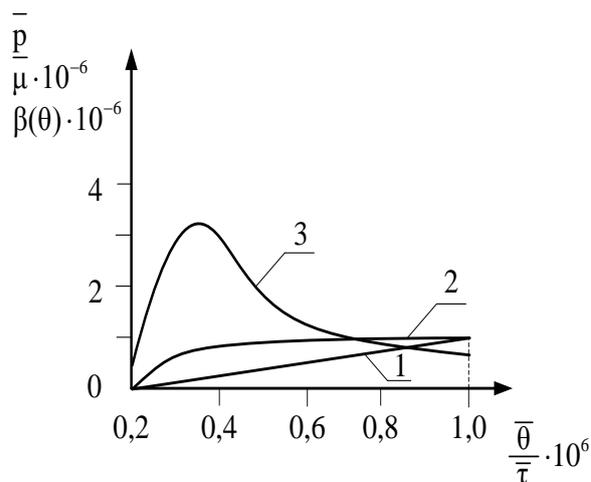


Рисунок 3 - Изменение параметров отказов электрооборудования при логарифмически-нормальном распределении времени восстановления, для $\sigma = 0,5$

1 – вероятность отказа; 2 – частота;
3 – плотность вероятности распределения времени восстановления

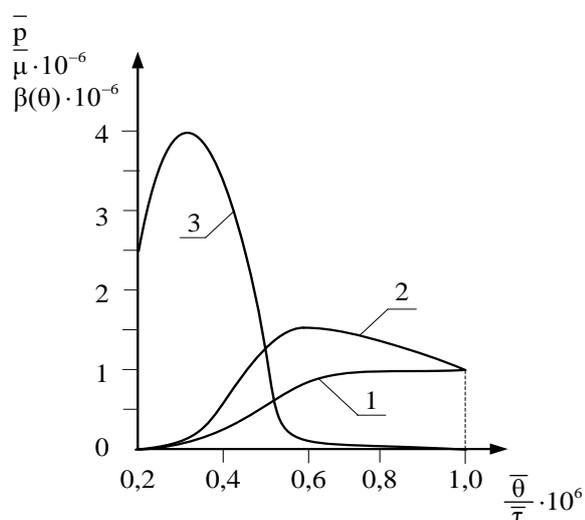


Рисунок 4 - Изменение параметров отказов электрооборудования при усечено-нормальном распределении времени восстановления для $\sigma = 0,1$; $\gamma = 0,3$:

1 – вероятность отказа; 2 – частота;
3 – плотность вероятности распределения времени восстановления

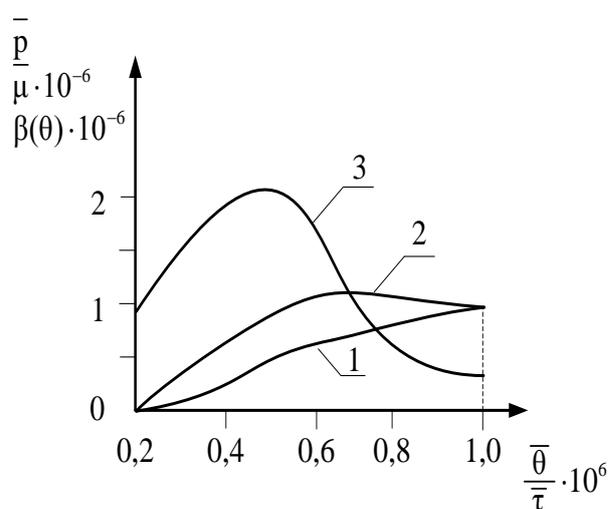


Рисунок 5 - Изменение параметров отказов электрооборудования при усечено-нормальном распределении времени восстановления для $\sigma = 0,2$; $\gamma = 0,5$:

1 – вероятность отказа; 2 – частота;
3 – плотность вероятности распределения времени восстановления

Для усеченно-нормального закона распределения времени восстановления отказов следует учитывать, кроме математического ожидания и среднего квадратического отклонения, еще и нормирующий множитель. Вероятностные параметры времени восстановления отказов для логарифмически-нормального и усечено-нормального

распределений зависят не от одного значения, а это усложняет расчеты.

Графически, когда закон распределения экспоненциальный, то на координатной плоскости изображается кривая. В случае логарифмически-нормального распределения каждый параметр, характеризующий время восстановления, будет отображаться отдельной поверхностью. Для усеченно-нормального распределения, имеется уже количество поверхностей даже для одного параметра. Оно определяется числом используемых нормирующих множителей.

Список литературы

1. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Влияние резонанса напряжения высших гармоник на функционирование оборудования. Система управления электротехническими объектами. Всероссийская научно-техническая конференция. 25-26 мая. Тула. 2000 г.
2. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Оценка эффективности безотказности систем // Вести вузов Черноземья. 2013. №1. С. 25-33
3. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Бош В.И. Случайные импульсные потоки // Елецк-Липецк. 2004. 292 с.
4. Benghanem, M. Technique of Harmonics Elimination Method Applied to an N.P.C. Topology Three Level Inverter [Text] / M. Benghanem, A. Draou, A. Tahri // International Conference on Communication, Computer & Power (ICCCP), Muscat Sultanate of Oman, – 2001.
5. Mazari, B. Fuzzy Hysteresis Control and Parameter Optimization of a Shunt Active Power Filter [Text] / B. Mazari, F. Mekri // Journal of information science and engineering. – 2005. – №21. – P.1139-1156.
6. Bose, B.K. An adaptive hysteresis-band current control technique of a voltage fed PWM inverter for machine drive system [Text] / B.K. Bose // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1990. – №37. – P.402-408.
7. Abdeslam, D.O. Neural Approach for the Control of an Active Power Filter [Text] / D.O. Abdeslam, P. Wira, J. A. Mercle // 5th international Power Electronics Conference (IPEC2005). – 2005.
8. Bansal, R.C. Artificial Intelligence Techniques for Reactive Power/ Voltage Control in Power Systems: A Review [Text] / R.C. Bansal, T.S. Bhatti, D.P. Kothari // International Journal of Power and Energy Systems. – 2003. – №23. – P.81-89.
9. Stacey, E.J. Hybrid power filters [Text] / E.J. Stacey // IEEE IAS, Annu meet. – 1977. – P.1133-1140.

Шпиганович Александр Николаевич - д-р техн. наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета.

Шпиганович Алла Александровна - канд. техн. наук, доцент кафедры экономики Липецкого государственного технического университета.

Шарапов Николай Андреевич - аспирант кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета; e-mail: kaf-eo@stu. lipetsk. ru; 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30.

УДК 621.316.727

ОБОСНОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РМ

Жилин Б.В.

Россия, г. Новомосковск, НИ РХТУ им. Менделеева

Логачев Н.А.

Россия, г. Тула, Тульский ГУ

В данной статье рассмотрены проблемы индивидуальной компенсации реактивной мощности и выведены универсальные уравнения. В результате анализа, авторы определили пределы пограничного коэффициента включения.

Ключевые слова: компенсирующее устройство; конденсаторная батарея; реактивная мощность; распределительный пункт; электроприемник; электроэнергия.

По месту установки используются три основных вида компенсации реактивной мощности (РМ) в сетях до 1 кВ /1/:

1. индивидуальная компенсация РМ - предусматривает подключение к электроприемнику (ЭП) конденсаторной батареи (КБ), предпочтительна там, где требуется компенсация мощных (как правило, свыше 40 кВт) ЭП;

2. групповая компенсация РМ применяется для случая компенсации нескольких расположенных рядом приемников реактивной мощности, подключенных к одному распределительному пункту (РП), групповому щитку питания и компенсируемых одной конденсаторной установкой (КУ);

3. централизованная компенсация РМ - на шинах распределительного устройства низшего напряжения цеховой трансформаторной подстанции.

В этих случаях действуют два противоположных фактора, определяющие потери электроэнергии (ЭЭ): с одной стороны установка индивидуальной компенсации РМ позволяет максимально снизить потери ЭЭ в цепи питания ЭП, включая линию между ЭП и РП. С другой стороны, если по требованиям технологии отключается ЭП, то и КУ должна отключаться, так как перекомпенсация РМ запрещена в любом режиме, поэтому индивидуальная компенсация РМ предусматривает включение КБ под один коммутационный аппарат с ЭП. Т.е. ЭП работает не постоянно, коэффициент включения $K_B < 1$, и КУ будет включено также не постоянно и, соответственно, в периоды отключения не будет компенсировать РМ и уменьшать потери ЭЭ. Этот эффект отсутствует при использовании централизованной и групповой компенсации РМ, где КУ не отключается и конденсаторная мощность используется более полно. Однако при этом присутствуют потери ЭЭ в линии к отдельному ЭП от некомпенсированной реактивной мощности ЭП.

Таким образом, задача свелась к сравнению экономии ЭЭ при индивидуальной и групповой компенсации РМ, учитывая, что при индивидуальной компенсации РМ продолжительность подключения установки к сети определяется K_B .

С этой целью получено «пограничное» выражение: если результат расчета по нему больше единицы, то целесообразна индивидуальная компенсация РМ, если меньше единицы, то - централизованная, а при равенстве единице - варианты равноэкономичны:

$$(Q_K \cdot (R_C + K_B \cdot (R_{KL} - R_C))) / (2 \cdot Q_{RP} \cdot R_C \cdot (1 - K_B)) = 1 \quad (1)$$

где Q_K - мощность КБ при индивидуальной компенсации, квар; R_C - сопротивление системы от группового щитка питания до источника ЭЭ, Ом; R_{KL} - сопротивление от ЭП до группового щитка питания, Ом; Q_{RP} - реактивная мощность нагрузки распределительного пункта, квар.

Из выражения (1) легко получить пограничные значения K_B , при котором потери будут равны:

$$K_B = (R_C (2 \cdot Q_{RP} - Q_K)) / (Q_K \cdot (R_{KL} - R_C) + 2 \cdot Q_{RP} \cdot R_C) \quad (2)$$

Расчёты показали, что пограничный коэффициент включения существенно зависит от параметров участка сети, к которому подключается конденсаторная установка: активное сопротивление линии к ЭП, некомпенсированная РМ на РП, а также от соотношения мощностей КУ и РМ группового щитка питания.

Пограничные условия: если ЭП подключен постоянно ($K_B=1$), то однозначно целесообразно применение индивидуальной компенсации РМ, т.к. КБ включена все время. А если ЭП включается очень редко, например, раз в неделю ($K_B \approx 0$), то практически нет снижения потерь в линии к ЭП, а КБ все время отключена. Соответственно, если фактический K_B будет выше пограничного значения (2), то целесообразно применение индивидуальной компенсации РМ, и наоборот, если ниже, то целесообразна групповая компенсация РМ, то есть подключение КУ к РП.

Заметим, что хотя групповая и централизованная компенсация РМ требует применения регулируемых КУ, а включение КБ при индивидуальной компенсации РМ – практически не требует затрат, кроме собственно на КБ, уточним ситуацию так, чтобы в сравнении не участвовали капитальные затраты. Полагаем, что независимо от того, применяется индивидуальная компенсация РМ для отдельного ЭП или нет, к групповому щитку питания все равно подключено КУ, для компенсации РМ других ЭП, получающих питание от этого щитка. И перенос мощности КБ от ЭП (индивидуальная компенсация РМ) в групповую компенсацию РМ ведет просто к увеличению мощности КУ, не добавляя капитальных затрат на коммутирующую и токопроводящую аппаратуру. Другими словами, можно приобрести КБ для индивидуальной компенсации РМ, либо эту же мощность подключить к существующей КУ групповой компенсации РМ. Такой подход позволяет уйти от учета стоимости КБ и КУ, и решить поставленную задачу в принципе, опираясь только на сравнение потерь ЭЭ.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что при реальном соотношении параметров рассматриваемого участка сети и мощности РМ нагрузки, при учете активного сопротивления системы от источника ЭЭ до РП, пограничный коэффициент находится в пределах от 0,4 до 1,0.

Список литературы

1. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие : учебное пособие / Матюнина Ю.В., Кудрин Б.И., Жилин Б.В. – Электрон. дан. – М. : Издательский дом МЭИ, 2013. – 412 с.

Жилин Борис Владимирович – д-р техн. наук, профессор, НИ РХТУ, зав. каф. ЭПП, эл. почта: glnbv@bk.ru, телефон: 8-48762-613-24

Логачев Никита Аркадьевич – магистрант каф. ЭиЭО, ТулГУ, эл. почта: logachev1994@yandex.ru, телефон: 8-910-555-53-00

THE RATIONALE FOR INDIVIDUAL COMPENSATION OF REACTIVE POWER

Zhilin B.V.

Russia, Novomoskovsk, NU RCTU named after Mendeleev

Logachev N.A.

Russia, Tula, TGU

This article discusses the issue of individual compensation of reactive power and derived a universal equation. As a result of analysis, the author determined the extent of the border coefficient.

Bibliography

1. Electricity supply and modes: tutorial : tutorial / Y. V. Matyunina, Kudrin B. I., Zhilin, B. V., Electron. Dan. – М. : Publishing house MEI, 2013. – 412 p.

Zhilin Boris Vladimirovich, doctor of technical science, professor, manager of department, glnbv@mail.ru, Russia, Novomoskovsk, The Novomoskovsk Institute (subdivision) of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University email: glnbv@mail.ru phone: 8-48762-613-24

Logachev Nikita Arkadievich, - undergraduate Department of electrical engineering and electrical equipment TulGU, al. email: logachev1994@yandex.ru phone: 8-910-555-53-00

СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ

Руководитель:

Кувалдин Александр Борисович – доктор технических наук, академик АЭН РФ, профессор кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы», НИУ «МЭИ», г. Москва

УДК 621.31: 658

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ СВЕТЛЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Птицына Е.В., Птицын Д.В.

Россия, г. Омск, ОмГТУ

Кувалдин А.Б.

Россия, г. Москва, МЭИ (НИУ)

Кислов А.П.

Казахстан, г. Павлодар, ПГУ им. С. Торайгырова

Исследованы температурные поля светлых инфракрасных излучателей при регулировании напряжения для различных схемотехнических решений источников питания

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

Investigated the temperature field of infrared light emitters for regulation of the voltage for different circuit design of power supplies

Keywords: infrared emitter, the electric mode, energy efficiency, the current complex shape, power source

В [1-3] доказана возможность повышения эффективности инфракрасных (ИК) излучателей. Выполнены исследования спектров излучения и интегральных характеристик (освещенности, светового потока, цветовой температуры и др.) светлых и темных инфракрасных излучателей в сравнении обычного с питанием переменным током частотой 50 Гц и нового с питанием током сложной формы без постоянной составляющей (ТСФ) электрических режимов. В данной работе излагаются результаты тепловизионных исследований температурных полей инфракрасных излучателей и градиентов изменения температуры для различных схем источников питания (ИП): первый вариант – использование ЛАТРа типа SUNTEK, 2000 ВА, 0-300 В (питание переменным током частотой 50 Гц) и светлый ИК-излучатель; второй вариант ИП - однофазный трансформатор, неуправляемый мостовой выпрямитель (реализует питание излучателя постоянным (выпрямленным) током. Обе схемы позволяют регулировать амплитуду питающего напряжения.

Целью работы являются тепловизионные исследования температурных полей (градиентов температуры) светлых ИК-излучателей при изменении параметров электрических режимов: амплитуды питающего напряжения и его формы (синусоидальный и постоянный выпрямленный)).

В качестве объекта исследования выбран светлый ИК-излучатель (мощность 40 Вт), номинальное напряжение 12,0 В.

Для исследования температурных полей светлого 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 полесветлого ИК-излучателя при различных значениях амплитуды питающего напряжения. Диапазон изменения напряжения в эксперименте от 0 до 12 В. Исследования выполнены для указанных выше схем источников питания при следующих настройках: дистанции от исследуемого объекта до прибора—фиксированная; температура воздуха $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 светлого ИК-излучателя и бесконтактно измерял температуру его поверхности, то есть пересчитывал мощность излучения в температуру поверхности излучателя.

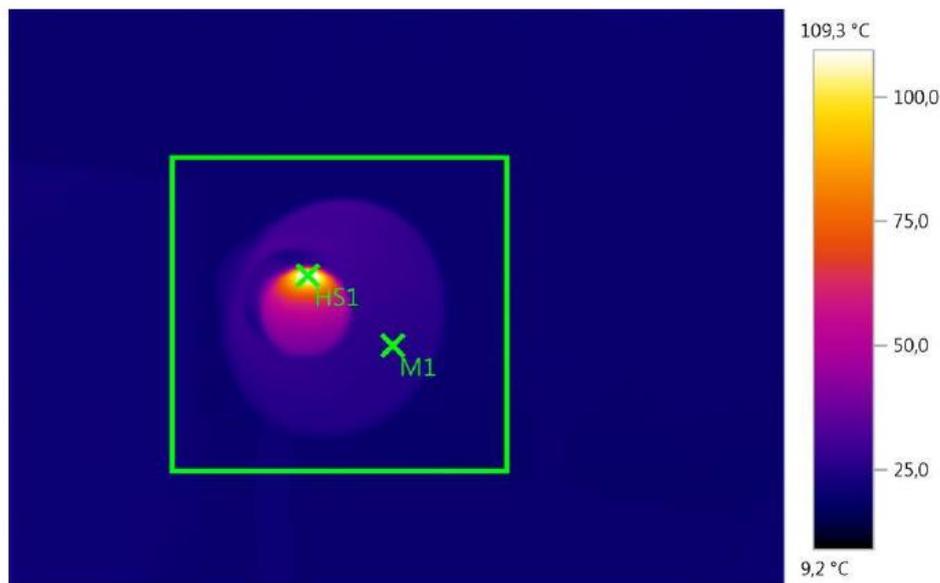


Рисунок 1- Тепловизионный снимок поверхности светлого ИК-излучателя при напряжении 5,5 В и токе 2,0 А. Точка HS1 – 116°С

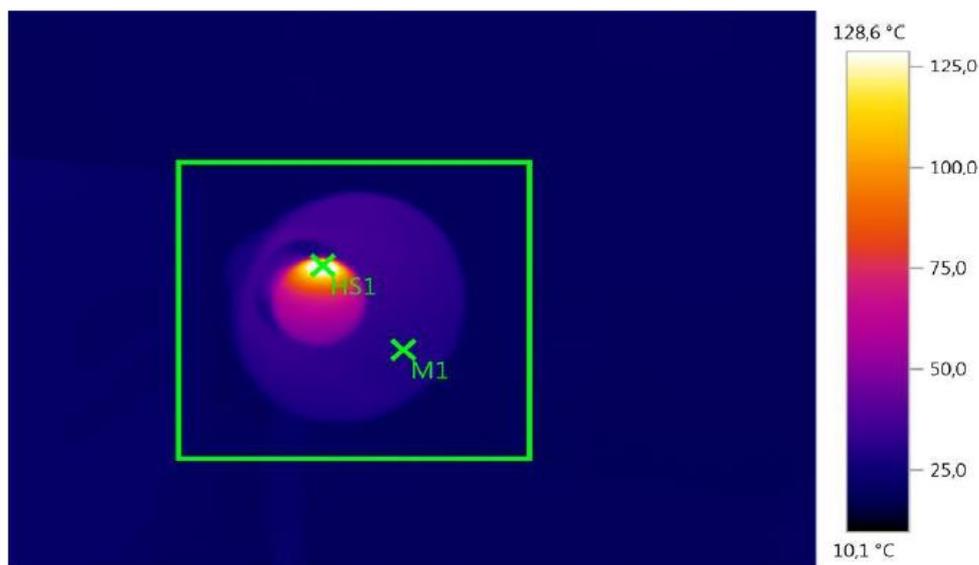


Рисунок 2 - Тепловизионный снимок поверхности светлого ИК-излучателя при напряжении 8,0 В и токе 2,5 А. Точка HS1 – 142°С

На рисунках 1-3 представлены окна радиометрических термограмм (тепловизионные снимки) поверхностисветлого ИК-излучателя при питании постоянным током. Эксперименты представлены для эффективных значений напряжения 5, 8 и 11 В. Согласно представленным окнам радиометрических термограмм, амплитуда температура светлого ИК-излучателя зависит от амплитуды напряжения, что проявляется в увеличении интенсивности его излучения.

На рисунке 4 показан характер подъема температуры светлого ИК-излучателя при значениях напряжения 11,0 В и тока 2,8 А для двух исследуемых режимов (на переменном и постоянном токах).

Экспериментально подтверждено, градиент изменения температуры и её установившееся значение на поверхности светлого ИК-излучателя обусловлено действующим значением напряжения ИП. Так, с увеличением напряжения с 5,50 до 11,0 В (соответственно, тока от 2,0 до 2,8 А) установившееся значение температуры составило 115 и 169 °С соответственно. В сравниваемых режимах (в обычном, при питании переменным током, и новом, при питании постоянным током) снижение электропотребления не достигнуто.

В работах [4-6] исследовано изменение градиентов температуры темных ИК керамических излучателей «НОМАКОН» типа ИКН-203-0,1/230-2 мощностью 100 Вт с плоской излучающей поверхностью 60x60 мм в сравнении четырех электрических режимов: при питании переменным током частотой 50 Гц; постоянным током; ТСФ с постоянной составляющей и без нее (см. табл. 1) [4-6]. В обычном режиме питание излучателя осуществлялось от однофазного трансформатора 220/110 В с переключением ступеней напряжения без возбуждения. Во втором режиме дополнительно использовался выпрямительный блок, собранный по мостовой схеме выпрямления. В третьем режиме, для регулирования формы питающего напряжения, предусматривался дроссель, а в четвертом режиме в схеме источника питания не подключался выпрямительный блок. В первом режиме активная, реактивная, полная мощности и коэффициент мощности составили соответственно: 0,041 кВт, 0,096 квар, 0,105 кВА и 0,4 (напряжение на излучателе было равно 115 В). Во втором режиме активная, реактивная, полная мощности и коэффициент мощности составили соответственно: 0,040 кВт, 0,093 квар, 0,101 кВА и 0,40 (напряжение на излучателе - 115 В). Во третьем режиме активная, реактивная, полная мощности и коэффициент мощности были равны: 0,029 кВт, 0,017 квар, 0,034 кВА и 0,853 (напряжение на излучателе - 115 В). Во режиме с питанием ТСФ без постоянной составляющей активная, реактивная, полная мощности и коэффициент мощности составили: 0,030 кВт, 0,007 квар, 0,031 кВА и 0,967 (напряжение на излучателе - 115 В).

Сравнительный анализ электрических режимов показал, что регулирование формы напряжения обеспечивает при той же скорости подъема температуры повышение значения коэффициента мощности и снижение мощности, потребляемой из сети, в установках с темными ИК-излучателями. Это указывает на влияние электромагнитной составляющей на процессы в темном излучателе.

Эффекты в светлых излучателях для исследуемых электрических режимов даны в таблице 2.

Экспериментально установлено, что коэффициент мощности и потребляемая из сети мощность в сравниваемых режимах соответственно были равны: $\cos\varphi$ 0,44, 0,44, 0,95, 0,96; S_0 102, 0,110, 0,035, 0,037 кВА. В режиме с питанием ТСФ без постоянной составляющей отмечено увеличение числа фотонов с поверхности диффузора за счет увеличения подвижности заряженных частиц под воздействием электромагнитной составляющей при регулировании формы тока (напряжения) при том же значении цветовой температуры.

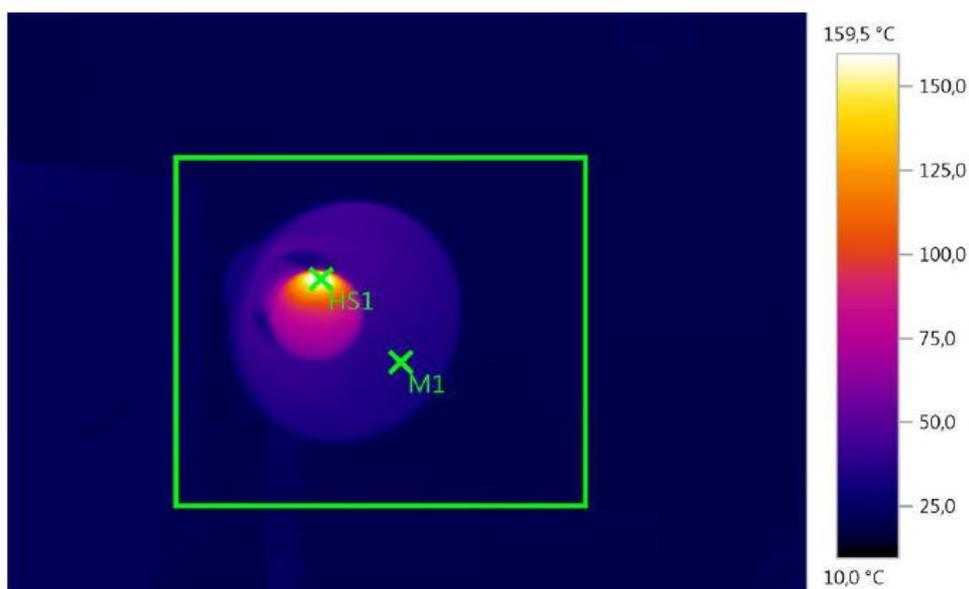
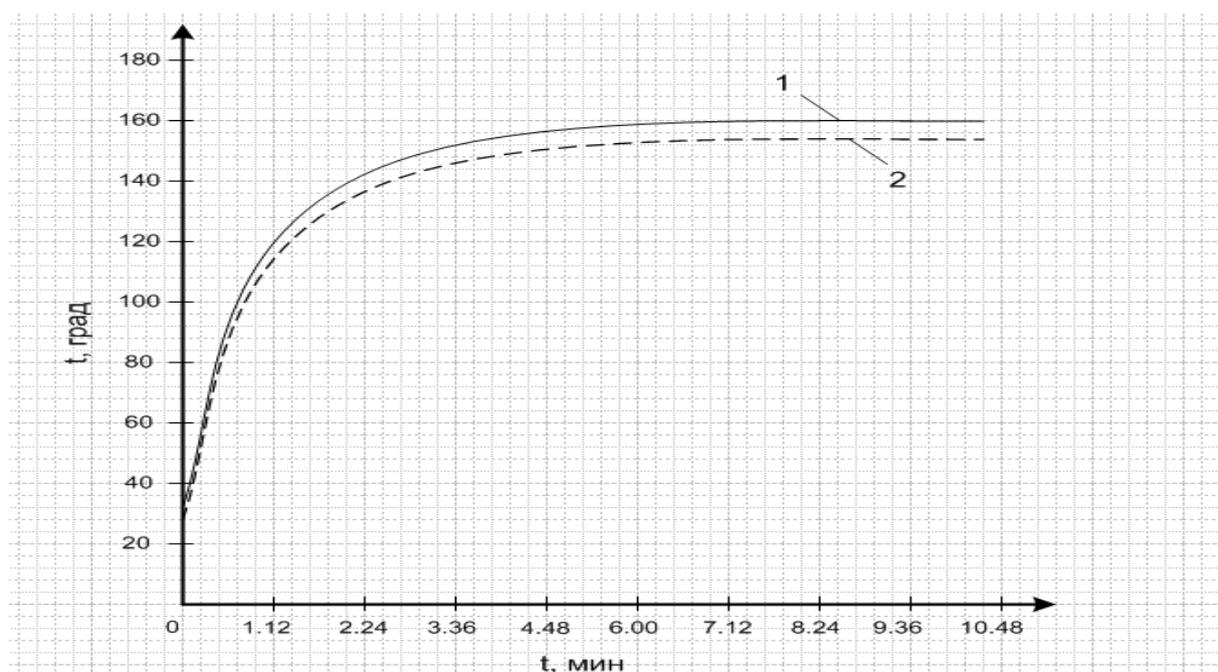


Рисунок 3 - Тепловизионный снимок поверхности светлого ИК-излучателя при напряжении 11,0 В и токе 2,8 А. Точка HS1 – 169°C



**Рисунок 4 - Скорость подъема температуры в светлом ИК- излучателе при напряжении питания 110 В и токе 2,8 А
1-первый вариант ИП, 2 – второй вариант ИП**

Следовательно, необходимость регулирования формы питающего напряжения (тока) обусловлена тем, что электромагнитная составляющая наряду с температурной влияет на подвижность заряженных частиц, что повышает эффективность процессов в установках с темными и светлыми ИК-излучателями [4-6].

Таблица 1 – Скорость изменения температуры на поверхности темного ИК-излучателя в различных электрических режимах

Обычный режим Синусоидальный ток 50 Гц		Новый режим Выпрямленный (постоянный) ток	
Время, мин	Температура, °С	Время, мин	Температура, °С
0	25	0	25
1	41	1	45
2	55	2	65
3	75	3	84
4	90	4	99
5	105	5	113
6	120	6	124
7	127	7	133
8	136	8	141
9	144	9	147
10	151	10	153
Новый режим ТСФ с постоянной составляющей		Новый режим ТСФ без постоянной составляющей	
Время, мин	Температура, °С	Время, мин	Температура, °С
0	25	0	25
1	41	1	49
2	57	2	67
3	78	3	82
4	90	4	98
5	104	5	111
6	116	6	123
7	126	7	131
8	135	8	140
9	142	9	147
10	149	10	153

Таблица 2 - Показатели работы светлых ИК-излучателей мощностью 100 Вт в различных электрических режимах (напряжение на излучателе 115 В)

Обычный режим Синусоидальный ток 50 Гц		Новый режим Выпрямленный (постоянный) ток	
Число фотонов на поверхности диффузора, μMol	Цветовая температура, °К	Число фотонов на поверхности диффузора, μMol	Цветовая температура, °К
9,57 – 9,679e-4	1736,3	9,69 – 9,785e-4	1729,4
Новый режим ТСФ с постоянной составляющей		Новый режим ТСФ без постоянной составляющей	
Число фотонов на поверхности диффузора, μMol	Цветовая температура, °К	Число фотонов на поверхности диффузора, μMol	Цветовая температура, °К
6,792 – 7,208e-4	1710,6	1,069 -1,105e-3	1737,9

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. Экспериментальное определение влияния формы тока на характеристики излучателей [Текст] / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // *Энерго- и ресурсосбережение XXI век: сборник матер. IX – ой Международной научно-практической интернет-конференции, март-июнь*. – Орёл, 2011. –С. 163-165.
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 «ВГЛТУ», 2015. № 8 часть 2 (19-2). – С. 344-348. (Сборник включен в РИНЦ. Сборник реферируется в ВИНТИ РАН. Включен в «Ulrich'sPeriodicaldirectory»).
6. <http://homacoh.ru/production/izluchateli-infrokrasnie/own/> Официальный сайт фирмы «Номакон» (дата обращения 01.02.2016 г.).

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 – инженер института территориального планирования «Град».

Кислов Александр Петрович – канд. техн. наук, профессор, декан энергетического факультета Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова (ПГУ), тел. 8 (7182) 67-36-74.

УДК: 631.17

РАЗРАБОТКА СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН И СУШКИ ШИШЕК ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ

Шахматов С.Н., Горелов М.В., Баранова М.П., Иванов А.Н.

Российская Федерация, г. Красноярск, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Изготовленная в заводских условиях экспериментальная лабораторная установка СВЧ-модуль, в единичном экземпляре, подверглась контрольным и лабораторным испытаниям по воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты на всхожесть семян сосны. В процессе лабораторных испытаний были оптимизированы параметры обработки (время и СВЧ мощность нагрева семян). Ключевые слова: СВЧ-установка, магнитное поле сверхвысокой частоты, мощность СВЧ-поля, экспериментальная установка, частота, семена хвойных пород, предпосевная обработка, микроэлементы, сушка шишек.

Ключевые слова: СВЧ-установка, магнитное поле сверхвысокой частоты, мощность СВЧ-поля, экспериментальная установка, частота, семена хвойных пород, предпосевная обработка, микроэлементы, сушка шишек.

В Российской Федерации Красноярский край является одним из ведущих лесных регионов. Площадь лесов составляет 20,3 % от общего лесного фонда страны – это 164 млн га, с преобладанием деревьев хвойных пород (около 83 %). Главными лесообразующими породами являются лиственница (43,7 млн га), береза (15,3 млн га), сосна (13,5 млн га), кедр (9,7 млн га). Регион обладает крупнейшими в стране лесосырьевыми ресурсами, которые составляют 14,5 % общероссийского запаса леса, или 6% мировых запасов.

В Красноярском крае интенсивно проводятся вырубки основных лесообразующих пород региона, что ведет к освобождению огромных площадей, на которых требуется проведение лесовосстановительных работ.

Одним из важнейших условий получения здоровых семян является предпосевная обработка семян, позволяющая защитить молодое растение от болезней и ускорить его рост. В настоящее время самым распространенным методом является протравливание семян химическими пестицидами. Но в свете экологических проблем необходим поиск методов, не оказывающих пагубного влияния на среду и на само растение.

Среди альтернативных методов предпосевной обработки семян, наиболее перспективной является обработка в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (далее ЭМП СВЧ), объединяющая тепловые и электрические процессы. Успешно применяется ЭМП СВЧ непрерывного генерирования для обеззараживания предварительно увлажненных семян зерновых культур от поверхностной инфекции.

Если использовать метод ЭМП СВЧ для обработки семян хвойных деревьев то данная система значительно сократит продолжительность технологического процесса при обеззараживании, стерилизации и сушке шишек. Данная технология позволяет снизить металлоёмкость на 10 – 15%, уменьшить удельный расход энергии на 25 – 40 % и исключить применение ядохимикатов и пестицидов на этапе предпосевной обработки, увеличить энергию прорастания и приживаемость на 10 – 20 % (по сравнению с обработкой химическими средствами и микроэлементами).

Целью работы является разработка комплексной системы экологически чистого электрофизического воздействия на семена хвойных пород деревьев при предпосевной обработке, которая позволит значительно сократить продолжительность технологического процесса путём обеззараживания семян.

Объектом исследования являлись процессы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на посевные качества семян хвойных пород деревьев. [4]

Результаты работы: В процессе работы были разработаны техническое задание, технические условия и комплект рабоче-конструкторской документации на изготовление экспериментальной установки СВЧ-модуля для предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев.

На ФГУП «Красноярский опытный завод Россельхозакадемии» была изготовлена экспериментальная лабораторная установка СВЧ-модуль, со следующими техническими параметрами: Габаритные размеры СВЧ-модуля в собранном виде не более: высота-1600 мм., ширина 500 мм., длина 1800 мм; установленная мощность СВЧ модуля должна составлять 3,0 кВт; -установка должна обеспечивать регулирование мощности по 10% по возрастанию и убыванию мощности от 0,3 кВт до 3 кВт; производительность экспериментальной установки СВЧ-модуля в составе технологической линии для предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев во всех режимах работы (кроме сушки) должна составить 0,055... 0,35 т/ч

При предпосевной обработке семян хвойных пород деревьев на экспериментальной установке СВЧ-модуля, входящего в состав технологической линии, увеличивается энергия прорастания и всхожесть семян, и приживаемость всходов: -увеличение всхожести семян до 92...95%; -100 % обеззараживание поверхности семян; при предпосевной обработке семян их нагрев их до температуры 36-65 °С в зависимости от технологического процесса осуществляется за время 120-280 с. (рис. 1) [2,3].

Установка подверглась контрольным и лабораторным испытаниям по воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты на всхожесть семян сосны, оптимизированы параметры установки (время и мощность нагрева).

Для проведения исследований по определению эффективных режимов предпосевной обработки семян была разработана блок схема технологического процесса (рис. 2).



Вид спереди



Вид сбоку

Рисунок 1 - Внешний вид экспериментальной установки СВЧ-модуль для проведения предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев

Для данной блок схемы было выбрано соответствующее технологическое и нестандартное оборудование, позволяющее определять параметры, которые необходимо измерять и контролировать с заданной точностью.

Экспериментальные модельные исследования были проведены с учетом правил моделирования. Все проводимые эксперименты проходили в следующей последовательности. Предварительно все семена замачивались в растворе микроэлементов в течении 20-30 мин.: сернокислого цинка (0,02 %), сернокислого кобальта (0,05 %), сернокислой меди (0,03 %), марганцовокислого калия (0,002 %) или смесью из марганцовокислого калия, борной кислоты, сернокислых меди, цинка и кобальта (по 0,002 % каждого). Затем семена разделяли на равные партии (по 100 шт.), которые последовательно обрабатывались в камере СВЧ-модуля. При проведении экспериментальных исследований был включен 1 магнетрон из 3 на выходе из рабочей камеры.

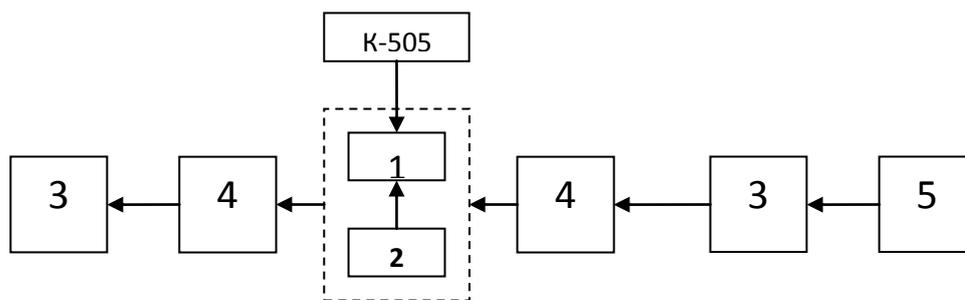


Рисунок 2 – Блок-схема проведения эксперимента

1-СВЧ -модуль с регулируемым параметром мощности; 2-регулятор мощности; 3- влагомер «Фауна-М»; 4-термогигрометр «CENTER 310»; 5-увлажнитель

Далее устанавливали максимальные параметры мощности (1кВт) и времени (180 с). Затем, согласно плана Бокса В-2 [5] изменяли параметры обработки (мощность шагом 30%, время 60 с). После каждого режима измеряли температуру (t^0) обработанных семян. Для измерения температуры семян использовался термогигрометр CENTER 310. Термопара ХК, измеряла температуру семян начальную на входе в рабочую камеру и на выходе из рабочей ёмкости камеры. Влажность семян на входе определяли по прибору влагомер «Фауна-М».

Для изменения потребляемой мощности, тока и напряжения на входе силового трансформатора использовали измерительный комплекс К-505. Для изменения выходного

напряжения от силового трансформатора в пределах (0,4-0,7-1) U_n применяли трехрежимный трехфазный переключатель.

В результате четырехкратно проведенных исследований были получены соответствующие экспериментальные данные (таблица 1.).

Зависимость качественных показателей семян от температурного воздействия имеет нелинейный характер.

$$y_1 = 36,75 + 3,29 \cdot x_1 + 2,71 \cdot x_2 + 0,67 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Таблица 1 - Полученные экспериментальные данные

№	X ₁	X ₂	Y _i			Y _u ср
			Y _{i1}	Y _{i2}	Y _{i3}	
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	42,7	43,3	43	43
2	-1	1	33,4	35,3	34,2	34,3
3	1	-1	34,5	36,8	35,2	35,5
4	-1	-1	28,9	30,1	29,4	29,47
5	1	0	38,4	37,7	38,1	38,067
6	-1	0	32,9	34,4	31,8	33,033
7	0	1	38,7	39,1	38,4	38,733
8	0	-1	35,1	34,5	34,8	34,8

Предварительными исследованиями установлено, что на обработку семян оказывают влияние следующие факторы:

Мощность (x_1) — от 400 до 1000 Вт; экспозиция τ (x_2) — от 60 до 180 с;

Для выявления оптимальных параметров предпосевной обработки был выбран план Бокса В-2 [1]. Условия обработки по восьми режимам (кодированные) приведены в столбцах 2 и 3 таблицы 1., в столбцах 4, 5, 6 - результаты обработки Y_i с трехкратной повторностью каждого режима.

Методика активного планирования технологического эксперимента позволила получить уравнение регрессии, связывающее режимы воздействия на семена и показатели эффективности. Реализация матрицы плана Бокса позволила получить уравнения регрессии по данным исследования проведенных в лабораторных условиях.

Анализируя проведенные эксперименты (табл. 2.), можно сделать вывод, что опыты, имеющие жесткие режимы (максимальную мощность 1 кВт и максимальное время нагрева 3 мин.) губительно влияют на семена, температура их нагрева достигла 42-43°C (рис. 3), семена при этом частично сгорают, всхожесть составляет в среднем 81 % (рис. 4).

Понизив мощность обработки до минимума, а время оставив на прежнем уровне получаем температуру нагрева семян 33-35°C (рис. 4.). При такой температуре всхожесть составляет в среднем 92 - 95 %. Можно предположить, что этот режим является наиболее оптимальным. Изучение реакции на воздействие различных режимов ЭМП СВЧ является экспериментальной основой для оценки этих режимов. В результате такого исследования выявилась полная картина всех эффектов (рис. 4). Представилась возможность сравнить значения температуры нагрева массы семян, при которых эти эффекты возникают, установить границы положительного эффекта. Все эти сведения необходимы для первичной оценки состояния всходов и их скорости появления в производственных условиях. Реализация матрицы плана позволила получить адекватные уравнения регрессии по лабораторной всхожести семян. Сопоставляя уравнения и графики зависимости по температуре и всхожести, отмечаем, что всхожесть находится в прямой зависимости от температуры.

Режимы, создающие температуру выше 40 °С являются жесткими и сама температура губительна для семян. Однако ожидать эффект стимуляции или угнетения, ориентируясь только на температуру нагрева нельзя. Анализируя поверхность отклика, зависимости лабораторной всхожести от параметров СВЧ обработки, констатируем, что оптимальным режимом является режим с минимальным уровнем мощности 400 Вт и максимальным временем 3 мин. Жесткий режим является губительным для семян. Сравнивая данные полученные после обработки семян энергией ЭМП СВЧ с результатами рентгенографии, можно сделать вывод, что всхожесть семян увеличилась с 78,9 % до 92 %. [5].

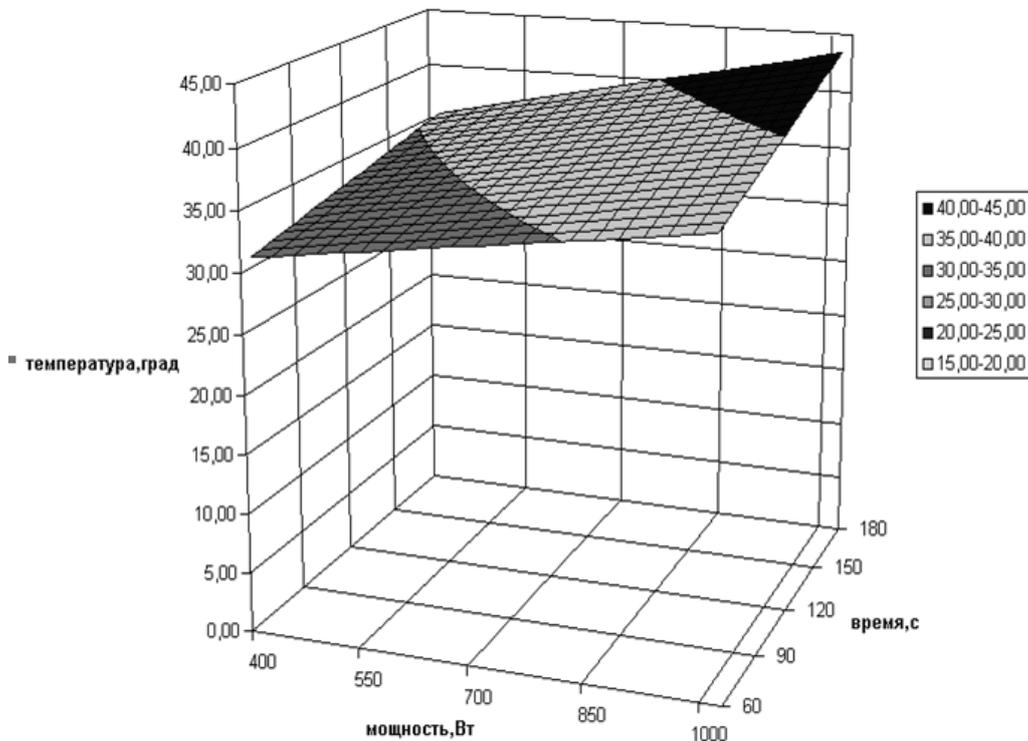


Рисунок 3 – Зависимость мощности, температуры и времени нагрева семян

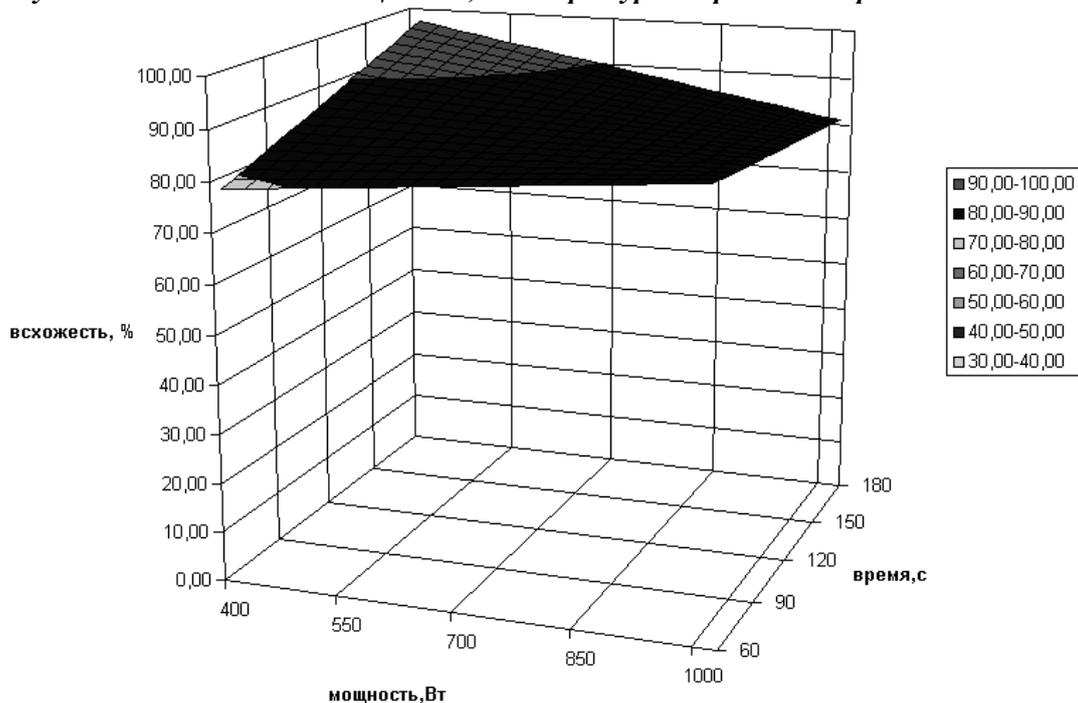


Рисунок 4 - Влияние параметров СВЧ – обработки на всхожесть семян

Показатели энергии прорастания и всхожести семян сосны приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Вариант	Мощность, Р, Вт.	Экспозиция, сек.	Средняя температура семян после обработки, °С	Лабораторная всхожесть					
				Кол-во взошедших семян	% всхожести	Кол-во взошедших семян	% всхожести	Кол-во взошедших семян	% всхожести
1	1000	180	43	85	85	82	82	77	77
2	400	180	34,3	98	98	97	97	97	97
3	1000	60	35,5	87	87	92	92	88	88
4	400	60	29,5	79	79	78	78	85	85
5	1000	120	38,1	89	89	90	90	85	85
6	400	120	33	96	96	91	91	90	90
7	700	180	38,7	86	86	89	89	88	88
8	700	60	34,8	78	78	76	76	80	80
Средняя всхожесть семян = 86,8 %									

Степень внедрения: заключен договор о научно-творческом сотрудничестве с ООО НПО «Сибирская звезда» на сушку шишек с доработкой СВЧ-установки при дополнительной установке тепловентилятора и вытяжного устройства и возможностью обработки семян хвойных пород деревьев. Результаты исследований внедряются в учебно-исследовательский процесс магистров ФГБОУ ВПО КрасГАУ института энергетики и УЭР АПК.

Области применения для предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев на установке СВЧ-модуля относятся к основным направлениям подготовки семян к посеву в лесном и сельском хозяйстве.

Список литературы

1. Энергосберегающий метод подготовки семян хвойных пород деревьев к посеву/ В.В. Иванов, С.Н. Шахматов, А.Н. Иванов, П.П. Лемясов //Машинно-технологическое, энергетическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100 летию со дня рождения акад. ВАСХНИЛ А.И. Селиванова (п. Краснообск, 9-11 июня 2008 г.)/ Россельхозакадемия. Сиб. Отд-ние. ГНУ СибИМЭ. – Новосибирск, 2008. – С. 296-301
2. Устройство для предпосевной и послеуборочной обработки семян: пат. 2498551 Российская Федерация МПК А01С1/00/ А.Н. Иванов, С.Н. Шахматов, П.П. Лемясов, Н.В. Цугленок, Г.И. Цугленок, А.А. Беляков. № 2012111630/ ;заявл. 04.04.2012; опубл. 20.10.2013. Бюл. № 32. 7 с.
3. Устройство для получения семян шишек хвойных культур и их предпосевной обработки: пат. 2495555 Российская Федерация, МПК А01С1/00/ А.Н. Иванов, С.Н. Шахматов, П.П. Лемясов, Н.В. Цугленок, Г.И. Цугленок, А.А. Беляков.; № 2012113233/; заявл. 04.04.2012; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29. 6 с.
4. Горелов М.В. Ресурсосберегающие технологии предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев энергией электромагнитного поля СВЧ и КВЧ./ М.В. Горелов, С.Н. Шахматов // Инновационные тенденции Российской науки: мат-лы Международной научно-практической конференции молодых ученых.: Краснояр.гос.аграрн.ун-т – Красноярск, 2013 – С 77.
5. Отчет о выполнении НИОКР по теме: "Разработка конструкторской документации (эскизный проект) и изготовление экспериментальной установки СВЧ-модуля в составе технологической линии для проведения предпосевной обработки семян хвойных пород деревьев".(контракт №1210бр/22898 от 25.07.2013. Старт 2013 г.,Регистрационный №01201375887, г.Красноярск, КРИТБИ) с.93.

Шахматов Сергей Николаевич - канд. техн. наук, доцент, кафедры «Системозенергетики», Красноярский ГАУ: 470049 г. Красноярск, пр. Мира, 90, тел.(391) 245-03-12.etfgau@mail.ru, моб. тел. (960)-760-93-11

Горелов Михаил Владимирович - аспирант кафедры «Системозенергетики», Красноярский ГАУ: 470049 г. Красноярск, пр. Мира, 90,тел.(391) 245-03-23.gm-trust@mail.ru, моб. тел. (902)-922-03-11

Баранова Марина Петровна - д-р техн. наук, профессор, зав.кафедрой «Системозенергетики» Красноярский ГАУ: 470049 г. Красноярск, пр. Мира, 90, тел.(391) 245-03-23; marina60@mail.ru, моб. тел. (906)-916-36-09

Иванов Александр Николаевич - соискатель, кафедры «Системозенергетики» Красноярский ГАУ: 270049 г. Красноярск, пр. Мира, 90, тел.(391) 245-03-12

DEVELOPMENT OF MICROWAVE INSTALLATION PRESOWING SEEDS AND DRY CONES SOFTWOOD

Shakhmatov S. N., Gorelov M. V., Baranova M. P., Ivanov A. N.
Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University

The factory made, single copy experimental laboratory setup of the microwave module has been exposed by monitoring and laboratory tests on effects of electromagnetic fields of ultrahigh frequency on the germination of pine seed. In the process of laboratory tests the processing parameters (time and power of microwave heating of seeds) have been optimized.

Keywords: microwave installation, the magnetic field of ultrahigh frequency, power of microwave field, the experimental setup, the frequency, seeds of coniferous species, presowing cultivation, nutrient, drying of cones.

Bibliography

1. Energy-saving method of preparation of seeds of coniferous tree species for sowing/ V. V. Ivanov, S.N. Shakhmatov, A. N. Ivanov, p. P. Lemesou // Machine-technological, power and service provision of agricultural producers of Siberia: materials of Intern. scientific.-practical. Conf. devoting to research and development. To the 100 anniversary since the birth of Acad. Of agricultural Sciences I. A. Selivanova (p. Krasnoobsk, June 9-11, 2008)/ Russian Academy of agricultural Sciences. Sib. -DEP. Wildebeest Cibima. – Novosibirsk, 2008. – S. 296-301
2. A device for pre-sowing and post-harvest seed treatment: Pat. 2498551 Russian Federation IPC A01C1/00/ A. N. Ivanov, S. N. Shakhmatov, P. P. Lemeshov, N. In. Cuglenok, G. I. Cuglenok, A. A. Belyakov. No. 2012111630/ ;Appl. 04.04.2012; publ. 20.10.2013. Bull. No. 32. 7 S.
3. A device for producing seeds the cones of coniferous crops and their pre-treatment: Pat. 2495555 Russian Federation, IPC A01C1/00/ A. N. Ivanov, S. N. Shakhmatov, P. P. Lemeshov, N. In. Cuglenok, G.I. Cuglenok, A. A. Belyakov.; No. 2012113233/; Appl. 04.04.2012; publ. 20.10.2013, bull. No. 29. 6 S.
4. Gorelov M. V. resource-Saving technology of presowing treatment of seeds of coniferous breeds of trees the energy of the electromagnetic field of the microwave and EHF./ M. V. Gorelov, P. N. Shakhmatov // Innovative trends in Russian science: materials International scientific-practical conference of young scientists.: Krasnoyar.state.agricultural.University – Krasnoyarsk, 2013 – With 77.
5. Report on the implementation of R & d on the topic "Development of design documentation (preliminary design) and fabrication of the experimental setup of the microwave module in the process line for carrying out preseeding processing of seeds of coniferous breeds of trees.".(contract No. 12106p/22898 dated 25.07.2013. The start of 2013,Registration No. 01201375887, Krasnoyarsk KRITBI) p. 93

Shakhmatov Sergey Nikolaevich PhD(technical), **Mikhail Gorelov** graduate student " Sistemoenergetiki " **Baranova Marina Petrovna** , PhD(technical), **Alexander Ivanov**, Competitor of the Department "Sistemoenergetiki", Russian Federation, Krasnoyarsk State Agrarian University : 270049 , Krasnoyarsk, Prospekt Mira , 90 tel. (391) 245-03-12

УДК 669.187.22:621.365.2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КПД ДУГ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ЛОМА И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ

Макаров А.Н., Галичева М.К., Окунева В.В.
Россия, г.Тверь, Тверской государственный технический университет

Изложены результаты расчета кпд дуг в процессе расплавления шихты в дуговых сталеплавильных печах (дсп). Кпд дуг изменяется от 0,93 в начале расплавления до 0,51-0,56 в конце расплавления шихты.

В открытые периоды плавки стали кпд дуг изменяется от 0,51 до 0,63 в зависимости от высоты слоя шлака. При работе дсп на ломе средний кпд дуг возрастает, удельный расход электроэнергии уменьшается. При работе дсп на металлургических окатышах средний кпд дуг уменьшается, удельный расход электроэнергии увеличивается.

Ключевые слова: электрическая дуга, сталь, коэффициент полезного действия, печь.

По методике, изложенной в [1] рассчитали как изменяется кпд дуг в процессе расплавления шихты. Результаты расчета представлены на рис. 1. В начале расплавления в колодце прорезается один общий колодец за 5-8 минут. Вся мощность, излучаемая столбом дуги, попадает на твердую шихту и жидкометаллическую ванну. В начале расплавления средний угловой коэффициент излучения дуги на шихту и ванну металла составляет $\varphi_{\text{дм}} = 0,95-0,97$, а кпд дуги $\eta_{\text{д}} = 0,93-0,95$. По мере расплавления шихты колодец расширяется, высота шихты уменьшается и часть излучения дуги выходит из колодца наружу и попадает на водоохлаждаемые панели стен и свода. При расплавлении 45-50% шихты $\varphi_{\text{дм}}$ уменьшается до значения $\varphi_{\text{дм}} = 0,78-0,80$, а $\eta_{\text{д}}$ уменьшается до значения $\eta_{\text{д}} = 0,77-0,80$. При расплавлении 100% шихты $\varphi_{\text{дм}}$ снижается до значения $\varphi_{\text{дм}} = 0,58-0,61$. Следовательно, при отсутствии твердой шихты на стенах 39-42% мощности излучения столба дуги попадает на водоохлаждаемые панели стен и свода и кпд дуги снижается до значения $\eta_{\text{д}} = 0,60-0,63$. Данные значения $\eta_{\text{д}}$ соответствуют высоте шлака $h_{\text{ш}} = 300$ мм. Если расплавление шихты заканчивается при $h_{\text{ш}} = 100$ мм, то $\eta_{\text{д}}$ снижается до значения $\eta_{\text{д}} = 0,51$ [2,3]. Шлак экранирует стены и свод от излучения дуги, чем больше высота шлака, тем больше $\eta_{\text{д}}$. На рис. 2 приведена зависимость $\eta_{\text{д}}$ от отношения высоты шихты к высоте рабочего пространства печи от порога до пят свода.

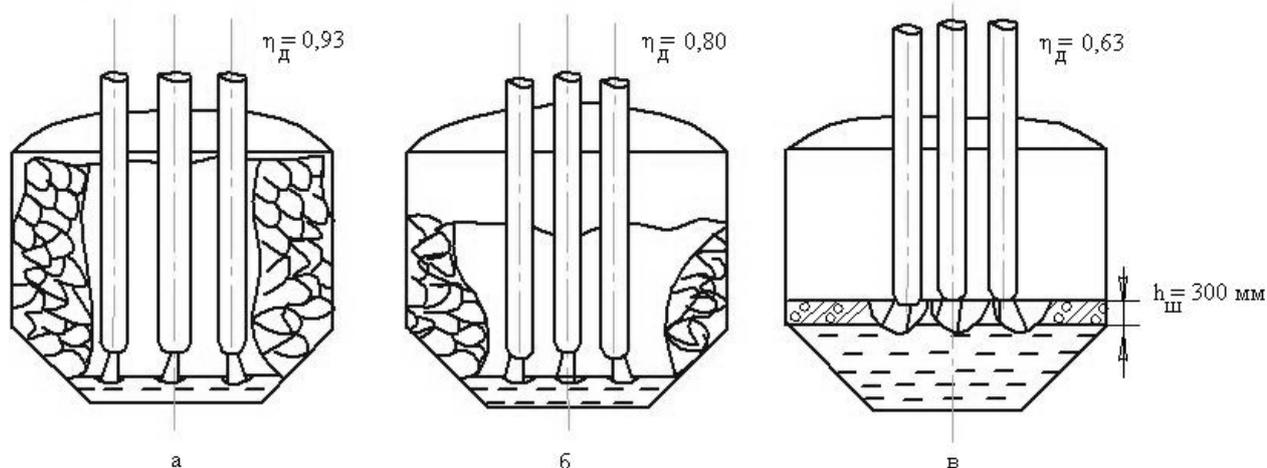


Рисунок 1 - Изменение кпд дуг в процессе расплавления шихты в рабочем пространстве дуговых сталеплавильных печей (футеровка, водоохлаждаемые панели и кожух не показаны)

Начало расплавления (а); середина расплавления, 45-50% шихты расплавилось (б); конец расплавления (в); $h_{\text{ш}}$ – высота шлака, мм

В печах дсп-150₀ для плавления лома и окатышей используется одна завалка лома. Расплавление лома, который составляет 40% шихты, длится 15-18 минут, то есть одну четвертую времени плавки. В течение остальных трех четвертых времени плавки осуществляется расплавление окатышей, которое длится 50-55 минут. При расплавлении лома печь работает с $\eta_{\text{д}} = 0,93$ в начале расплавления до $\eta_{\text{д}} = 0,63$ в конце расплавления. В процессе расплавления окатышей высота слоя шлака уменьшается с $h_{\text{ш}} = 300-400$ мм до $h_{\text{ш}} = 200$ мм, а $\eta_{\text{д}}$ снижается с $\eta_{\text{д}} = 0,63$ до $\eta_{\text{д}} = 0,57$. Три четверти времени плавки печь дсп-150₀ работает с $\eta_{\text{д}} = 0,63 - 0,57$.

В дуговых сталеплавильных печах, в которых в качестве шихты используется лом, расплавляются две порции лома. Расплавление шихты в печах, работающих на ломе осуществляется с средним $\eta_d = 0,78$. Расплавление лома и окатышей в печах дсп-150₀ осуществляется с средним $\eta_d = 0,62-0,64$. Работа дсп-150₀ с более низким η_d по сравнению с печами, работающими на ломе, приводит к увеличению мощности излучения дуг на водоохлаждаемые панели стен и свода. В печах дсп-150₀ потери с охлаждающей водой в 2-2,4 раза больше, чем в печах с использованием лома в качестве шихты. Снижение η_d печей дсп-150₀ приводит к увеличению потерь мощности излучения дуг, снижению полезной мощности излучения дуг и увеличению расхода электроэнергии. Подтверждением расчетных данных служат данные энергобалансов плавки стали.

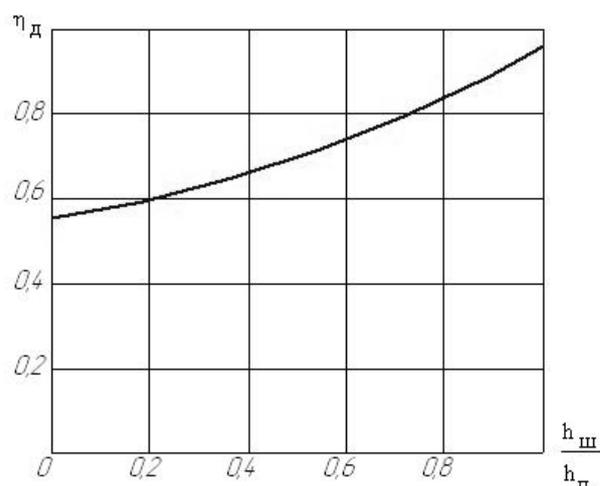


Рисунок 2 - Зависимость кпд дуги от отношения высоты шихты и высоте рабочего пространства печи

В печах дсп-150₀, дсп-130, дсп-100 удельный приход энергии экзотермических реакций приблизительно одинаков и составляет 158-160 квт·ч/т. Для этих печей близки значения энергии, вносимой горелками, которая составляет 46-60 квт·ч/т. Разница в приходе удельной электроэнергии составляет 20-30%: для дсп-150 $q_{эл} = 530$ квт·ч/т., для печей дсп-130, дсп-100, $q_{эл} = 440-410$ квт·ч/т. Большие потери электроэнергии на 20-30% печами дсп-150₀ по сравнению с печами дсп-130, дсп-100 объясняются меньшим на 20-25% средним кпд дуг печей дсп-150₀.

Результаты экспериментальных и аналитических исследований позволяют выбирать энергоэффективные режимы работы дуговых сталеплавильных печей. При отсутствии жестких требований к качеству металла по содержанию в расплаве цветных металлов доля лома в шихте печей дсп-150₀ может быть увеличена. При увеличении доли лома в шихте средний кпд дуг возрастает, удельный расход электроэнергии уменьшается, себестоимость 1 т стали снижается.

Список литературы

1. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках [Текст] / А.Н. Макаров. - СПб.: Лань, 2014. – 384 с.
2. Макаров, А.Н. Закономерности, сопровождающие горение электрической дуги и факела в металлургических печах. Часть I // электрометаллургия [Текст] / А.Н. Макаров. - 2012. - №7. - С. 22-32.
3. Макаров, А.Н. Закономерности, сопровождающие горение электрической дуги и факела в металлургических печах. Часть II // электрометаллургия [Текст] / А.Н. Макаров. - 2012. - №8. - С. 28-35.

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

Кузнецов Алексей Владимирович - доцент 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

Окунева Виктория Валерьевна - канд. техн. наук, ст. Преподаватель 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

UDC 669.187.22:621.365.2

RESULTS STEMMING FROM CALCULATIONS OF THE ARC EFFICIENCY DURING MELTING THE SCRAP AND METALLIZED PELLETS

Makarov A.N., Galicheva M.K., Okuneva V.V.
Tver' state technical university, Russia, Tver

The article presents the results stemming from calculations of the arc efficiency during melting the charge in arc steel melting furnaces. The arc efficiency changes from 0.93 at the beginning of the melting to 0,51-0,56 at the end of the melting. At open periods of steel melting the arc efficiency changes from 0,51 to 0,63 depending on the slag layer height. When the scrap is being melted, the average arc efficiency increases, the specific energy consumption decreases. When metallized pellets are being melted, the average arc efficiency decreases, the specific energy consumption increases.

Key words: electric arc, steel, efficiency, furnace

Bibliography

1. Makarov a. N. Heat transfer in electric arc and torch metallurgy furnaces and energy plants. (Ian', st-petersburg, 2014, 384 p.)
2. Makarov a.n regularities, accompying glowing of electric arc and torch in metallurgy furnaces. P.1. Geometric physical and analytical model of an arc and a torch.P.i. (elektrometallurgiya no.7,2012, moscow, pp. 22-32)
3. Makarov a.n regularities, accompying glowing of electric arc and torch in metallurgy furnaces. P.1. Geometric physical and analytical model of an arc and a torch.P.ii. (elektrometallurgiya no.8,2012, moscow, pp. 28-35)

Makarov Anatoly Nikolayevich - doctor of engineering, professor, head of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22; e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Galicheva Maria Konstantinovna – assistant of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22; e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Okuneva Victoria Valer'evna – phd in technical sciences, senior professor of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22; e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

УДК 669.187.22:621.365.2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КПД ДУГ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Макаров А.Н., Галичева М.К., Кузнецов А.В.
Россия, г. Тверь, тверской государственный технический университет

Изложены основы методики расчета коэффициента полезного действия дуг дуговых сталеплавильных печей. КПД дуг определяется как отношение полезной мощности к полной мощности дуг.

Ключевые слова: электрическая дуга, печь, коэффициент полезного действия

В настоящее время в мире свыше 40% стали выплавляют в дуговых сталеплавильных печах (дсп). Теплообмен излучением является основным видом теплообмена и составляет 90-98% суммарного теплообмена в дсп [1]. Электрическая дуга в дсп до 1978 года была «черным ящиком», неисследованным физическим явлением. В 1978-82 г.г. Была разработана методика расчета теплообмена в дсп [2]. Монография [2] используется с 1992 года для исследования теплообмена в дсп и обучения студентов по направлению «металлургия» в России и ближнем зарубежье.

В 2001 году были открыты законы излучения ионизированных (электрическая дуга в дсп) и неионизированных (факел) цилиндрических газовых слоев [3]. Открытие данных законов позволило далее развивать теорию теплообмена в дуговых сталеплавильных печах и разработать методику расчета коэффициента полезного действия (кпд) дуг [4,5]. Методика

расчета КПД дуг, теория и практика теплообмена в дсп изложена в [3]. Учебник [3] используется по рекомендации учебно-методического объединения министерства образования и науки России для обучения студентов университетов по направлению «металлургия». Учебник [3] используется на металлургических предприятиях для расчета энергетических режимов работы дсп с целью снижения энергозатрат при производстве стали.

В настоящее время отсутствует объяснение большего удельного потребления электроэнергии в дсп, работающих на железорудных металлизированных скатышах, по сравнению с аналогичными печами, работающими на металлическом ломе. В современных дсп при плавлении лома удельный расход электроэнергии составляет $q_{эл} = 410-440$ кВт·ч/т, при плавлении лома и окатышей $q_{эл} = 510-560$ кВт·ч/т. Используем методику расчета КПД дуг для объяснения данного феномена. В [3] исследование данного феномена отсутствует.

По изложенной в [4, 5] методике расчета КПД дуги дсп определяется как отношение полезной мощности $P_{пол}$, идущей на нагрев, расплавление металла и шлака, к мощности дуги P_d :

$$\eta_d = \frac{P_{пол}}{P_d} = 0,08 + 0,9\varphi_{дм}, \quad (1)$$

Где $\varphi_{дм}$ – средний угловой коэффициент излучения дуги на шихту и ванну металла, показывающий долю мощности, излучаемую столбом дуги на шихту и ванну металла.

В выражении (1) к полезной мощности относится мощность, которая расходуется на расплавление шихты (металлический лом и железорудные металлизированные окатыши) и шлакообразующих, обеспечивающих протекание физико-химических реакций в ванне металла. Методика расчета средних угловых коэффициентов $\varphi_{дм}$, расчетные формулы изложены в [3]. В исследованиях используем методику для расчета КПД дуг при плавлении лома и металлизированных окатышей.

Список литературы

1. Никольский, Л.Е. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей [Текст] / Л.Е. Никольский, В.Д. Смоляренко, Л.Н. Кузнецов. - М.: Metallurgy, 1981. - 344 с.
2. Макаров, А.Н. Оптимальные тепловые режимы дуговых сталеплавильных печей [Текст] / А.Н. Макаров, А.Д. Свенчанский. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 96 с.
3. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках [Текст]. - СПб.: Лань, 2014. - 384 с.
4. Макаров, А.Н. Повышение КПД дуг путем устранения их электромагнитного выдувания в электросталеплавильных печах. Часть I. Влияние электромагнитного выдувания и высоты шлака на КПД дуг в дсп [Текст] / А.Н. Макаров, А.Ю. Соколов, Ю.А. Луговой // Электрометаллургия. - 2011. - №4. - С. 12-18.
5. Макаров, А.Н. Повышение КПД дуг путем устранения их электромагнитного выдувания в электросталеплавильных печах. Часть II. Разработка способа плавки, повышающего КПД дуг в электросталеплавильных печах [Текст] / А.Н. Макаров, А.Ю. Соколов, Ю.А. Луговой // Электрометаллургия. - 2011. - №5. - С. 23-30.

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

Кузнецов Алексей Вадимович - доцент 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

Окунева Виктория Валерьевна - канд. техн. наук, ст. Преподаватель 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

METHOD FOR CALCULATING THE ARC EFFICIENCY OF ARC STEEL MELTING FURNACES

Makarov A. N., Galicheva M.K., Kuznetsov A.V.
Tver' state technical university, Russia, Tver

The article presents the basics of the method for calculating the arc efficiency of arc steel melting furnaces. The arc efficiency is determined as the ratio between the net arc power and the total arc power.

Key words : electric arc, furnace, efficiency

Bibliography

1. Nikol'skii I. E., smolyarenko v. D., kuznetsov I. N., thermal operation of arc steel melting furnaces (metallurgiya, moscow, 1981,344 p.) [in russian].
2. Makarov a. N., svenchanskii a. D., optimal operating conditions of arc steel melting furnaces (energoatomizdat, moscow, 1992,96 p.) [in russian].
3. Makarov a. N. Heat transfer in electric arc and torch metallurgy furnaces and energy plants. (lan', st-petersburg, 2014, 384 p.)
4. Makarov a. N., sokolov a. Yu., lugovoi yu. A., increasing the arc efficiency by the removal of arc electromagnetic blowing in electric arc furnaces: i. Effect of electromagnetic blowing and the slag height on the arc efficiency in an electric arc furnace (elektrometallurgiya, no. 4,2011,pp. 12–18)
5. Makarov a. N., sokolov a. Yu., lugovoi yu. A., increasing the arc efficiency by the removal of arc electromagnetic blowing in electric arc furnaces: ii. Development of the way for steel melting, that increases the arc efficiency in an electric arc furnace (elektrometallurgiya, no. 5,2011,pp. 23–30)

Makarov anatoly nikolayevich, doctor of engineering, professor, head of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22
e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Galicheva maria konstantinovna – assistant of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22
e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Kuznetsov aleksey vladimirovich – assistant professor of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22
e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

ЭНЕРГОБАЛАНСЫ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ ЛОМА И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ

Макаров А.Н., Галичева М.К., Окунева В.В.
Россия, г. Тверь, Тверской государственный технический университет

Изложены статьи прихода и расхода энергии плавок стали в современных мощных дуговых сталеплавильных печах для плавления лома и металлизированных окатышей. Анализ энергобалансов плавок стали в печах аналогичной вместимости и мощности показал большие потери энергии с охлаждающей водой в печах для плавления окатышей по сравнению с печами для плавления лома. Для объяснения данного феномена требуются дополнительные научные исследования.

Ключевые слова: электрическая дуга, печь, энергобаланс.

Рассмотрим энергобалансы плавки стали в современных мощных дуговых сталеплавильных печах дсп-100, дсп-130, дсп-150, вместимостью, соответственно, 100, 130 и 150 тонн. На печах применяются все современные способы интенсификации процесса плавки стали: топливно-кислородные горелки (ткг), инжекторы угольного порошка, кислородные фурмы для окисления железа и других элементов шихты и другие способы. Сравнимые печи работают в одинаковых энергетических режимах и имеют следующие показатели: удельная мощность электропечного трансформатора 700-800 кВА/т; расход кислорода 20-30 м³/т, природного газа 5-10 м³/т, угля 5-15 кг/т; продолжительность плавки

45-60 мин.; масса выплавленной стали 100-150 т. Результаты составления энергетических балансов приведены в табл.1 [1-6].

Энергетические балансы выполнены различными авторскими коллективами [1-6]. Теплосодержание жидкой стали у всех авторских коллективов составляет одинаковое и составляет 380-388 квт·ч/т. Теплосодержание жидкого шлака составляет 46-50 квт·ч/т. Отличие в теплосодержании жидкого шлака в печи дсп-150₀ в 27,5 квт·ч/т объясняется следующими фактами. Степень металлизации железорудных окатышей составляет 95 %, следовательно в печи дсп-150₀ расплавляется 6-8 т пустой породы. Пустая порода расплавляется и поступает в шлак. Расчеты показывают, что на расплавление 7,5 т пустой породы расходуется 4100-4130 квт·ч энергии. Теплосодержание жидкого шлака в печи дсп-150₀ увеличивается на 27,5 квт·ч/т, на данное значение увеличивается потребление электроэнергии печью.

Таблица 1 – Энергетические балансы плавки стали в дуговых сталеплавильных печах

№	Показатели плавки, статьи прихода и расхода энергии	Дсп-150 ₀ [3]	Дсп-130 [4]	Дсп-100 [5]	Дсп-150 _л [6]
1	Шихта	40% лом + 60% катыши	Лом	Лом	Лом
2	Единицы измерения энергии, $\frac{\text{числитель}}{\text{знаменатель}}$	$\frac{[\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}]}{[\%]}$			
3	Приход энергии, итого	$\frac{742}{100}$	$\frac{650}{100}$	$\frac{630}{100}$	$\frac{722}{100}$
3.1.	Электрическая энергия	$\frac{530}{71,4}$	$\frac{444}{68,3}$	$\frac{410}{65}$	$\frac{400}{55,4}$
3.2.	Энергия экзотермических реакций	$\frac{158}{21,3}$	$\frac{160}{24,6}$	$\frac{160}{25}$	$\frac{220}{30,5}$
3.3.	Энергия, вносимая горелками	$\frac{54}{7,3}$	$\frac{46}{7,1}$	$\frac{60}{10}$	$\frac{102}{14,1}$
4.	Расход энергии, итого	$\frac{742}{100}$	$\frac{650}{100}$	$\frac{630}{100}$	$\frac{722}{100}$
4.1.	Теплосодержание жидкой стали	$\frac{380}{51,2}$	$\frac{380}{58,5}$	$\frac{380}{60}$	$\frac{388}{53,7}$
4.2.	Теплосодержание жидкого шлака	$\frac{77,5}{10,5}$	$\frac{50}{7,7}$	$\frac{50}{8}$	$\frac{46}{6,4}$
4.3.	Электрические потери установки	$\frac{32}{4,3}$	$\frac{33}{5,1}$	$\frac{10}{2}$	$\frac{36}{5,0}$
4.4.	Потери с отходящими газами	$\frac{135}{18,2}$	$\frac{127}{19,5}$	$\frac{140}{22}$	$\frac{198}{27,4}$
4.5.	Потери с поверхности печи и с охлаждающей водой	$\frac{117,5}{15,8}$	$\frac{60}{9,2}$	$\frac{50}{8}$	$\frac{54}{7,5}$

Электрические потери в печах составляют 4-5 % расхода энергии. Меньшие электрические потери в печи дсп-100 связаны с меньшими длиной и сопротивлением электрической сети печи.

Потери с охлаждающими газами составляют 18-22%. Большие потери с охлаждающими газами в печи дсп-150_л, составляющие 27,4 %, связаны с более интенсивным использованием ткг, с большим количеством вводимого в печь топлива, и с более интенсивным использованием кислородных фурм, кислорода и окислением большей, по сравнению с другими печами, части железа и других элементов шихты. При этом увеличивается приход тепла от экзотермических реакций и сокращается до 400 квт·ч/т удельный расход электроэнергии.

Из табл.1 следует, что потери энергии с поверхности печи и с охлаждающей водой в дсп-150₀ составляют 117,5 квт·ч/т, что в 2-2,4 раза больше по сравнению с печами дсп-100, дсп-130, дсп-150_л. Стены и своды печей водоохлаждаемые. Площадь футерованных поверхностей печей и потери с поверхностями отличаются незначительно. Проведенные исследования показывают [3], что расход охлаждающей воды в печах дсп-150₀ в 2-2,5 раза больше по сравнению с аналогичными по вместимости и мощности печами дсп-150_л. Различие в потерях с охлаждающей водой можно объяснить различием КПД дуг в печах. Необходимо выполнить расчет и анализ КПД дуг дсп.

Список литературы

1. Никольский, Л.Е. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей [Текст] / Л.Е. Никольский, В.Д. Смоляренко, Л.Н. Кузнецов. - М.: Metallurgy, 1981. - 344 с.
2. Макаров, А.Н. Оптимальные тепловые режимы дуговых сталеплавильных печей [Текст] / А.Н. Макаров, А.Д. Свенчанский. - М.: энергоатомиздат, москва, 1992. - 96 с.
3. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках [Текст] / А.Н. Макаров. - СПб.: Лань, 2014. - 384 с.
4. Гудим, Ю.А. Существует ли реальная альтернатива лому в электросталеплавильном производстве [Текст] / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселев // Электрометаллургия. - 2008. - №5. - С. 27-30.
5. Гудим, Ю.А. Рациональные способы интенсификация плавки в современных дуговых сталеплавильных печах [Текст] / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселев, Шумаков А.М. // Электрометаллургия. - 2005. - №9. - С. 2-6.
6. Борн, К. Потенциальные возможности и проблемы утилизации тепла в сталеплавильных цехах [Текст] / К. Борн, Р. Грандерат // Металлургическое производство и технология. - 2013. - №2. - С. 8-19.

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

Галичева Мария Константиновна - 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

Окунева Виктория Валерьевна - канд. техн. наук, ст. Преподаватель 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

UDK 669.187.22:621.365.2

ENERGY BALANCES OF ARC STEEL MELTING FURNACES FOR MELTING THE SCRAP AND METALLIZED PELLETS

Makarov A. N., Galicheva M.K., Okuneva V.V.
Tver' state technical university, russia, tver

The article presents credit and expense items of heat energy in modern power arc steel melting furnaces for melting the scrap and metallized pellets .analysis of heat energy balances in furnaces of the same capacity and power showed more cooling water energy losses for melting pellets as compared to furnaces for melting the scrap. To explain this phenomenon would require additional scientific researches.

Key words: electric arc, furnace, energy balance

Bibliography

1. Nikol'skii I. E., smolyarenko v. D., and kuznetsov I. N., thermal operation of arc steel melting furnaces (metallurgiya, moscow, 1981, 344 p.) [in russian]
2. Makarov a. N., svenchanskii a. D., the optimal thermal operating modes of arc steel melting furnaces (energoatomizdat, moscow, 1992, 96 p.) [in russian].
3. Makarov a. N. Heat transfer in electric arc and torch metallurgy furnaces and energy plants. (lan', st-petersburg, 2014, 384 p.)
4. Gudim yu.a., zinurov i.yu., kiselev a.d. Is there the realistic alternative to slag in electric steel melting industry (elektrometallurgiya, 2008, no 5. P. 27-30.)
5. Gudim yu.a., zinurov i.yu., kiselev a.d., shumakov a.m. Useful technique for heat intensifying in modern arc steel melting furnaces (elektrometallurgiya, 2005. No 9. P. 2-6)
6. Born k., granderat r., potentialities and problems of heat recovery in steel melting departments (metallurgical products and technology, 2013, no 2. P.8-19)

Makarov anatoly nikolayevich - doctor of engineering, professor, head of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22

e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Galicheva maria konstantinovna – assistant of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22

e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

Okuneva victoria valer'evna – phd in technical sciences, senior professor of power supply and electrical engineering faculty in tver' state technical university; Russia, 170026 tver, nab. Afanasiya nikitina 22

e-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru; tel.: 8 (4822) 78-83-17

УДК 621.365.5

МЕТОД НАГРЕВА И ЗАКАЛКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ВРАЩЕНИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Кувалдин А.Б.

Россия, г. Москва, НИУ Московский энергетический институт

Лепешкин А.Р., Лепешкин С.А.

*Россия, г. Москва, Центральный институт авиационного моторостроения
имени П.И. Баранова*

Предложен метод нагрева и закалки зубчатых колес, в котором получение и выделение дополнительной тепловой энергии с разными частотами тока в зубчатом колесе осуществляется за счет вращения в электромагнитном поле, созданном постоянными сильными магнитами. При этом повышается энергосбережение в указанном процессе нагрева. Расчетные исследования параметров электромагнитного процесса при вращении зубчатого колеса проведены с использованием программы Maxwell 3D. Получены распределения плотности тока в зубьях колеса.

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

При проведении индукционного нагрева и термообработки (закалки и др.) деталей сложной формы, зубчатых колес (шестерен, фрез и др.) используют комбинацию различных режимов индукционного нагрева, характеризующихся различными частотами тока [1]. Зубчатое колесо или другая обрабатываемая деталь может быть нагрета путем пропуска через индукционную катушку переменного тока. Ток создает вокруг этой катушки магнитное поле, которое имеет магнитную связь с зубчатым колесом, и индуцирует в нем вихревые токи. Закалка зубчатых колес при индукционном нагреве обеспечивает слой мартенсита на поверхности зубьев колеса, повышающий прочность и износостойкость зубьев, в то же время на остальную часть зубчатого колеса индукционный нагрев не оказывает влияния. Увеличение твердости, кроме того, повышает контактную усталостную прочность и другие механические свойства. Сложность геометрической формы зубчатых колес и изменение

электромагнитной связи между индукционным нагревателем, вершиной зубьев и округлением впадин приводит к различной интенсивности индукционного нагрева вершин и впадин зубчатого колеса. Частота электрического тока оказывает заметное влияние на величину вихревого электрического тока, проходящего внутри зубчатого колеса, и на распределение тепла. В основном, когда необходимо упрочнить вершины зубьев с помощью только одной частоты тока, используя одновитковую или многовитковую соленоидную катушку, применяют относительно высокую частоту (например, от 20 кГц и выше) и высокую плотность электрической энергии. При индукционном упрочнении впадины зуба предпочтительно применение относительно низкой частоты тока (например, от 50 Гц до 10 кГц). При низкой частоте глубина проникновения вихревого тока много больше, чем при высокой частоте. В случае нагрева зубчатых колес с малым или средним шагом зубьев намного выгодней, чтобы индуцированный ток низкой частоты проходил короткий путь и следовал линии профильной окружности или впадины зубчатого колеса, а не профиля зуба.

Известен метод получения энергии [2], состоящий в том, что проводящее тело в виде диска вращают в магнитном поле с угловой скоростью ω . В данном методе при вращении диска в магнитном поле в нем выделяется тепловая энергия и обеспечивается нагрев диска до заданного распределения температур.

Известен способ для упрочнения зубчатого колеса, в котором используют источник энергии одновременно двух частот, например, такой, как описан в [3]. Выходной электрический ток, генерируемый одновременно двумя источниками энергии с различной частотой, включает две значительно отличающиеся друг от друга частоты. Одна из этих частот обеспечивает нагревание кромочной части впадины, а другая частота обеспечивает нагревание контура зуба. Основным недостатком известного способа нагрева одновременно двумя частотами заключается в том, что для обеих частот не может быть оптимизирована форма единственной индукционной катушки.

В способе закалки зубчатых колес [4] размещают колесо внутри первого нагревателя, устанавливают второй нагреватель во внутреннем отверстии колеса, размещают первый и второй магнитные концентраторы по боковым поверхностям колеса, подачу первого и второго переменного электрического тока от указанных нагревателей для индукционного нагрева колеса, при этом частота первого переменного тока превышает частоту второго переменного тока, второй нагреватель имеет магнитопровод.

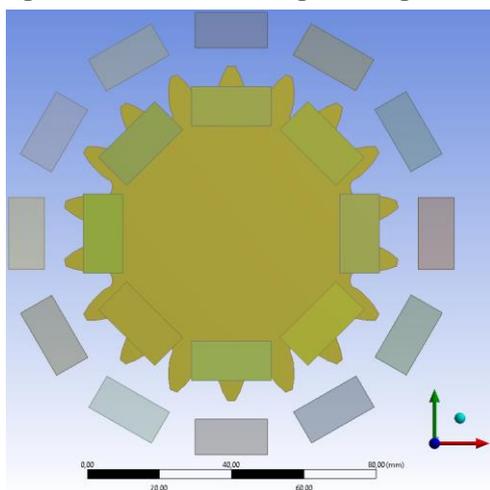


Рисунок 1 - Зубчатое колесо и расположение магнитов

Недостатками указанного способа являются повышенные затраты электроэнергии на нагрев зубчатого колеса и значительные тепловые и электрические потери в магнитопроводе и применение высокочастотных систем электропитания, имеющих высокую стоимость. Неравномерность окружного зазора между первым нагревателем и зубчатым колесом понижает равномерность закалки зубьев колеса.

В данной работе осуществляется разработанный метод нагрева и закалки [5], 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).

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.

Для исследования распределения токов повышенных частот по глубине их проникновения в зонах зубьев и впадин были проведены 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. В расчетах использовались следующие данные: наружный диаметр и толщина зубчатого колеса – 93 мм и 5 мм, количество зубьев – 18, модуль зубчатого колеса – 4.5, частота вращения – 12000 об/мин. 12 магнитов были установлены по наружному диаметру, 16 магнитов с двух сторон колеса, т.е. по 8 магнитов – по каждой боковой поверхности. Были использованы магниты с уникальным сочетанием сильных магнитных свойств, коррозионной устойчивости и стабильности при температурах до 300-350°C 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 12000 об/мин. Максимальная величина плотности тока составляет $9.5 \cdot 10^6$ 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 за счет увеличения 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.

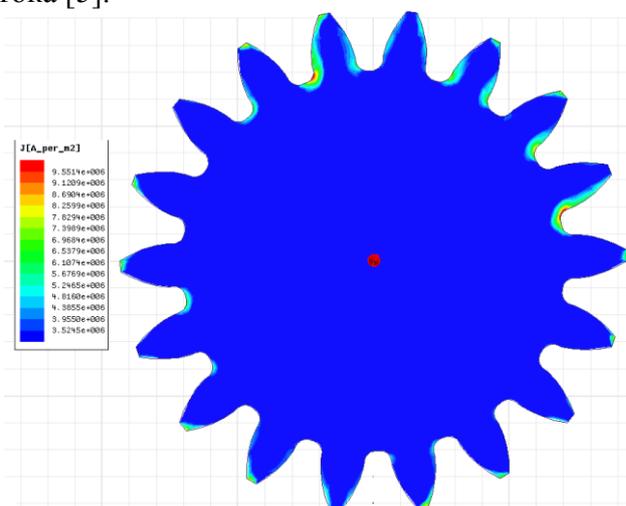


Рисунок 2 - Распределение плотности тока в зубьях колеса в текущий момент времени

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. US 2444259. Способ высокочастотного индукционного нагрева.
4. Пат. 2359431 Российская Федерация, Термообработка детали посредством многократного индукционного нагрева / Д. Лавлесс, В. Руднев; Заявитель и патентообладатель Индактохит, Инк. (US). - № 2006140990/09; заявл. 21.04.2005; опубл. 20.06.2009, бюл. № 17.
5. 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.

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, начальник сектора, ФГУП “ЦИАМ им. П.И. Баранова”, 111116, Москва, ул. Авиамоторная, д. 2.

E-mail: lepehkin.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

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

Russia, Moscow, Central Institute of Aviation Motors named of P.I. Baranov

The method of hardening of gears, in which the receipt and allocation of additional thermal energy-ogy c different current frequencies in the gear carried by the rotation in the electromagnetic field created by the permanent strong magnets. Calculations electromagnetic process parameters during the rotation of the gear conducted using Maxwell 3D program. Obtained dis-bution of the current density in the teeth of the wheel.

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 ustroj-stvo dlya ego realizacii / A.B. Kuvaldin, A.R. Lepeshkin, S.A. Lepeshkin; Zayavitel' i patentoobladel' NIU “МЕИ”. - № 2010117026/07; zayavl. 30.04.2010; opubl. 20.04.2011, byul. № 11.
3. Pat. US 2444259. Sposob vysokochastotnogo indukcionnogo nagreva.
4. Pat. 2359431 Rossijskaya Federaciya, Termoobrabotka detali posredstvom mnogochastotnogo indukcionnogo nagreva / D. Lavless, V. Rudnev; Zayavitel' i patentoobladel' Indaktohit, Ink. (US). - № 2006140990/09; zayavl. 21.04.2005; opubl. 20.06.2009, byul. № 17.
5. 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 patentoobladel' NIU “МЕИ”. - № 2013125683/07; zayavl. 04.06.2013; opubl. 27.11.2014, byul. № 33.

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, Head of Sector, FSUE "CIAM P.I. Baranova", 111116, Moscow, ul. Aviamotornaja, 2. E-mail: lepehkin.ar@gmail.com.

УДК 621.365.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПЛОСКОЙ ЗАГРУЗКЕ

Качанов А.Н., Гладышев А.В.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

В статье приведены результаты исследования распределения температурного поля в плоской загрузке при одностороннем нагреве примыкающим индуктором.

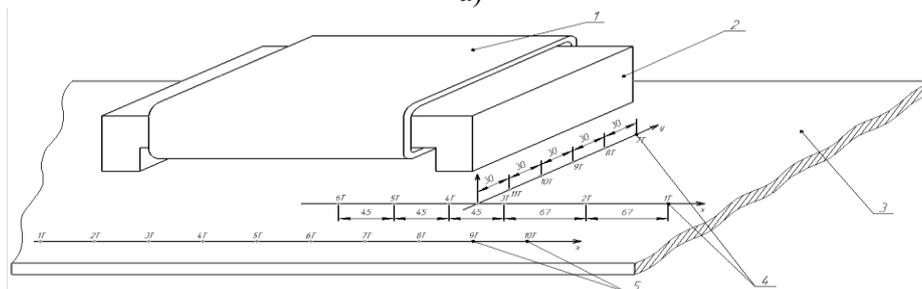
Ключевые слова: тепловое поле, примыкающий индуктор, плоская магнитная загрузка, программа «ELCUT».

Для оптимизации технологических процессов, связанных с нагревом плоских металлических изделий, требуется обеспечение их равномерного объемного нагрева.

Одним из вариантов технического решения данной задачи может быть использование примыкающих индукторов, которые благодаря своим высоким энергетическим характеристикам и относительно небольшим массогабаритным размерам хорошо встраиваются в действующие технологические линии [1]. На рисунке 1, а представлен фрагмент экспериментальной установки для нагрева металлических пластин различной толщины.



а)

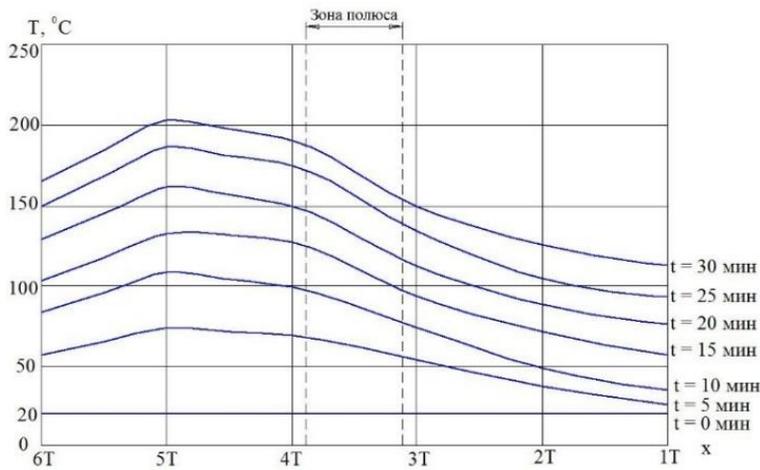


б)

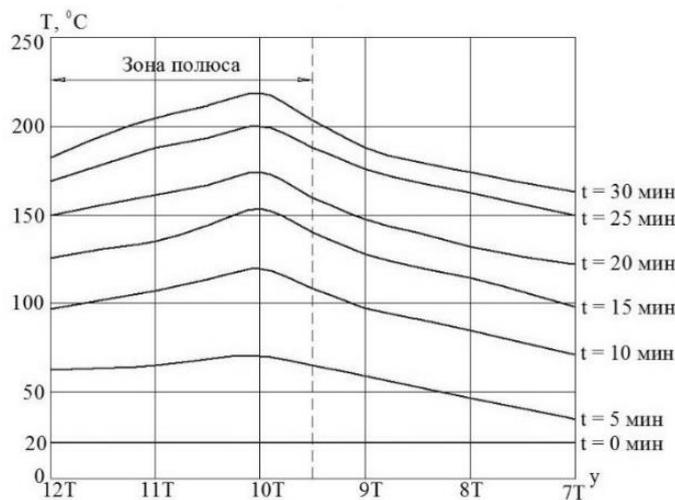
Рисунок 1 – Фрагмент экспериментальной установки (а) и схемы размещения термопар и точек измерения температуры пирометром относительно индуктора (б)

1 – обмотка, 2 – магнитопровод, 3 – загрузка, 4 – термопары, 5 – точки измерения температуры оптическим пирометром

При проведении экспериментальных исследований температура загрузки измерялась в точках, схематически указанных на рисунке 1, б, с помощью автоматического потенциометра типа КСП2-068 и оптического пирометра марки С-300. В качестве первичных датчиков температуры были использованы хромель-копелевые термопары с рабочим диапазоном температур от -200°C до $+600^{\circ}\text{C}$. Полученные результаты измерений распределения температуры в пластине вдоль осей абсцисс (x) и ординат (y) представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 – Кривые распределения температуры вдоль осей абсцисс (а) и ординат (б)

объему загрузки возрастает, но и неравномерность распределения температуры при этом также увеличивается.

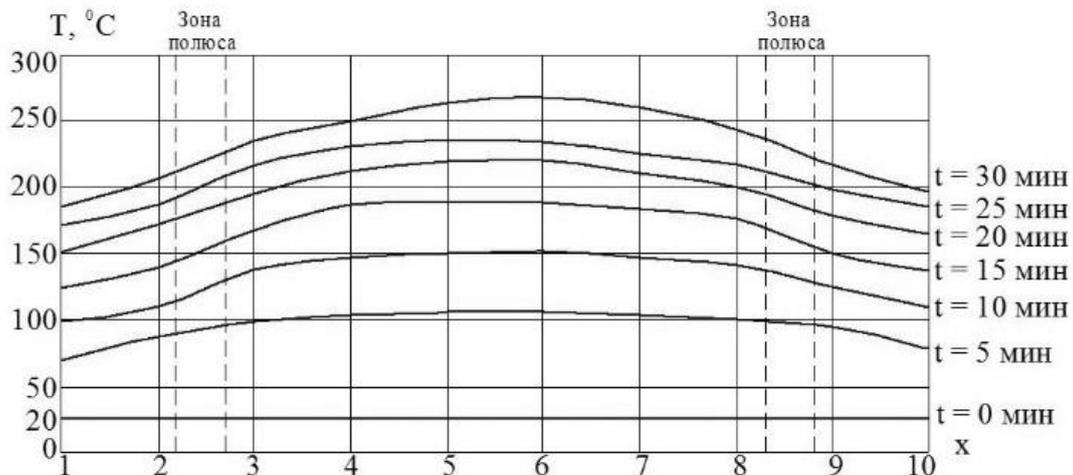


Рисунок 3 – Кривые распределения температуры по поверхности загрузки

Из анализа приведенных выше графиков следует, что при данном способе нагрева наибольшая температура загрузки получена под полюсами магнитопровода и в межполюсном пространстве П-образного магнитопровода примыкающего индуктора. По мере увеличения времени нагрева растет неравномерность распределения температуры по стальной пластине.

Для измерения температуры по поверхности нагреваемого объекта со

стороны примыкания индуктора был использован ручной оптический пирометр. Схема размещения точек измерения температуры оптическим пирометром представлена на рисунке 1, б, а результаты измерения температуры по поверхности загрузки представлены на рисунке 3.

Из анализа кривых распределения температуры по поверхности пластины, приведенных на графике (рис. 3), следует, что наибольшая температура наблюдается в зоне между полюсами, а в зонах примыкания полюсов магнитопровода к загрузке и за пределами индуктора температура уменьшается. С увеличением времени нагрева абсолютная температура по

Процесс нагрева металлической пластины был смоделирован в программе «ELCUT» [2]. На первом этапе решения поставленной задачи было определено распределение

внутренних источников энергии в системе «примыкающий индуктор – плоская загрузка». Далее с использованием полученных результатов была решена задача нестационарной теплопередачи исследуемой системы.

Картина распределения температуры по объему загрузки и графики распределения температуры по поверхности загрузки представлены на рисунке 4.

Из анализа картины распределения температурного поля по объему загрузки и кривых распределения температуры по длине загрузки, представленных на рисунке 4, следует, что наибольшая температура имеет место в центре загрузки, что было подтверждено экспериментально, а в зонах примыкания полюсов магнитопровода к загрузке она уменьшается. Наибольшее значение температуры, отмеченное через 30 минут нагрева, составляет 470 °С, наименьшее – 399 °С. Таким образом, разница температур между центром загрузки и полюсами магнитопровода составляет 71 °С, что подтверждает наличие неравномерности нагрева плоской загрузки по её поверхности и объему и концентрацию основных источников тепла в межполюсном пространстве системы «примыкающий индуктор – плоская загрузка».

Достоверность результатов исследований, полученных с помощью программного пакета «ELCUT», подтверждена их хорошей сходимостью с данными, полученными экспериментальным путем на физической модели.

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1) при одностороннем нагреве примыкающим индуктором наибольшая энергия концентрируется в межполюсном пространстве и под полюсами магнитопровода, что приводит к неравномерному распределению температуры по объему и поверхности плоской загрузки и, как следствие, к локальному перегреву отдельных областей;

2) с увеличением времени нагрева растет неравномерность распределения температуры по объему нагреваемого изделия.

Для устранения указанных выше недостатков требуется дополнительное проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование

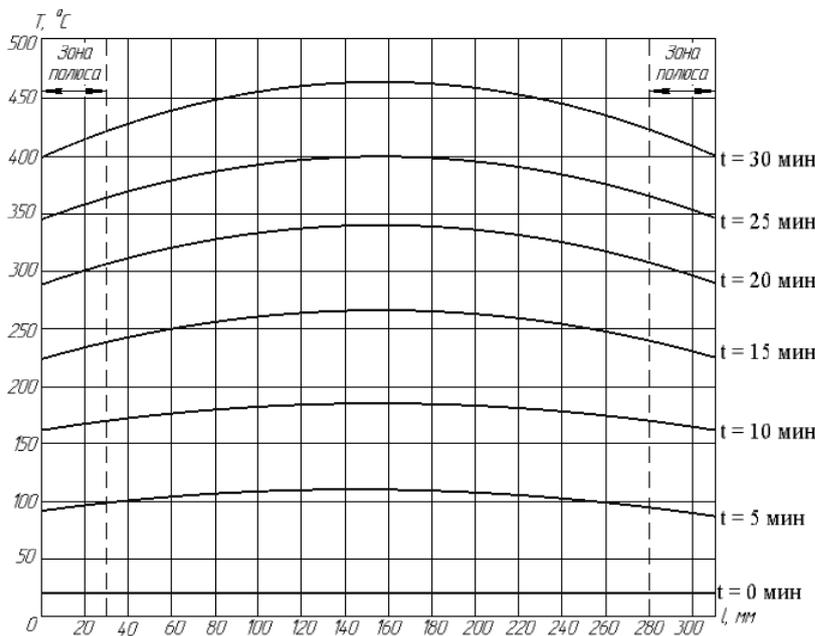
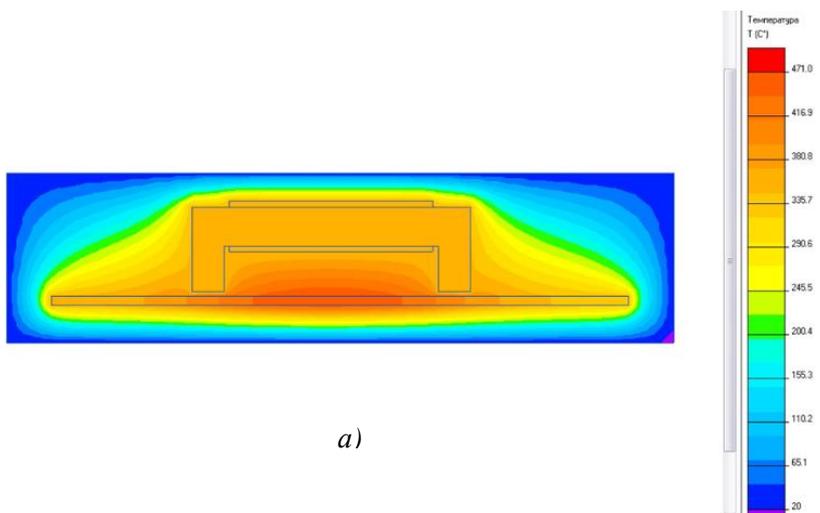


Рисунок 4 – Картина распределения температуры по объему загрузки (а) и кривые распределения температуры (б) по поверхности плоской загрузки

системы «примыкающий индуктор – плоская загрузка» с учетом изменения электрофизических свойств нагреваемых материалов. Одним из возможных способов получения однородного нагрева по объему и поверхности плоских металлических изделий может быть использование нескольких примыкающих индукторов, смещенных относительно друг от друга[3].

Список литературы

1. Качанов, А.Н. Классификация и область применения систем низкотемпературного индукционного нагрева с разомкнутыми магнитопроводами [Текст] / А.Н. Качанов, Н.А. Качанов, Д.А. Коренков // В сб.: Вестник МЭИ. – Москва: Изд-во МЭИ. – 2016. – С. 36 – 40.

2. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя/ Санкт-Петербург: Производственный кооператив ТОР, 2010. – 345 с.

3. 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. – Орёл: Госуниверситет – УНПК. – 2015. – С. 81 – 84.

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 гр. 1-ЭО(з)-М, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева».

RESEARCH OF DISTRIBUTION OF THE TEMPERATURE FIELD IN FLAT LOADING DURING HEATING BY THE ADJACENT INDUCTOR

Kachanov A.N., Gladyshev A.V.

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

The article presents the results of a study of the temperature field distribution in a plane loaded with one-sided heating of adjacent inductor.

Key words: thermal field, adjacent inductor, planar magnetic loading, the program «ELCUT».

Bibliography

1. Kachanov, A. N. Classification and application systems of low-temperature induction heating with open magnetic circuits [Text] / A. N. Kachanov, N.A. Kachanov, D. A. Korenkov. In journal: Vestnik MEI. – Moscow: Publishing house of MEI. – 2016. – P. 36 – 40.

2. ELCUT. Modeling of two-dimensional fields by the finite element method. Usermanual/ St. Petersburg: Productioncooperative TOR, 2010. – 345 p.

3. Kachanov, A. N. The study of the distribution of the main parameters of thermal fields in the system «adjacent the inductor – flat download» 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 – Orel: State University – ESPC. – 2015. – P. 81 – 84.

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

Gladyshev Alexey Viktorovich– student gr. 1-EO(z)-M, FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev"

УДК 621.365.52.029.45

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С КУСКОВОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Генералов И. М.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Приведено описание постановки и результатов экспериментов для исследования параметров индукционной тигельной печи при нагреве ферромагнитной кусковой загрузки с использованием метода физического моделирования.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, физическое моделирование, ферромагнитная кусковая загрузка, теория подобия.

Для эффективной плавки стального лома печи малой и средней емкостью питают от транзисторного преобразователя частоты в диапазоне средних частот (от 250 Гц до 2400 Гц). Зная параметры загрузки (шихты), которые изменяются в процессе нагрева, а именно активное $R_{\text{и}}$ и реактивное $X_{\text{и}}$ сопротивления, можно настроить параметры источника питания для согласования ИТП с преобразователем таким образом, чтобы обеспечить работу силовых элементов инвертора в безопасных режимах. Поэтому особый интерес составляет определение зависимостей изменения параметров системы «индуктор-загрузка» при нагреве кусковой ферромагнитной шихты [1].

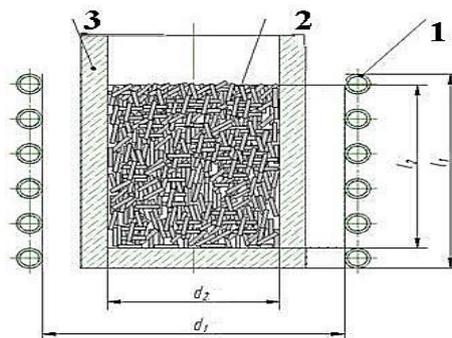


Рисунок 1 - Физическая модель ИТП

Аналитические методы определения параметров загрузки осложнены нелинейными зависимостями магнитной проницаемости стали от температуры и напряженности магнитного поля, а упрощения расчетной модели приведут к существенным неточностям. В качестве другого способа определения параметров шихты используются методы физического моделирования, позволяющие на масштабной модели печи выявить закономерности изменения электрических параметров индукционной тигельной печи (ИТП) с ферромагнитной кусковой загрузкой. Оно основано на изменении масштаба физических свойств материалов, геометрических размеров системы или параметров, характеризующих режим нагрева, при сохранении природной сущности процессов, происходящих в исследуемой модели.

Для определения вида функции и определяющих её коэффициентов была проведена физическое моделирование на масштабной модели ИТП. На рис. 1 представлен эскиз моделируемой ИТП, где 1 – индуктор; 2 – кусковая ферромагнитная загрузка; 3 – огнеупорный керамический тигель. Параметры модельной установки следующие: $d_{1\text{м}} = 94$ мм, $d_{2\text{м}} = 67$ мм, $l_{1\text{м}} = 76$ мм, $l_{2\text{м}} = 113$ мм, масса загрузки до 1,5 кг, частота в начальный момент нагрева шихты, $f_{\text{м}} = 16,8$ кГц, число витков индуктора – 6. Печь питается от транзисторного последовательного инвертора максимальной установленной мощностью 2,5 кВт и частотой 16-21 кГц. Преобразователь частоты выполнен с принудительным воздушным охлаждением, охлаждение индуктора водяное [2].

В тигель с загрузкой помещены датчики температуры t и напряженности магнитного поля H . Две термодары, одна из которых помещена в центре загрузки $t_{\text{ц}}$, а другая – на том же уровне по высоте, но только у стенки тигля со стороны загрузки $t_{\text{п}}$. В качестве датчиков напряженности магнитного поля H использованы небольшие катушки по 5 витков, индуцируемое напряжение которых пропорционально напряженности H . Распределение напряженности

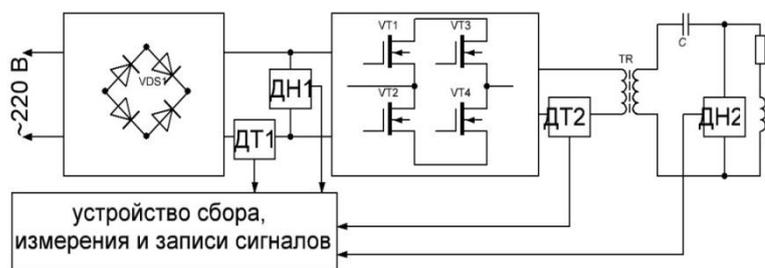


Рисунок 2 - Схема измерения электрических параметров установки

поля Н измерялось при низкой температуре во избежание повреждения изоляции витков катушек при нагреве.

Для моделирования самой кусковой шихты применялись куски стальных прутков длиной 25 мм трех разных диаметров (1,1; 2,9 и 6,7 мм). При этом приняты следующие диапазоны варьирования влияющих факторов: ток I – 100÷270 А, температура T – 40÷1100°C, частота тока f – 17÷19,5 кГц.

Схема измерений электрических параметров установки представлена на рис. 2, отражающая принцип функционирования преобразователя частоты в экспериментальной установке. Из схемы видно, что используется последовательная схема компенсации реактивной мощности индуктора, а это означает, что вблизи резонансной частоты колебательного контура мощность в нагрузке будет максимальна, которая будет зависеть от параметров системы индуктор-загрузка значительно, учитывая характер нагрузки.

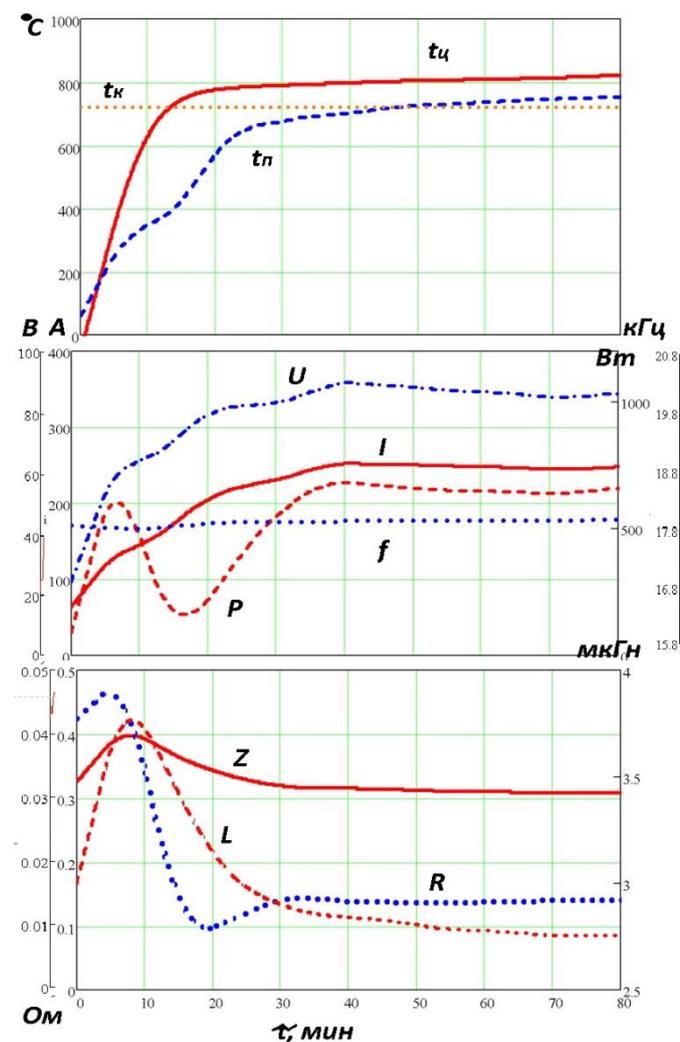


Рисунок 3 - Экспериментальные данные при измерении характеристик загрузки ($d=1,1$ мм)

При помощи датчика тока ДТ1 и датчика напряжения ДН1 измерялась активная мощность, потребляемая экспериментальной установкой. Датчики ДТ2 и ДН2 позволяют определить ток и напряжение на индукторе соответственно, поскольку коэффициент трансформации для трансформатора ТР известен и равен 26, то пересчитывая показания, измеренные с датчика ДТ2 на данный коэффициент, находим ток во вторичной обмотке, который и есть ток индуктора. Значение рабочей частоты измерялось с датчика ДН2, преобразуя синусоидальное напряжение в бинарный сигнал TTL-уровня, производился подсчёт числа импульсов полученного цифрового сигнала на фиксированном интервале времени с помощью цифрового счётчика. Помимо измерения электрических величин, проводились измерения температур воды на входе и выходе из индуктора. Из полученных данных вычисляются параметры R и L [3]. Определение L вместо X производится по причине того, что в процессе нагрева частота источника питания автоматически подстраивается под изменяющуюся нагрузку. Активная мощность P , выделяемая в нагрузке, вычисляется вычитанием от измеренной мощности по схеме (рис. 2) мощностей потерь в преобразователе частоты и мощности

потерь в индукторе. Первая из них вычисляется на основе известного к.п.д. преобразователя на номинальной мощности 2 кВт, равная 0,92, вторая же получается из определения эквивалентного активного сопротивления индуктора при калориметрировании энергии потерь в индукторе на начальном этапе нагрева загрузки, когда нагрев воды в индукторе производится только за счёт электрических потерь на его активном сопротивлении. Температура загрузки определяется как «усредненная» температура двух термопар с учетом того, что сама загрузка является цилиндром, составленным из отдельных кусков, но при этом

принимается допущение о линейности распределения температуры по радиусу такого цилиндра. Так на рис. 3 приведены результаты экспериментов для загрузки диаметром $d = 1,1$ мм.

Следует отметить на зависимостях температур центра $t_{ц}$ и периферии $t_{п}$ загрузки от времени, что температура центра $t_{ц}$ загрузки получается более высокой, тогда как в сплошной загрузке центр является более холодным. Такое распределение температур является «аномальным». Объясняется полученный эффект тем, что электромагнитное поле существует в центре загрузки и там выделяется энергия. На периферии, хотя тепловой энергии выделяется больше, но выше тепловые потери. Итоговый баланс тепловых потоков приводит к наблюдаемому эффекту.

Заключение

1. Физическое моделирование является методом исследования объекта, при котором сохраняется природа явлений и взаимосвязь влияющих факторов, однако нелинейность характеристик ИТП с кусковой ферромагнитной загрузкой осложняет использование результатов моделирования на масштабной модели.

2. Аномальное распределение температуры в загрузке обусловлено её кусковым характером, при котором тепловая энергия выделяется в центре загрузки.

3. Статистическая обработка экспериментальных данных позволяет перейти к математическому описанию объекта физического моделирования, на основе которого становится возможным производить расчет конкретной ИТП с кусковой ферромагнитной загрузкой с использованием теории подобия.

Список литературы

1. Простяков А.А. Индукционные печи и миксеры для плавки чугуна. М: Энергия, 1977, – 216 с.
2. Генералов И.М. Определение электрических параметров индукционной печи при нагреве ферромагнитной шихты до точки Кюри. XII Международная интернет-конференция. Материалы конференции. - Орёл: Изд-во: «ОрёлРЦЭ», 2014. – С. 67.
3. Кувалдин А.Б., Федин М.А., Генералов И.М. Физическая модель для определения характеристик индукционной тигельной печи при нагреве ферромагнитной кусковой шихты // Индукционный нагрев. СПб: Изд-во: «Комлиз-Полиграфия» 2015. № 1. - С. 3-8.

Генералов Иван Михайлович - аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: generlov.ivan2012@yandex.ru

INDUCTION CRUCIBLE FURNACE PHYSICAL SIMULATION WITH LUMPY FERROMAGNETIC CHARGE

Generalov I.M.
Russia, Moscow, MPEI

The description of the performances and the results of experiments to study the parameters of inductional crucible furnace during heating of the ferromagnetic lumpy charge using the method of physical modeling are shown.

Keywords: induction heating, induction crucible furnace, physical modeling, ferromagnetic lumpy charge, similarity theory.

Bibliography

1. Prostyakov A. A. Indukcionnye pechi i miksery dlya plavki chuguna. M: Energiya, 1977, – 216 s.
2. Generalov I. M. Opredelenie elektricheskix parametrov indukcionnoj pechi pri nagreve ferromagnitnoj shixty do točki kyuri. XII Mezhdunarodnaya internet-konferenciya. Materialy konferencii. - Orel: izd-vo: «Orelrce», 2014. – s. 67.
3. Kuvaldin A. B., Fedin M. A., Generalov I. M. Fizicheskaya model dlya opredeleniya karakteristik indukcionnoj tigelnoj pechi pri nagreve ferromagnitnoj kuskovoj shixty // Indukcionnyj nagrev. SPb: izd-vo: «Komliz-poligrafiya» 2015. № 1.- s.3 8.

СЕКЦИЯ № 4. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Руководитель:

Ефимов Михаил Александрович - кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОГАУ» г. Орёл.

УДК 621.311.13; 621.365:621

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Черкасова Н.И.

Россия, г. Рубцовск, Рубцовский индустриальный институт ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

В статье рассматривается широкий спектр проблем состояния и эксплуатации распределительных сетей 10-0,4 кВ, предлагаются мероприятия по комплексному повышению энергоэффективности системы электроснабжения.

Ключевые слова: повышение энергоэффективности, система электроснабжения сельского хозяйства, надёжность, экономичность, критерии оценки.

Развитие электрификации аграрного сектора экономики является одним из основных стратегических направлений по обеспечению продовольственной безопасности страны. В настоящее время перед агропромышленным сектором поставлены сложные задачи обеспечения населения продовольственными товарами, включая импортозамещение, выполнение которых невозможно без стабильного надёжного энергообеспечения. Это, безусловно, потребует комплексного повышения энергоэффективности системы электроснабжения сельского хозяйства, что возможно лишь благодаря современным высоким технологиям с привлечением технологий гибких линий (FACST) и активно-адаптивных сетей (Smart Grid).

Проблемы эксплуатации электрических сетей в большинстве своем приходится на распределительные сети напряжением 10-0,4 кВ, которые по месту расположения и характеру потребителей считаются сельскими и осуществляют электроснабжение объектов сельской инфраструктуры и сельскохозяйственного производства. Они находятся на более низком иерархическом уровне управления и располагаются ближе к потребителям. К основным проблемам сельских сетей относится низкая надёжность сетей, большие потери электроэнергии и низкое качество поставляемой потребителям электрической энергии.

Техническое состояние половины сельских сетей, по мнению специалистов, считается неудовлетворительным, отключения воздушных линий 10 и 0,4 кВ составляют от 40 до 90 % от общего количества аварийных отключений. Часто причиной низкого качества электроэнергии является большая протяженность сельских линий 10 кВ. Оптимальной длиной упомянутых линий считается 8 - 12 км, однако каждая седьмая линия 10 кВ длиннее 25 км, а у 35 % сельских потребителей вечером напряжение падает до 190 – 200 В [1].

В связи с установлением рыночных отношений значимость проблемы потерь электроэнергии существенно возросла. Стоимость потерь является одной из составляющей тарифа на электроэнергию. В течение периода с 1991 по 2002 г. суммарные потери в энергосистемах России росли в абсолютном значении и в процентах отпуска электроэнергии в сеть, хотя потребление электроэнергии уменьшалось. Потери

электроэнергии при её передаче неизбежны, задача состоит в определении их экономически обоснованного уровня.

Одной из основных причин можно назвать отсутствие оптимального соотношения величины токовой нагрузки и сечения провода. Уровень нагрузочных потерь в линии, как известно, определяется величиной нагрузки (ток линии, I, A), удельным сопротивлением линии (зависящим от сечения провода $F, \text{мм}^2$) и дальностью передачи, $l, \text{км}$. Нагрузку при известном сечении провода удобно выразить через плотность тока, $j, A/\text{мм}^2$ ($j = I/F$).

Чтобы разобраться в причинах высокого уровня относительных потерь и, следовательно, высокой стоимости электроэнергии, обратимся в прошлое и рассмотрим исторический аспект потерь электроэнергии.

При плановой экономике в практике массового проектирования линий электропередач выбор сечения проводников производился по нормируемым обобщенным показателям, к которым относится экономическая плотность тока, $j_{\text{эк}}, A/\text{мм}^2$. Выбор проводов по экономической плотности тока соответствует условию минимума приведенных затрат на ВЛ. Следовательно, при экономической плотности тока стоимость передачи электроэнергии по ВЛ минимальна [2]. «Согласно правил устройства электроустановок (ПУЭ) для ВЛ значения экономической плотности тока для алюминиевых проводов принимались в пределах $1,0 \dots 1,3 A/\text{мм}^2$ – в зависимости от числа часов использования максимальной нагрузки.

В процессе реструктуризации энергетики формирование тарифов перешло в компетенцию региональных энергетических комиссий. Тарифы различны для разных районов России, причем даже в одном регионе они существенно отличаются, например, для Сибири на 1 декабря 2002 года тарифы составляли (рублей за 1 кВт·ч): «Алтайэнерго» - 0,92; «Новосибирскэнерго» - 0,78; «Кузбассэнерго» - 0,61; «Хакассэнерго» - 0,31.

На сегодняшний день стоимость электроэнергии увеличилась в 6...9 раз, и тарифы дифференцированы по уровню напряжения присоединения, величине заявленной мощности, числу часов использования максимальной нагрузки, зонам суток, и т.д. Стоимость алюминия с 2001 года по сегодняшний день в России возросла на 27-37 % и близка к мировым ценам.

Сегодня, с учетом изменения цен на цветные металлы, на электроэнергию, с учетом инфляции желательнее иметь для региона ОАО «Алтайэнерго» экономическую плотность тока для линий 10 кВ, в пределах $0,6 \div 0,8 A/\text{мм}^2$ [3].

Основной задачей реконструкции является приведение электрической сети в соответствие с пропуском по ней электроэнергии. Автором разработана *Стратегия развития существующих сельских распределительных сетей 10 - 0,4 кВ с учетом потерь энергии* [4]. Для этого предлагается все оборудование сетей разделить на две группы: эксплуатируемое и обслуживаемое. Часть оборудования, имеющего малую загрузку в резервируемых схемах следует вывести из эксплуатации и утилизировать или перевести в режим складского хранения. Оставшимся линиям обеспечивается повышенная загрузка, благодаря этому эксплуатационные показатели линий приближаются к оптимальным. Следует производить реконструкцию наиболее загруженных линий на основании коэффициента использования оборудования и адаптированной к сегодняшнему дню экономической плотности тока $j_{\text{эк}}$

$$k_{\text{исп}} = \frac{F_{\text{эк}}}{F}, \text{ где } F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{сп}}}{j_{\text{эк}}}; j = \frac{I_{\text{сп}}}{F}.$$

При оптимизационной постановке задачи, следует ввести целевую функцию в виде суммы квадратов сечений проводов ВЛ от значений, определяемых экономической плотностью тока

$$L = \sum (F - F_{\text{эк}})^2 \rightarrow \min.$$

На основании применения этого подхода к распределительным сетям 10 кВ можно добиться снижения технических потерь более, чем на 3,7 %

Важным показателем распределительной сети 10 - 0,4 кВ является ее пропускная способность. Повышение пропускной способности сети не только обеспечивает экономичность передачи электроэнергии, но и повышает надежность электроснабжения потребителей и улучшает качество передаваемой электроэнергии.

Реактивная мощность, передаваемая по сети (Q), занимая часть сечения ВЛ, снижает пропускную способность сети, кроме того возникают дополнительные потери активной мощности (P), и дополнительные потери напряжения. Известно, что передача реактивной мощности «забирает» существенную часть сечения проводов и мощности трансформаторов, при $tg\varphi = 0,5$ ($tg\varphi = Q/P$) суммарные потери достигают порядка 20 %. Снижения величины реактивных потоков добиваются путём применения компенсирующих устройств (КУ). Применение компенсирующих устройств даёт наибольшую энергетическую эффективность на рубль капиталовложений, и в большинстве европейских стран коэффициент реактивной мощности поддерживается на уровне 0,3.

Исследования режима реактивной мощности на воздушных линиях 10 кВ, принадлежащих распределительной сетевой компании Сибири показали, что 95 % линий имеют значение тангенса выше предписанных, и среднее значение тангенса составляет 0,65 [5].

Однако, в рыночных условиях невозможно обязать, например сельскохозяйственного производителя производить затраты на компенсацию реактивной мощности в линии электропередачи, которая питает его хозяйство, но принадлежит распределительной компании. Задачу снижения потоков реактивной мощности в собственных сетях должны решать самораспределительные компании, так как это приводит к снижению суммарных потерь в сетях и прибыль компании существенно возрастает.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что режим реактивной мощности в распределительных сетях не контролируется и не регулируется, компенсирующие устройства в сетях не устанавливаются. Однако, использование конденсаторных батарей и симметрирующих компенсирующих устройств при эксплуатации сетей 10 – 0,4 кВ дало бы возможность повысить энергоэффективность системы электроснабжения за счет возможности применения в распределительных сетях данного напряжения современных технологий гибких линий (FACTS) и «умных» сетей (SmartGrid).

Выводы:

1. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока, адаптированной к современным условиям приведет к минимальной стоимости передачи электроэнергии по ВЛ; повышению надежности сети 10 кВ и улучшению качества электроэнергии в сети в плане отклонения напряжения.

2. Необходимо пересмотреть ПУЭ, глава 1.3 «Выбор сечения проводников по экономической плотности тока» (пункт 1.3.25) в части таблицы 1.3.36.

3. В целях снижения затрат на эксплуатацию электрических сетей за счет снижения технических потерь до оптимального уровня, необходимо проводить реконструкцию сетей на основе экономической плотности тока, адаптированной к новым условиям.

4. В сельских электрических сетях 10 кВ режим реактивной мощности не контролируется и не регулируется. Для повышения пропускной способности, снижения потерь напряжения и потерь электроэнергии доказана необходимость применения компенсирующих устройств в сельских сетях 10 кВ.

Список литературы

1. Кудрин Б.И. Об энергетической стратегии и энергетической безопасности России // Промышленная энергетика. – М. 2008. - №12. – С. 2-7.
2. Черкасова Н.И. Моделирование, анализ и оптимизация потерь в распределительных электрических сетях 10 - 0,4 кВ: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. - 96 с.

3. Черкасова Н.И. Оценка плотности тока в проводах сельских линий 10-0,4 кВ в современных условиях/ Н.И. Черкасова //Электрические станции. – М., 2014. - № 5. – С. 50-54.

4. Черкасова Н.И. Стратегия развития существующих сельских распределительных сетей 10-0,4 кВ. / Н.И. Черкасова // Техника в сельском хозяйстве, Москва: № 5. 2013, стр.12-14.

5. Черкасова Н.И. Повышение энергоэффективности системы сельского электроснабжения компенсирующими устройствами/ Н.И. Черкасова // Механизация и электрификация сельского хозяйства – М., 2013. - № 6. – С. 17 - 19.

Черкасова Нина Ильинична - канд. техн. наук, доцент, Рубцовский индустриальный институт ФГБОУ ВО" Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова";658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6; раб.тел.(3855)75-98-75; e-mail:4ercas@bk.ru; моб.тел.(913) 360-97-62

INTEGRATED POWER SUPPLY SYSTEMS INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF RURAL CONSUMERS

Cherkasova N.I

*Russia, Rubtsovsk, Rubtsovsk Industrial Institute (branch)
Altai State Technical University by Polzunov I.I.*

The article deals with a wide range of issues and the state of operation of 10-0.4 kV distribution networks, offers activities for the integrated improvement of energy efficiency of the electric supply system.

Keywords: energy efficiency, system of agriculture power, reliability, cost-effectiveness, the evaluation criteria.

Bibliography

1. Kudrin B.I. About the energy strategy and energy security of Russia // Industrial power. - М. 2008. - №12. - P. 2-7.

2. Cherkasova N.I. Modeling, analysis and optimization of losses in the distribution of power networks 10 - 0.4 kV: monograph. - Novosibirsk: Publishing House of Novosibirsk State Technical University, 2008. - 96 p.

3. Cherkasova N.I. Assessment of density of current in wires rural lines of 10 kV in modern conditions / N.I. Cherkasova // Electric stations. - М., 2014. - № 5. - S. 50-54.

4. Cherkasova N.I. The development strategy of existing rural distribution networks 10-0.4 kV. / N.I. Cherkasova // Technology in Agriculture, Moscow: number 5. 2013 str.12-14.

5. Cherkasova N.I. Improving the energy efficiency of the system of rural electric power supply compensating devices / N.I. Cherkasova // Mechanization and electrification of agriculture - М., 2013. - № 6. - S. 17 - 19.

Cherkasova Nina, Ph. D., Associate Professor, Rubtsovsk Industrial Institute (branch)

Altai State Technical University by I.I. Polzunov; Address of work (index) 658 207, Rubtsovsk, ul. Tractor, 2/6; Work phone (with area code) (3855) 75-98-75
Address e-mail * 4ercas@bk.ru* Mobile phone (913) 360-97-62

УДК 608.4

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОПТИМИЗАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАРТИНЫ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мигалёв И.Е., Титов Е.В.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Статья рассматривает способы ускорения работы алгоритмов, которые применяются при формировании точечных и цилиндрических картин опасности электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, картины опасности.

Одним из направлений разработки в области анализа опасности электромагнитной обстановки сегодня — это построение и анализ различных картин опасности электромагнитной обстановки [1].

Наиболее простые способы представления картины опасности — это так называемые точечные и цилиндрические картины.

Точечные картины опасности проецируются на плоскость простым способом, изображённым на рисунке 1. Рассмотрим процесс формирования цифрового изображения, состоящего из пикселей, на основании набора параметров электромагнитного поля, полученных в результате моделирования. Имея габаритные размеры помещения и способ определения численного параметра электромагнитного поля по трём координатам x , y , z , подготавливают пиксельное изображение, которое в определённом масштабе соответствует площади всего помещения. Затем для каждого пикселя этого изображения выполняется следующая процедура:

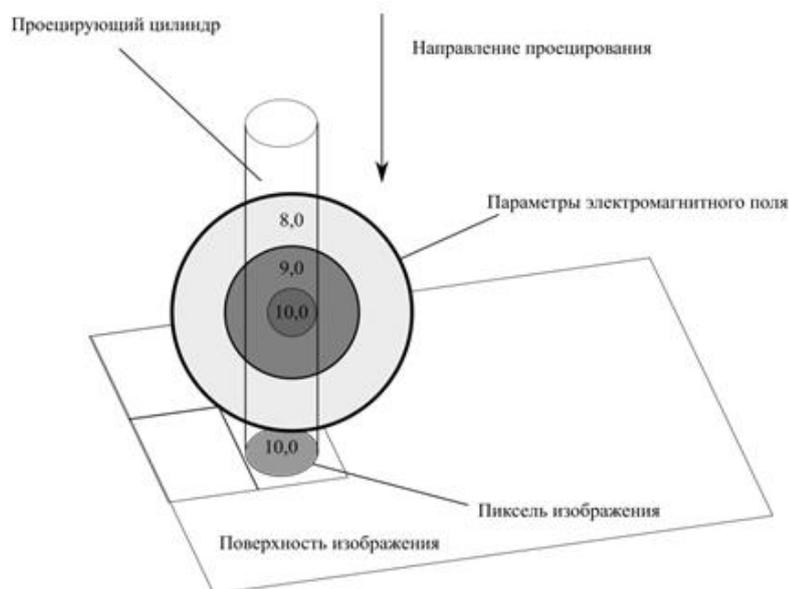


Рисунок 1 – Способ формирования точечной картины опасности

1. Сканируется область пространства, расположенная непосредственно над пикселем.
2. Из всех попавших в эту область значений моделируемой величины выбирается максимальное.
3. На основании этого максимального значения вычисляется цвет пикселя, полученный пиксель размещается на изображении. В целях дальнейшего улучшения модели предлагается принять, что “область пространства, расположенная над пикселем” определяется цилиндром диаметром в 1 пиксель. Для однопиксельного цилиндра это не имеет

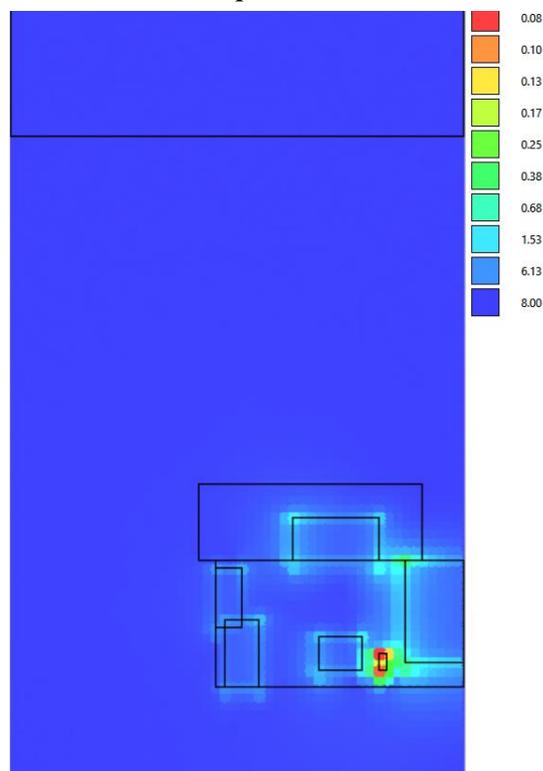


Рисунок 2 – Точечная картина опасности электромагнитного

значения, но для больших размеров (см. далее) это допущение является существенным.

Пример точечной картины опасности приведён на рисунке 2. Как правило, при представлении картины опасности производят также переход ко времени допустимого пребывания, так что картина опасности показывает это время для разных зон помещения, например, в часах или минутах.

При формировании цилиндрической картины опасности вместо цилиндра диаметром в 1 пиксель выбирают диаметр большего физического размера (порядка 1 м). Это позволяет отобразить большую опасность в точках, прилежащих к опасному оборудованию, и оптимизировать итоговую картину для размещения рабочих мест с её помощью. Схема проецирования, используемая при формировании цилиндрической картины опасности, изображена на рисунке 3.

Построение точечной и цилиндрической картин опасности на практике сопряжено с некоторыми алгоритмическими сложностями.

На практике обычно строят изображения достаточно высокого разрешения, масштабы изображений принимают порядок приблизительно 1

пиксель на 0,5 см помещения. В то же время, современные алгоритмы моделирования, пригодные для построения моделей помещений, обладают разрешением порядка 5 см, что означает, что вычислительная сетка при моделировании имеет размер шага в 5 см, и, соответственно, все результаты моделирования имеют только с этой точностью.

При этом, несмотря на то, что разрешение вычислительной сетки меньше разрешения изображения, количество точек всё равно достаточно велико. Например, количество узлов вычислительной сетки для помещения 2 x 4 x 8 м составит 512000 шт.

Очевидные сложности вызывает алгоритм определения цвета каждой точки изображения в случае построения цилиндрической картины опасности. В основном случае на каждом шаге вычисления (т. е. для каждой из точек строящегося изображения) требуется проверять на принадлежность цилиндру все точки модельной сетки. Это означает, что для построения изображения 512 x 512 пикселей потребуется 134 миллиарда шагов. Даже современное оборудование требует достаточно больших временных затрат на осуществление такого большого количества вычислений.

Простейшая оптимизация может состоять в построении двух упорядоченных списков, в которых сохраняются координаты точек по осям X и Y. Затем в ускоренном режиме отбрасываются точки, которые не входят в параллелепипед, описанный вокруг цилиндра; для каждой точки внутри параллелепипеда проводится обычная проверка на вхождение в цилиндр.

С учётом описанной выше оптимизации время построения простых цилиндрических картин электромагнитной опасности на четырёх-ядерном процессоре Core i7 может составлять до 20 минут для помещения небольших размеров.

Этой оптимизации недостаточно, если требуется строить большое количество картин опасности для одного и того же помещения, т. к. алгоритм не позволяет избавиться от шагов совсем, а просто упрощает некоторые шаги алгоритма, так что оценка вычислительной сложности алгоритма остаётся той же самой. Ввиду этого предлагается оптимизация, которая сокращает время поиска точек: использование K-мерных деревьев [2] (применительно к задаче K = 2, так что дальше деревья именуются двухмерными).

Двухмерное дерево представляет собой структуру данных, которая позволяет быстро (за логарифмическое время) находить узлы и диапазоны узлов по координатам. В частности, достаточно быстро осуществляются следующие виды запросов:

1. Поиск всех узлов на заданном расстоянии от центра — позволяет быстро найти все точки изображения, размещающиеся внутри цилиндра или пикселя.
2. Поиск ближайшей точки к заданным координатам — позволяет быстро определять цвета пикселей на значительно разреженных моделях электромагнитного поля (т. е. таких моделях, разрешение которых превышает разрешение получаемых изображений, что на практике встречается в большинстве случаев).

Применение описанной оптимизации к построению цилиндрических и точечных картин опасности электромагнитного поля позволяет значительно ускорить построение этих картин — во время испытаний алгоритмов время построения цилиндрической картины сократилось с 20 минут для разрешения 256 x 256 пикселей до 20 секунд для разрешения 512 x 512 пикселей, то есть при возможности увеличении площади изображения в 4 раза затраты времени упали в 60 раз. Полученный алгоритм является одним из элементов

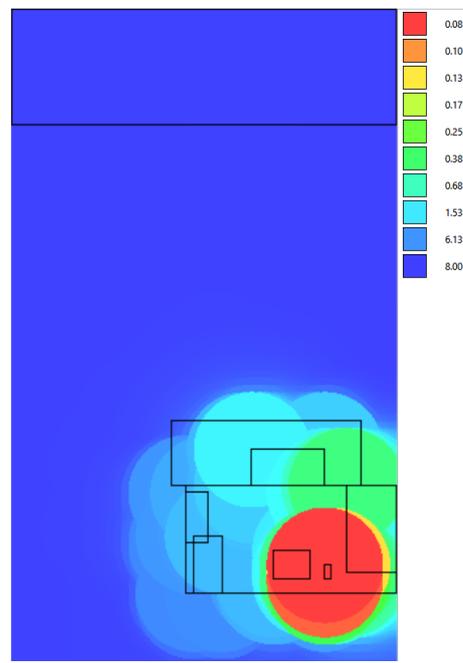


Рисунок 3 - Цилиндрическая картина опасности электромагнитного излучения в помещении

разрабатываемого технологического модуля для комплексного контроля электромагнитной обстановки на объектах АПК.

Проект выполнен при поддержке Некоммерческого партнерства «Глобальная энергия» (Грант №МГ-2015/04/2).

Список литературы

1. Сошников, А.А. Автоматизация интегрированного контроля электромагнитной обстановки на основе технологической платформы [Текст] / А.А. Сошников, И.Е. Мигалёв // Ползуновский вестник. –2014. – Т. 1 – № 4. – С. 183 - 188.

2. Bentley, J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching // Communications of the ACM, 18 (9): 509. 1975.

Мигалёв Иван Евгеньевич - соискатель ученой степени канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29, e-mail: i.migalev@gmail.com

Титов Евгений Владимирович - канд. техн. наук, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, доцент кафедры «Электрификация производства и быта»; почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46; тел.: (3852) 36-71-29, e-mail: 888tev888@mail.ru

ALGORIGHMIC OPTIMIZATIONS USED FOR PREPARATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION DANGER PICTURES

Migalyov I.E., Titov E.V.
Russia, Barnaul, AltSTU

The article presents possible optimizations of the algorithms used for drawing the point and cylindric electromagnetic radiation danger pictures.

Keywords: electromagnetic environment, danger pictures.

Bibliography

1. Soshnikov, A.A. Avtomatizaciya integrirovannogo kontrolya ehlektromagnitnoj obstanovki na osnove tekhnologicheskoy platformy [Tekst] / A.A. Soshnikov, I.E. Migalyov // Polzunovskijvestnik. –2014. – Т. 1 – № 4. – Р. 183 - 188.

2. Bentley J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching // Communications of the ACM, 18 (9): 509. 1975.

Migalyov Ivan Evgenyevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29, e-mail: i.migalev@gmail.com

Titov Evgeny Vladimirovich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852) 36-71-29, e-mail: 888tev888@mail.ru

УДК 631.171: 539.219.1

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АПК

Халина Т.М., Дорош А.Б.

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

Предлагаются технические средства локального поверхностно-распределенного обогрева на основе наноструктурных многоэлектродных композиционных электрообогревателей, работающих в режиме саморегулирования. Приведены метод расчета электрической проводимости электрообогревателей и результаты экспериментальных исследований наноструктуры электропроводного слоя.

Ключевые слова: энергоэффективная система подогрева, многоэлектродный композиционный электрообогреватель, саморегулирование, электрическая проводимость

В современных условиях роста цен на энергоносители и ограничения доступности и высокой стоимости импортного оборудования разработка и внедрение инновационных энергосберегающих технологий и технических средств в сельском хозяйстве приобретают особую значимость и актуальность.

К их числу относятся вопросы создания энергоэффективных систем локального обогрева производственных и социально-значимых объектов АПК, в т.ч. напольного обогрева молодняка животных, водоводов и поилок, подогрева и сушки зернового материала, обогрева трехфазных счетчиков электроэнергии и контейнеров для средств телекоммуникации и связи. Известные современные широко используемые технические средства обогрева, обладая в отдельности несомненными достоинствами, такими как: диэлектрическая прочность, стабильное электрическое сопротивление, возможность саморегулирования, не обеспечивают комплекс свойств, необходимых для надежного энергоэффективного функционирования (Таблица 1). Поэтому разработка технических средств энергоэффективного поверхностно-распределенного электрообогрева с заданными электро-, теплофизическими характеристиками в сочетании с работой в режиме саморегулирования и возможностью функционирования во влажных и агрессивных средах позволяет решить проблему, представляющую важное научно-техническое значение.

Для этой цели предлагается использовать наноструктурные многоэлектродные композиционные электрообогреватели (МКЭ) на основе бутилкаучука (БК) пластинчатого типа (Рисунок 1), представляющие собой систему, преобразующую электрическую энергию в тепловую, обеспечивая заданную температуру на поверхности и соответствующие электр-, теплофизические и физико-механические характеристики [1].

В наиболее общем виде данные электрообогреватели содержат расположенный между изоляционными слоями 1 и 2 наноструктурный электропроводящий слой 3 с размещенными в нем электродами или системой электродов 4 и токоподводы 5. Электропроводящий слой МКЭ изготавливается на основе кристаллизующегося бутилкаучука БК 1675 с наполнителями в виде технического углерода (ТУ) промышленных марок, стеарина и дополнительных функциональных ингредиентов.

На основе анализа особенностей структуры электрического поля в квазигомогенной среде наполненных полимеров и установленных методом конформных отображений и непосредственного определения напряженности поля E соотношений координат исходной и отображенной плоскостей удалось прямым расчетом определить электрическую проводимость композиционных электрообогревателей с двумя двух- и трехэлектродными системами, с тремя, пятью, девятью и т.д. электродами для различных соотношений конструктивных параметров в соответствии с требованиями эксплуатации и особенностями технологического процесса изготовления [2, 3]. Полученное общее решение явилось теоретической основой создания инженерных методик расчета и проектирования МКЭ, обеспечивающих заданную температуру рабочей поверхности и равномерность ее распределения [4]. Для плоскопараллельных расчетных моделей (Рисунок 2 а, б) примем заштрихованную область за часть плоскости комплексного переменного z и конформно отобразим их на верхнюю полуплоскость комплексного переменного ζ (Рисунок 2 в, г) таким образом, чтобы соблюдалось соответствие точек исходной и отображенной плоскостей согласно отображающим функциям [2, 3]:

$$\zeta = a_4 \operatorname{sn}\left(K_0 \frac{z}{l}, k_0\right), \quad (1)$$

$$\zeta = a_6 \operatorname{sn}\left(K_0 \frac{z}{l}, k_0\right), \quad (2)$$

где $\operatorname{sn}(K_0 \frac{z}{l}, k_0)$ - эллиптический синус, k_0 и k'_0 - значения модулей эллиптических синусов, определяющих отношения l/h для прямоугольников в плоскости z .
 Значения модуля k_0 в общем случае находятся из соотношения:

$$\frac{l}{h} = \frac{K_0}{K'_0}, \quad (3)$$

где K_0 и K'_0 - полные эллиптические интегралы первого рода с модулями $k_0 = \frac{a_4}{a_5}$,

$k'_0 = \sqrt{1-k_0^2}$ для системы с двойными электродами и $k_0 = \frac{a_6}{a_7}$, $k'_0 = \sqrt{1-k_0^2}$ для

систем с тройными электродами соответственно.

Таблица 1 - Технические средства локального обогрева

Тип обогревателя	Основное назначение	Удельная мощность, Вт/м ²	Площадь нагрева, м ²	Достоинства использования	Недостатки использования	Стоимость эффективно обогреваемой площади, руб/м ²
Тонкопленочные электронагреватели	Монтируются под покрытие (подогрев полов)	150...500	0,005...3,0	Стабильное электрическое сопротивление, химическая и биологическая инертность	Недостаточная прочность	5000...8000
Пленочные ИК-нагреватели (CALEO, ПЛЭН)	Обогрев зон содержания с/х животных, спец. назначение	100...300	0,05...3,0	Простота обслуживания и монтажа	Незащищенность от механических воздействий и агрессивных сред	8000...12000
Полимерные панели СофтТерм, Big Dutchman	Обогрев молодняка животных	200...400	0,4...1,0	Износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред	Отсутствует саморегулирование, значительный вес	8000...10000
Саморегулирующиеся на основе кабелей NELSON (США), RAYCHEM (Бельгия), TDK (Германия), SUNBEAM (Франция)	Универсальные	200...500	0,005...1,0	Диэлектрическая прочность, саморегулирование, простота монтажа и обслуживания	Небольшая площадь теплоотдачи, высокая цена	10000...15000

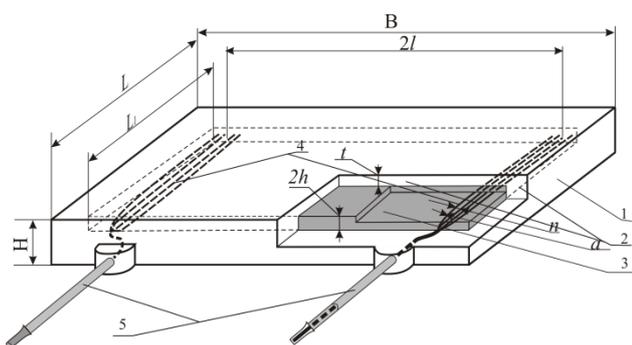


Рисунок 1 – Наноструктурный композиционный электрообогреватель пластинчатого типа (общий вид)

1,2-изоляционные слои, 3-электропроводящий слой;
 4-электроды; 5- токоподводы;
 B, L, L₁, h, l, t, a, n - геометрические размеры МКЭ

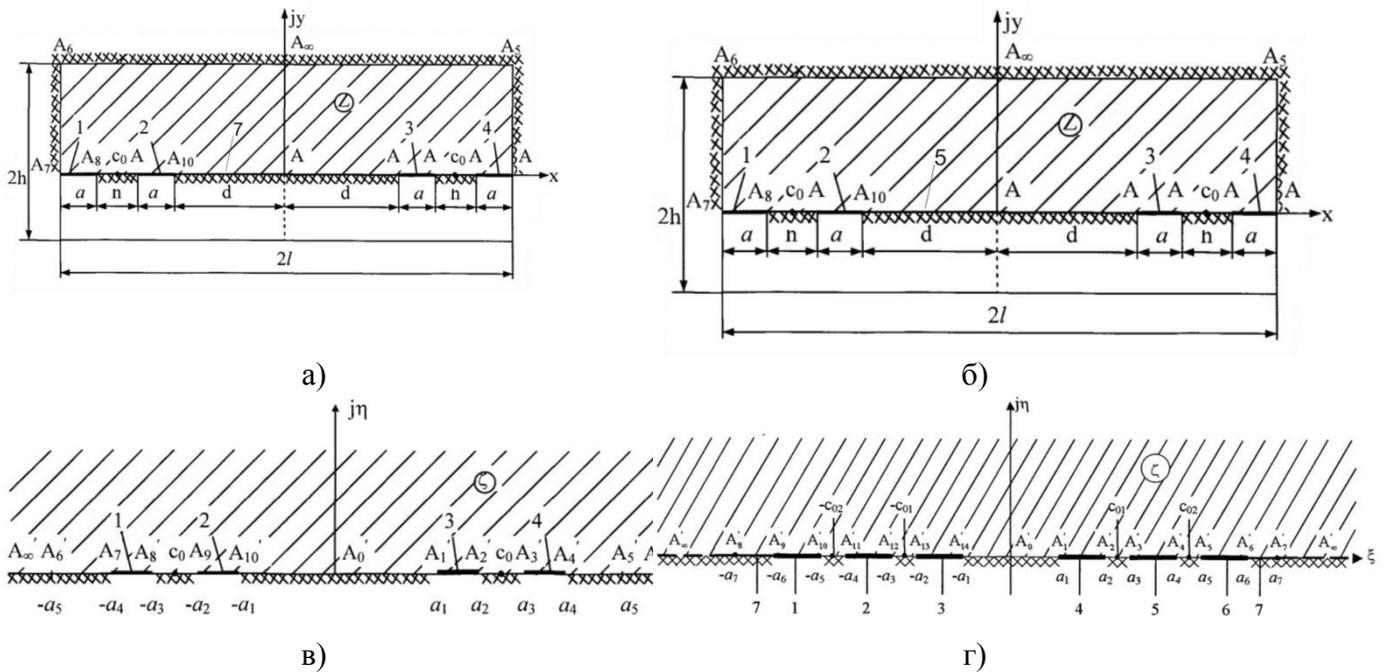


Рисунок 2 - а, б - расчетные модели электрообогревателей с различным расположением копланарных электродов, в, г-системы в отображенной плоскости
 1-6 электроды, 7- электропроводный композиционный материал

Знания абсолютных значений параметров отображения при расчете электрической проводимости МКЭ не требуется, так как они зависят лишь от соотношений между указанными параметрами.

В соответствии с известной методикой [2] значения модуля k_0 определяются по приближенной формуле:

$$k_0 = 4\sqrt{g} \left[\frac{1 + g^{1.2} + g^{2.3} + g^{3.4} + \dots + g^{n(n+1)}}{1 + 2g + 2g^4 + 2g^9 + 2g^{16} + \dots + 2g^{n^2}} \right]^2, \quad (4)$$

где $g = e^{-\frac{\pi h}{l}}$.

Предлагаемый алгоритм позволяет определить значения k_0 из решения трансцендентного уравнения (3) для различных отношений l/h [5].

Численные значения модулей k_0 и k'_0 и соответствующие им значения полных эллиптических интегралов K_0 и K'_0 , рассчитанные по предлагаемому методу для системы с двойными электродами, в сравнении с аналогичными контрольными значениями, приведенными в [3], представлены в таблицах 2,3.

Полученные данные, представленные в таблицах 2 и 3, свидетельствуют о соответствии приведенных значений и возможности использования предлагаемого метода расчета k_0 , k'_0 и K_0 , K'_0 для определения безразмерной проводимости G/γ электрообогревателей.

В случае использования приближенной формулы расчета k_0 при отношениях $l/h \geq 5$ для систем с двойными электродами и $l/h \geq 3$ для систем с тройными электродами значения k_0 стремятся к единице и расчет электрической проводимости между системами электродов G/γ становится невозможным. Для применяемых на практике электрообогревателей следует выбирать отношения $l/h > 10$, отвечающие требованиям эксплуатации. Использование для определения k_0 точной формулы позволяет осуществить выполнение расчетов с точностью до 42 знака после запятой, что дает возможность расширить диапазон изменения конструктивных параметров электрообогревателей, для которых может быть рассчитана

электрическая проводимость. Данные расчета безразмерной проводимости G_l/γ при различных отношениях l/h представлены в таблице 4, полученная зависимость G_l/γ от отношений l/h для электрообогревателей с двойными электродами приведена на рис.3.

Таблица 2- Значения модулей полных эллиптических интегралов первого рода

l/h	k_0	k'_0
5	0.9999987943869064	0.0015528118796613
	*0.999998794386906439961606743341635759796986	*0.00155281187966126322494154469833136994294027
4	0.9999721016503161	0.0074696667295096
	*0.999972101650316071269890935470604105344203	*0.00746966672950958190551115601083245586761249
3	0.9993546122061841	0.0359215682038989
	*0.999354612206184115284969850331415132213265	*0.0359215682038989341106255001647781811829866
2	0.9851714310094160	0.1715728752538099
	*0.985171431009416038689501963811907749574194	*0.171572875253809902396622551580603842860651
1	0.7071067811865475	0.7071067811865475
	*0.707106781186547524400844362104849039284836	*0.707106781186547524400844362104849039284836
1/2	0.1715728752538099	0.9851714310094160
	*0.171572875253809902396622551580603842860656	*0.985171431009416038689501963811907749574193
1/5	0.0015528118796613	0.9999987943869064
	*0.001552811879661263224941544698331369943648	*0.999998794386906439961606743341635759796985

* значения, рассчитанные в соответствии с предлагаемым методом.

Таблица 3 - Значения полных эллиптических интегралов первого рода

l/h	K_0	K'_0
5	7.8539863684096087	1.5707972736819196
	*7.85398636840959778193307875781380892521592	*1.57079727368191955638661575157486462972893
4	6.2832729539582565	1.5708182384895636
	*6.28327295395825428424586246666557965689644	*1.57081823848956357106146562476741819931658
3	4.7139102532100499	1.5713034177366834
	*4.71391025321005005662542714939752327566471	*1.57130341773668335220848149733879680939117
2	3.1651034544474318	1.5825517272237159
	*3.16510345444743182365709450265406378330989	*1.58255172722371591183313507107040987652949
1	1.8540746773013719	1.8540746773013719
	*1.85407467730137191419309100010769985438031	*1.8540746773013719141930910001076998543803
1/2	1.5825517272237159	3.1651034544474318
	*1.58255172722371591183313507107040987652949	*3.16510345444743182365709450265406378330989
1/5	1.5707972736819196	7.8539863684096087
	*1.57079727368191955638661575157486462972893	*7.8539863684095977819330787578138089247696

Как показано на рисунке 3, с увеличением отношения l/h значения G_l/γ уменьшаются, незначительно изменялась в зависимости от отношения $(2a+n)/h$, причем наибольшее G_l/γ составляет 0,68 при $(2a+n)/h=1$, что согласуется с физическими представлениями о работе электрообогревателей.

Полученная зависимость G_l/γ от конструктивных параметров в широком диапазоне изменения l/h используется при проектировании МКЭ для обогрева крупногабаритных и протяженных объектов.

Наиболее экономичными с точки зрения удельного расхода электроэнергии являются обогреватели, работающие в режиме саморегулирования мощности в зависимости от температуры окружающей среды. Для реализации работы наноструктурных МКЭ в этом режиме необходимо обеспечить их функционирование с отрицательным температурным коэффициентом, что достигается направленным выбором композиции электропроводящего слоя при следующем соотношении компонентов, масс. %: бутилкаучук - 59-60; ТУ - 19,5-21,1; стеарин - 1,44-1,53; дополнительные ингредиенты - 16,86÷19,46, и параметров технологического процесса его изготовления [1].

Таблица 4 - Значения безразмерной проводимости G/γ

l/h	Значения G/γ при использовании приближенной формулы расчета k_0 и при $(2a+n)/h=0,4$	Значения G/γ при использовании точной формулы расчета k_0 и при $(2a+n)/h=0,4$.	Значения G/γ при использовании приближенной формулы расчета k_0 и при $(2a+n)/h=1$	Значения G/γ при использовании точной формулы расчета k_0 и при $(2a+n)/h=1$
1	0,800336	0,8003357		
2	0,433561	0,4435606	0,680634	0,688732
3	0,307268	0,3072675	0,404958	0,407234
4	0,235046	0,2350456	0,288235	0,288395
5	0,190313	0,1903133	0,223744	0,224437
6		0,1598851		0,183298
7		0,1378456		0,157236
8		0,1211461		0,137832
9		0,1080556		0,121165
10		0,0975182		0,112670
11		0,0888534		0,102481
12		0,0816027		0,092963
13		0,0754461		0,087233
14		0,0701533		0,078037
15		0,0655544		0,073109

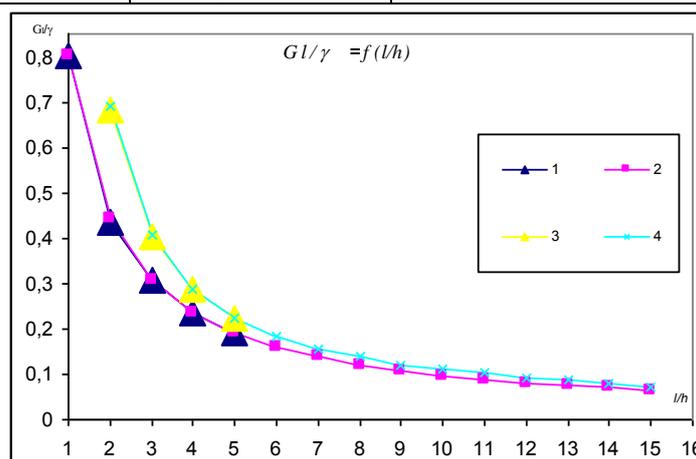


Рисунок 3 - График зависимости безразмерной проводимости G/γ от отношений l/h
 1- при расчете с использованием приближенной формулы расчета k_0 и отношении $(2a+n)/h=0,4$;
 2 - при расчете по предлагаемому методу и отношении $(2a+n)/h=0,4$; 3 - при расчете с использованием приближенной формулы расчета k_0 и отношении $(2a+n)/h=1$; 4- при расчете по предлагаемому методу и отношении $(2a+n)/h=1$

Оценка свойств ингредиентов композиционного материала (КМ), однородности смеси, структурообразования технического углерода в полимерной матрице требуют анализа структуры электропроводящего слоя. Экспериментальные исследования образцов наполненных полимеров с ТУ различных марок и концентраций были проведены комплексными методами оптической, сканирующей и просвечивающей дифракционной микроскопии во всем интервале масштабов от мезоуровней (размеры частиц от 1÷100 мкм) до микро-, субмикроуровней с размером частиц до 10нм. Проведенные исследования морфологии, гранулометрии, фазового состава и субструктуры включений исследуемых образцов показали: форма частиц включений разнообразна и изменяется от наиболее часто встречаемых осколочных до эллиптических, округлых и пластинчатых (рис. 4, а,б); гранулометрический состав включений определяется концентрацией и маркой наполнителя проводящей фазы, это характеризуется плотностью распределения частиц ТУ, о чем

свидетельствуют микрофотографии вулканизатов (рис 4, а,б); фазовый состав, определенный путем индирования микроэлектроннограмм, показал, что основными экстрагированными частицами являются частицы ТУ с гексагональной кристаллической решеткой (рис. 4, в) и нанокристаллической структурой со средним размером формирующих эти частицы кристаллитов от 20 ÷ 25 нм до 40 ÷ 50 нм. Микрофотография структуры частицы ТУ с размером кристаллитов 40нм и электроннограмма, полученная с этой частицы, имеющая кольцевое строение и хорошо различимые точечные рефлекссы, приведены на рис 4 ,в,г. Наряду с частицами ТУ фазовый анализ выявил наличие включений соединений CaCO_3 , BaSO_4 , ZnS , ZnO , S в образцах КМ, что характеризует качество изготовления резиновых смесей и вулканизатов.

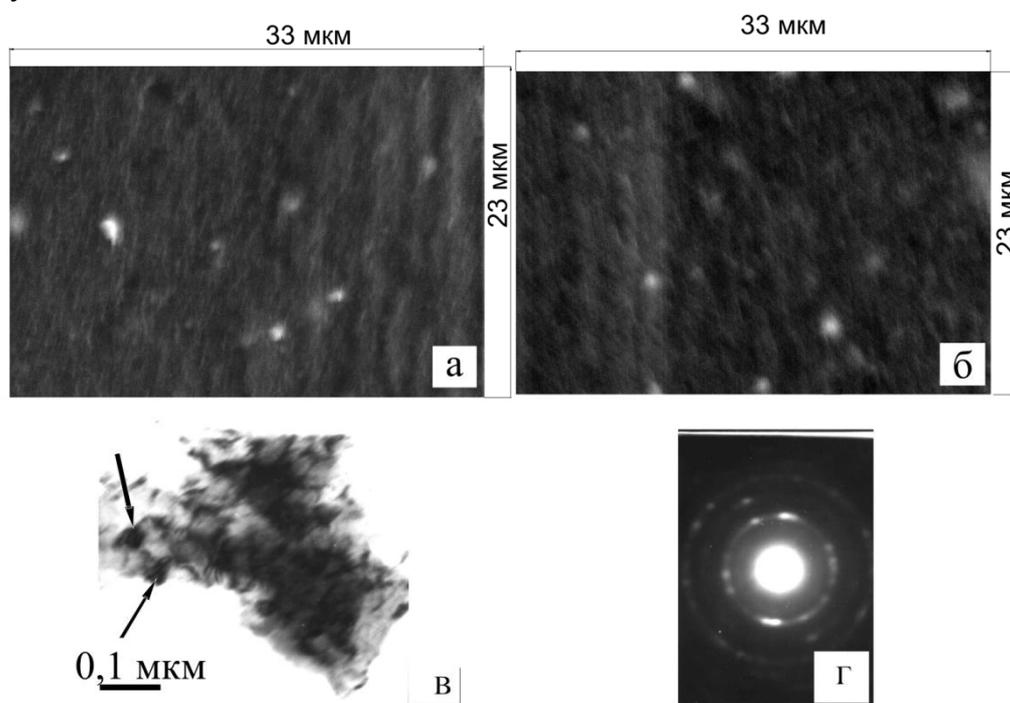


Рисунок 4 - Микрофотографии вулканизатов на основе бутилкаучука

а - с содержанием 52,5-м. д. ТУ №330 на 100 м. д. бутилкаучука, б - с содержанием 34 м. д. ТУ №330 на 100 м. д. бутилкаучука при увеличении 5000 крат.; в, г - электронно-микроскопическое изображение структуры частицы, присутствующей в вулканизате с 34 м.д. ТУ. Метод угольных реплик: в - светлопольное изображение, г – микроэлектроннограмма к в.; на в, г представлена частица ТУ с гексагональной кристаллической решеткой. Стрелками указаны кристаллиты, формирующие данную частицу

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить количественные и качественные характеристики отдельных структурных элементов образцов КМ, оценить зависимость формирования структуры проводящего наполнителя от его концентрации, технологии изготовления вулканизатов, выявить закономерности агломерации частиц наполнителя (ТУ), определяющие механизм электропроводности КМ. Так анализ электронных микрофотографий свидетельствует об образовании пространственной сетчатой структуры проводящего наполнителя в полимерной матрице, степени ее регулярности при его концентрации ТУ от 34 до 52,5 м.д. (рис 4 а, б). Кроме того, по микрообъемам полимера в каналах проводимости судят о преобладании связей полимер - проводящий наполнитель или проводящий наполнитель - проводящий наполнитель.

Полученные результаты позволяют управлять процессами структурообразования ТУ в бутилкаучуковой матрице и делают возможным работу наноструктурных МКЭ с заданными электро-, теплофизическими характеристиками, стабильными эксплуатационными параметрами в энергоэффективных режимах. Использование наноструктурных МКЭ для напольного обогрева в свинарнике маточнике и подогрева

зернового материала снижают удельные энергозатраты в 1,5÷2 раза, при обогреве индукционных счетчиков в щитах учета электроэнергии в 2,5÷3 раза по сравнению с известными устройствами, уменьшение затрат электроэнергии на обогрев одного контейнера с оборудованием электронной связи составляет от 200 до 7000 кВт·ч для районов Алтайского края [7].

Список литературы

1. Пат. 2476033 РФ, МПК Н 05 В 3/28. Способ изготовления композиционного электрообогревателя / Т.М. Халина, М.В. Халин, А.Б. Дорош - № 2011136621/07; заявл. 02.09.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. №5. - С. 8.
2. Иоссель, Ю.Я. Расчет электрической емкости / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. - Л.: Энергоатомиздат, 1981. - 288 с.
3. Халина, Т.М. Расчет электрической проводимости между системами электродов в композиционном электрообогревателе / Т.М. Халина // Электричество. - 2003. - №10. - С. 53-61.
4. Дорош, А.Б. Теоретическое обоснование методов расчета и проектирования низкотемпературных композиционных электрообогревателей для АПК / А.Б. Дорош, Т.М. Халина // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства, 2008. - № 3 - 4. - С. 32 - 35.
5. Dorosh A.B. Energy-saving nanostructured composite electric heaters/ A.B. Dorosh, T.M. Khalina, M.V. Khalin, S.A. Guseinova/ Technical and Physical Problems in Power Engineering 11th International Conference – Bucharest, Romania, 2015. p.359-362
6. Дорош, А.Б. Энергоэффективные композиционные электрообогреватели для систем поверхностно – распределенного обогрева / А.Б. Дорош, Т.М. Халина, М.В. Халин // Ползуновский вестник. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012, № 4. - С.110-115.
7. Халина, Т.М. 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.

Халина Татьяна Михайловна - д-р. техн. наук, заведующий кафедрой «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул) ; почтовый адрес : 656038, Барнаул, пр-т. Ленина, д. 46 ; тел.: (3852) 29-07-88, e-mail: aldorosh@yandex.ru

Дорош Александр Борисович - ассистент кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); почтовый адрес: 656038, Барнаул, пр-т. Ленина, д. 46 ; тел.: (3852) 29-07-88, e-mail: aldorosh@yandex.ru

ENERGY-EFFICIENT TECHNICAL MEANS OF LOCAL HEATING BASED ON NANOSTRUCTURAL COMPOSITE - ELECTRIC HEATERS FOR AGRICULTURE

Dorosh A.B., Khalina T.M.

Russia, Barnaul, Polzunov Altai State Technical University (ASTU)

The techniques of local surface distributed heating are provided based on the nanostructured multi-electrode composite electric heaters operating in self-regulating mode. The methods of calculating of electrical conductivity of the electric heaters are specified, and findings of the investigational study of electrically conductive layer of nanostructure are referenced.

Keywords: energy-efficient heating system, multi-electrode composition electric heaters, self-regulation, electrical conductivity

Bibliography

- 1 Pat. 2476033 RF, МПК Н 05 В 3/28. Sposob izgotovleniya kompozicionnogo ehlektroobogrevatelya / T.M. Halina, M.V. Halin, A.B. Dorosh - № 2011136621/07; zayavl. 02.09.2011; opubl. 20.02.2013, Byul. №5. - S. 8.
- 2 Iossel', YU.YA. Raschet ehlektricheskoy emkosti / YU.YA. Iossel', EH.S. Kochanov, M.G. Strunskij. - L.: ENergoatomizdat, 1981. - 288 s.

3 Halina, T.M. Raschet ehlektricheskoy provodimosti mezhdru sistemami ehlektrodov v kompozicionnom ehlektroobogrevatele / T.M. Halina // EHlektrichestvo. - 2003. - №10. - S. 53-61.

4 Dorosh, A.B. Teoreticheskoe obosnovanie metodov rascheta i proektirovaniya nizkotemperaturnyh kompozicionnyh ehlektroobogrevatelej dlya APK / A.B. Dorosh, T.M. Halina // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva, 2008. - № 3 - 4. - S. 32 - 35.

5 Dorosh A.B. Energy-saving nanostructured composite electric heaters/ A.B. Dorosh, T.M. Khalina, M.V. Khalin, S.A. Guseinova/ Technical and Physical Problems in Power Engineering 11th International Conference – Bucharest, Romania, 2015. r.359-362

6 Dorosh, A.B. EHnergoehffektivnye kompozicionnye ehlektroobogrevateli dlya sistem poverhnostno – rasprelenogo obogreva / A.B. Dorosh, T.M. Halina, M.V. Halin // Polzunovskij vestnik. - Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2012, № 4. - S.110-115.

7 Halina, T.M. Razrabotka ehnergoehffektivnyh tekhnologij obogreva i opytnyh obrazcov izdelij na osnove mnogoehlektroodnyh kompozicionnyh ehlektroobogrevatelej: otchet o NIOKR / T.M. Halina, M.V. Halin, A.B. Dorosh, i dr. // EHnergoEHffektTekhnologiya - GR № 01201164482, GK № 8796r/6815. - Barnaul, 2012. - 123 s.

Khalina T.M., temf@yandex.ru, (913) 227-26-76

Dorosh A.B., aldorosh@yandex.ru, (913) 222-28-32

УДК 621.311 : 631.371: 658.382.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Дробязко О.Н.

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

Рассмотрена основная задача теории электробезопасности в сельском хозяйстве и этапы ее решения в рамках систем обеспечения электробезопасности на отдельных объектах. Предложено использование объектного подхода для выделения уровней системы электробезопасности и оценки состояния развития теории электробезопасности.

Ключевые слова: электробезопасность, теория электробезопасности, система обеспечения электробезопасности, объектный подход, сельское хозяйство.

Началом формирования теории обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве можно считать конец 60-х годов прошлого века. В это время во Всесоюзном научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) была создана лаборатория техники электробезопасности, руководителем которой был назначен А.И. Якобс. После создания лаборатории научные исследования в области электробезопасности в сельском хозяйстве стали проводиться по единому плану, в котором приняли участие и другие организации [1].

Были заложены основы новой теории обеспечения электробезопасности. В ее основу был положен вероятностный подход к описанию электротравматизма и электротравмы. Были сформулированы понятия «уровень опасности электропоражения» и «уровень электробезопасности». Начал использоваться системный подход к описанию сферы электробезопасности. На этой основе стало формироваться понятие «система обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве» («система электробезопасности»).

Рубежным этапом в развитии теории обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве явилось формулирование А.И. Якобсом в конце 70-х годов прошлого века основной научной задачи, решение которой позволит завершить создание современных теоретических основ электробезопасности. Она формулировалась как типичная прогнозно-оптимизационная задача: разработать метод построения системы электробезопасности, обеспечивающей заданный уровень электробезопасности при наименьших приведенных затратах, или обеспечивающей при заданных затратах наивысший уровень электробезопасности [1]. Было отмечено, что основная задача связана с несколькими частными (вспомогательными).

Одной из таких задач была задача описания системы обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве. Она решалась в 1979 г. О.К. Никольским [2]. Им было дано определение системы обеспечения электробезопасности людей (СОЭБ) и описаны ее четыре подсистемы. Была рассмотрена также и надсистема СОЭБ, включающая человека, внешнюю среду и СОЭБ.

Были введены показатели, позволяющие оценивать опасность электропоражений и эффективность системы, имеющие векторную и скалярную формы.

В [2] были введены также параметры системы «человек–внешняя среда–СОЭБ», являющейся надсистемой СОЭБ на объекте.

На основе использования вероятностного подхода и введенных параметров надсистемы «человек–внешняя среда–СОЭБ», в [2] были построены математические модели, позволяющие подсчитывать вероятности электропоражений людей на объекте при использовании различных технических реализаций мер защиты. Были также разработаны методы оптимизации СОЭБ.

На базе разработанных методов моделирования и оптимизации в рассматриваемой работе был осуществлен выбор оптимальной СОЭБ на конкретном объекте. Таким образом, было получено решение основной научной задачи теории электробезопасности применительно к сельскохозяйственному объекту.

Дальнейшее развитие теории электробезопасности имело место в работах автора данной статьи. В 1994 г. им была разработана математическая модель электропоражения людей на сельскохозяйственном объекте при использовании системы зануления [3]. Были предприняты специальные меры по «привязке» вероятностных математических моделей к структуре электрической сети объекта и расстановке в ней аппаратов электрозащиты.

В последующих работах автора [4] были развиты технологии моделирования электробезопасности, произведено уточнение ряда понятий, разработаны математические модели, позволяющие учитывать эффект «отдергивания руки». Был разработан метод оптимизации стратегий создания СОЭБ на множестве объектов. Были разработаны программные средства, позволяющие осуществлять моделирование и оптимизацию СОЭБ на объектах.

При практическом использовании разработанных методов проявилась проблема сложностью подготовки «вероятностных» исходных данных, а также неопределенность данных, описывающих защитные характеристики аппаратов защиты.

Для решения возникшей проблемы к 2012 г. в Алтайском государственном техническом университете были разработаны специальные методы математического моделирования процесса функционирования СОЭБ [5], учитывающие неопределенность исходных данных. Были использованы два раздела математики, оперирующие с неопределенностью: интервальный анализ и теория нечетких множеств (нечеткие числа).

Можно утверждать, что к началу второго десятилетия текущего столетия в нашей стране были разработаны положения теории электробезопасности, позволяющие решать основную задачу этой теории в рамках некоторого производственного сельскохозяйственного объекта. (При этом остались нерешенными некоторые частные вопросы, связанные с описанием физиологических реакций человека на воздействие электрического тока).

Вместе с тем остается нерешенным важный методический вопрос о том, решена ли к настоящему времени поставленная А.И. Якобсом основная научная задача электробезопасности? Ответ на этот вопрос во многом определяется тем, что понимать под системой обеспечения электробезопасности в рамках постановки основной задачи.

В своих работах А. И. Якобс кратко характеризовал подсистемы СОЭБ [1], но не выделял в ней каких-либо уровней. Можно предположить, что он рассматривал СОЭБ по отношению ко всем труженикам сельского хозяйства страны.

Возникает вопрос о том, можно ли построить оптимальную систему электробезопасности в сельском хозяйстве путем локальной оптимизации и последующего

создания таких систем на всех объектах отрасли? Как показывают результаты исследований, такой путь в принципе позволит снизить в несколько раз опасность электропоражения в отрасли. Однако можно ли считать, что решение задачи оптимизации по отношению к объекту отвечает решению основной научной задачи?

Для ответа на поставленный вопрос предлагается выполнить специальный системный анализ предметной области, позволяющий выделить отдельные уровни СОЭБ. Это позволит уточнить постановки основной научной задачи рассматриваемой теории для различных уровней системы электробезопасности.

В основу уровневого структурирования СОЭБ нами предлагается положить объектный подход к решению задач электробезопасности. Сущность этого подхода состоит в описании, моделировании и оптимизации системы электробезопасности в рамках некоторого производственного объекта.

Подход включает определение объекта с точки зрения теории электробезопасности, описание надсистемы СОЭБ, связанной с объектом, а также описание самой системы электробезопасности на объекте.

С точки зрения теории электробезопасности будем понимать под объектом некоторую ограниченную область пространства, в которой локализованы множество электроустановок (напряжением 380/220 В), множество людей, регулярно взаимодействующих с этими электроустановками в процессе своей трудовой деятельности, а также специальная система, обеспечивающая электробезопасность выделенного множества людей.

Объектный подход предусматривает объединение людей в множества в пределах одного объекта. Характерной особенностью такого подхода является учет электробезопасности только неэлектротехнического персонала объекта (при косвенном и прямом контакте), а также учет только технических реализаций мер защиты (электрозащитных способов [1]).

На основе объектного подхода может быть осуществлено выделение уровней СОЭБ. В качестве базового уровня системы электробезопасности предлагается рассматривать уровень СОЭБ на объекте.

Далее целесообразно ввести уровень системы, отвечающий множеству объектов. Такое множество может быть сформировано по различным признакам.

В качестве предельного случая, отвечающего уровню множества объектов, рассматривается уровень системы, отвечающий множеству всех объектов, принадлежащих отрасли сельского хозяйства страны. Его целесообразно выделить в отдельный уровень. Может быть также рассмотрен уровень, учитывающий взаимодействие одного человека и одной электроустановки.

Выделение уровней предусматривает установление свойств иерархии в системе электробезопасности. В частности, на более высоких уровнях СОЭБ присутствуют подсистемы, которых нет на более низких уровнях. Так, подсистему учета и анализа электротравматизма (включенную в состав СОЭБ в [1,2]) целесообразно рассматривать только на уровне системы, соответствующем отрасли сельского хозяйства. В большинстве случаев подсистемы организационных мероприятий и технических мероприятий, обеспечивающие электробезопасность электротехнического персонала, целесообразно отнести к уровню множества объектов. Аналогичные соотношения могут быть установлены и для других подсистем СОЭБ.

На наш взгляд, вопрос о степени решения основной научной задачи должен связываться с уровнями этой системы. Для объектного уровня такая задача может считаться решенной. Для более высоких уровней системы такого заключения сделать нельзя. Это вызвано тем, что до настоящего времени оптимизационные задачи для подсистем СОЭБ на этих уровнях не решались.

Возможно, что при их решении могут быть найдены пути дополнительного снижения уровня опасности электропоражений. Задачи оптимизации системы обеспечения электробезопасности на более высоких уровнях (включающих не учитываемые ранее

подсистемы) следует рассматривать как перспективные задачи теории электробезопасности.

Список литературы

1. Якобс А.И. Электробезопасность в сельском хозяйстве / А.И. Якобс , А.В. Луковников. - М.: Колос, 1981. - 239 с.
2. Никольский О.К. Основы создания оптимальных систем обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок сельскохозяйственного назначения напряжением 380 В: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Барнаул, 1978. - 45 с.
3. Дробязко О.Н. Метод автоматизированного проектирования систем комплексной электробезопасности на сельскохозяйственных объектах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 1994. - 21 с.
4. Дробязко, О.Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. - Барнаул, 2006. - 44 с.
5. Нефедов С.Ф. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок объектов агропромышленного комплекса в условиях неопределенности: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2012. - 24 с.

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, e-mail: drolnik@List.ru, моб. тел. - 8-929-396-33-12.

THE OBJECT APPROACH USAGE IN THE THEORY OF ELECTRICAL SAFETY IN AGRICULTURE

Drobjazko O.N.

Russia, Barnaul, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

The basic problem of electrical safety theory in agriculture and the stages of its solution in the context of electrical safety systems at single objects was considered. It is proposed to use object approach to highlight levels of the electrical safety systems and for assessment of the electrical safety theory development.

Keywords: electrical safety, electrical safety theory, electrical safety system, object approach, agriculture.

Bibliography

1. Yakobs A.I. Elektrobezopasnost v selskom hozyaystve / A.I. Yakobs , A.V. Lukovnikov. - M.: Kolos, 1981.- 239 s.
2. Nikolskiy O.K. Osnovyi sozdaniya optimalnyih sistem obespecheniya elektrobezopasnosti pri ekspluatatsii elektroustanovok selskohozyaystvennogo naznacheniya napryazheniem 380 V: Avtoref. dis. ... d-ra tehn.nauk. - Barnaul, 1978.- 45 s.
3. Drobjazko O.N. Metod avtomatizirovannogo proektirovaniya sistem kompleksnoy elektrobezopasnosti na selskohozyaystvennyih ob'ektah: Avtoref. dis. ... kand.tehn. nauk. – Barnaul, 1994.-21 s.
4. Drobjazko, O.N. Optimalnyie strategii sozdaniya sistem bezopasnosti elektroustanovok agropromyshlennogo kompleksa: avtoref. diss. ... d-ra tehn.nauk. - Barnaul, 2006.- 44 s.
5. Nefedov S.F. Postroenie optimalnyih sistem bezopasnosti elektroustanovok ob'ektov agropromyshlennogo kompleksa v usloviyah neopredelennosti: avtoref. diss. ... kand.tehn. nauk. – Barnaul, 2012. - 24 s.

Drobjazko Oleg Nikolaevich, Postal address: 656038, Barnaul, Lenina 46; tel.: (3852)36-71-29, (3852)46-47-6.; e-mail -drolnik@List.ru

УДК 621.313.333

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ИХ СОСТОЯНИЯ

Грибанов А. А., Мартко Е. О.

Российская Федерация, г. Барнаул, ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

В статье рассмотрен метод прогнозирования остаточного ресурса асинхронных двигателей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве. В основу метода положен вероятностный подход к оценке прогнозного значения при использовании измерения сопротивления изоляции.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, надёжность, прогнозирование, остаточный ресурс, сопротивление изоляции

Агропромышленный комплекс (АПК) в целом и его базовая отрасль – сельское хозяйство – являются ведущими системообразующими сферами экономики страны, формирующими продовольственный рынок, продовольственную и экономическую безопасность, трудовой и поселенческий потенциал сельских территорий [1]. Наличие на предприятиях всего около 30 % новых электроустановок наряду с устаревшим оборудованием отрицательно сказывается на развитии всей отрасли, именно поэтому так значительно возрастают требования к эксплуатации электрооборудования, призванные решать проблемы его надёжности.

На современном этапе развития АПК наиболее массовым типом привода и основным потребителем электрической энергии остаётся асинхронный электропривод [2]. Низкий уровень эксплуатационной надёжности электродвигателей отрицательно сказывается на общей экономической эффективности сельхозпредприятий. Рекомендуемые меры плановой профилактики электроприводов зачастую не приводят к желаемым результатам и поэтому имеют достаточно ограниченное применение. Проблема эксплуатационной надёжности электродвигателей системна и не поддаётся решению с помощью отдельных технических средств. Только разработка и внедрение систем автоматизированного расчёта остаточного ресурса электродвигателей позволяет перейти на качественно новую основу организации обслуживания и ремонта за счёт оценки фактического состояния оборудования. Такой подход наиболее рационален, так как позволяет снизить эксплуатационные расходы и расходы на проведение ремонтных работ.

Большинству существующих в настоящее время методик расчёта остаточного ресурса электродвигателей присущ основной недостаток – низкая достоверность полученных результатов из-за отсутствия учёта вероятностных параметров внешней среды эксплуатации, имеющих место в реальном мире. Рассматриваемая проблема многогранна, решается довольно медленно, поскольку ситуация осложнена тем, что в рабочем режиме, как правило, возникают либо организационные и технические трудности, обусловленные необходимостью внедрения соответствующей измерительной техники, либо требуется ресурсоёмкая разработка программного обеспечения реализации избранной методики.

В отношении прогнозирования общей чертой исследований [3-7] является то, что в них рассматривался детерминированный подход к получению моделей прогноза и практически не уделено внимание вероятностному подходу. В работах рассмотрены как краткосрочные прогнозы (до нескольких месяцев, динамические модели прогноза, применимые к изменяющимся условиям эксплуатации), так и среднесрочные (до выхода электроизоляционной системы из строя). Однако мало внимания уделялось влиянию на результаты прогноза такому показателю эксплуатации электродвигателя в сельском хозяйстве, как остаточный ресурс.

Поэтому необходимо создание нового метода определения периодичности промежутка времени надёжной работы электродвигателя до понижения его работоспособности до уровня необходимости проведения ремонта.

На сопротивление изоляции электродвигателя оказывают влияние нагрузка и режим его работы. В связи с тем, что они зависят от времени, т.е. имеют явный характер временного ряда, наилучшим методом для прогнозирования является метод анализа сингулярного спектра, который достаточно подробно рассмотрен в [8, 9].

Суть алгоритма программной реализации разработанного метода прогнозирования остаточного ресурса электродвигателя, представленного на рисунке 1, заключается в следующем: используя исходные данные (тип электродвигателя, характер его работы,

наименование технологического процесса, температура (Θ), влажность (ϕ), концентрация агрессивного агента (C), тип среды, сопротивление изоляции (R_{20}), норма вероятности, постоянная времени нагрева (T_n)) производится отслеживание и прогноз остаточного ресурса электродвигателя.

Норма вероятности – это априорно заданная вероятность выхода электродвигателя из строя, которая может быть изменена в зависимости от степени его ответственности в технологическом процессе.

Характер работы (режим) электродвигателя может быть следующим:

длительный режим с переменной нагрузкой;

длительный режим с постоянной нагрузкой;

повторно-кратковременный;

кратковременный.

Аналогично типу электродвигателя указываются данные о наименовании технологического процесса.

Параметры микроклимата (температура, влажность, примеси в воздухе) можно измерять универсальными газоанализаторами.

В основу модели прогноза положены зависимости сопротивления, полученные с учётом показаний агрессивности среды (влажности, температуры), а также изменения параметров во времени и аналитических зависимостей. Она имеет вид:

$$R = R_{20} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left\langle A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) + \tau_y \right\rangle \right] \times \\ \times \exp \left\langle -t \cdot \left[A \cdot \exp \left\langle E_a \cdot C^{-m} \cdot \left(C_0 + \sum_{j=1}^n (C_j \cos \omega_j t + D_j \sin \omega_j t) + \phi(t) \right)^{-n} \right\rangle \right] \right\rangle \times \\ \times \left(R_z \cdot \left[A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) \right] \right)^{-1},$$

где R_{20} – начальное сопротивление изоляции электродвигателя, замеренное непосредственно перед вводом его в эксплуатацию при температуре 20 °С;

α – температурный коэффициент сопротивления изоляции;

A_0 – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой температуры, °С;

A_i, B_i – амплитуды колебаний математического ожидания температуры, соответствующие частоте ω_i ;

$\psi(t)$ – случайная составляющая температуры, соответствующая времени t , °С;

τ_y – установившееся превышение температуры, °С;

C – концентрация агрессивного агента, г/м³ или %;

A, m, n – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и режима работы двигателя. Они определяются экспериментально для конкретного материала или оборудования, приведены в диссертации О.Д. Гольдберга [5, 10];

E_a – эффективная энергия активации процесса, вызывающего отказ, определяемая для конкретного материала, Дж/моль;

$R_r = 8,32$ Дж/град·моль – универсальная газовая постоянная;

C_0 – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой влажности, %;

C_j, D_j – амплитуды колебаний математического ожидания влажности, соответствующие частоте ω_j ;

$\phi(t)$ – случайная составляющая влажности, соответствующая времени t , °С.

После введения данных программа производит их чтение и преобразование без участия

оператора.

Затем осуществляется выбор закона распределения вероятности (семейство распределений Пирсона I-го типа (бета-распределение) и SB-Джонсона) или временного ряда (методы анализа сингулярного спектра, скользящего среднего и наименьших квадратов).

В зависимости от выбранного варианта определяются параметры распределения:

$$\alpha = \frac{\mu_3(\mu_4 + 3\mu_2^2)}{A}, B_0 = -\frac{\mu_2(4\mu_2\mu_4 - 3\mu_3^2)}{A}, B_1 = -\frac{\mu_3(\mu_4 + 3\mu_2^2)}{A}, B_2 = -\frac{(2\mu_2\mu_4 - 3\mu_3^2 - 6\mu_2^3)}{A},$$
$$A = 10\mu_2\mu_4 - 18\mu_2^3 - 12\mu_3^2, \beta_1^2 = \frac{\mu_3^2}{\mu_2^2}, \beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$$

μ_2, μ_3, μ_4 – центральные моменты, соответственно, второго, третьего и четвёртого порядков;

$\gamma, \eta, \varepsilon, \lambda$ – параметры распределения Н. Джонсона (γ и η – параметры формы, характеризуют центр, а λ – масштаб распределения) [11];

$\rho_0, \alpha_r, \sigma, \alpha_n, \mu, \delta$ – параметры временного ряда, получаемые при использовании метода анализа сингулярного спектра.

После этого следует проверка модели на адекватность. Она заключается в доказательстве того, что точность результатов, полученных с помощью модели, будет не хуже точности расчётов, произведённых на основании экспериментальных данных. В данном случае модель проходит проверку на основе значений сопротивления изоляции электродвигателя. Иными словами, это позволит очертить границы применимости модели.

Если полученная модель адекватна, то определяется значение сопротивления изоляции и значение вероятности выхода электродвигателя из строя. Если же нет – заново производится определение параметров распределения.

Для выполнения прогноза остаточного ресурса электродвигателя используются зависимости изменения во времени сопротивления изоляции, полученные экспериментальным путём, из которых сформирована одна из баз данных в программном комплексе. При достижении установившегося значения сопротивления 0,1 МОм делается вывод: двигатель достиг предельно допустимого (установленного экспериментально граничного) значения и в любой момент может выйти из строя.

В завершение работы программы на монитор выводится график прогноза остаточного ресурса электродвигателя или величина вероятности выхода двигателя из строя (если пользователь указал в начале работы с программой только этот параметр).

Для проверки работоспособности разработанного метода прогнозирования использованы более 200 электродвигателей мощностью от 2,2 до 7,5 кВт, эксплуатирующихся в достаточно агрессивной среде, поскольку все они установлены на сельскохозяйственных предприятиях. 30% электродвигателей находились в эксплуатации больше полутора лет, 35% – эксплуатировались год, а 35% составляли новые двигатели. Регистрация показаний сопротивления изоляции велась мегаомметром ЭС0202/2Г. Климатические факторы измерялись прибором DT-321S, а примеси в воздухе – универсальными газоанализаторами упрощенного типа. Все значения занесены в базы данных программного комплекса. В первый год сопротивление изоляции не изменялось, но при дальнейшей эксплуатации оно начало уменьшаться и ближе к 3 годам большинство электродвигателей выходило из строя.

Подконтрольная эксплуатация показала, что точность разработанной математической модели, позволяющей прогнозировать остаточный ресурс электродвигателя с заранее оговоренной вероятностью выхода из строя p , составила 92%. Тот факт, что разработанная математическая модель учитывает индивидуальные особенности эксплуатируемого на предприятии электродвигателя (тип, характер работы и наименование технологического процесса), позволяет судить о её гибкости (адаптивности) к прогнозу остаточного ресурса электродвигателя.

Созданное на основе математической модели программное обеспечение для определения остаточного ресурса электродвигателя (свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613209), в котором используется метод анализа сингулярного спектра для определения сопротивления изоляции, позволяет осуществить краткосрочный или среднесрочный прогноз остаточного ресурса двигателя с точностью до 85%.



Рисунок 1 – Алгоритм работы программного обеспечения определения остаточного ресурса электродвигателя

Наилучшим краткосрочным интервалом прогнозирования, при котором достигается наименьшая погрешность, является 24 ч.

Разработанный метод прогнозирования эксплуатационной надёжности электродвигателей на практике позволяет снизить количество внезапных выходов электродвигателей из строя, простои оборудования на предприятии, и, как следствие, сократить материальные затраты на ремонт и от простоев производственного процесса.

Список литературы

1. Стратегия социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года (научные основы) [Текст] / отв. за подготовку Стратегии И.Г. Ушачев, А.Ф. Серков, В.С. Чекалин. – М. : РАСХН, 2011. – 101 с.
2. Калачев, Ю.Н. Управляемый асинхронный электропривод [Текст] / Ю.Н. Калачев [Электронный ресурс]. – Заглавие с экрана. Режим доступа : http://www.privod.ru/stat_kalchev.htm.
3. Рыбаков, В.А. Разработка методики планирования ремонта электродвигателей в сельском хозяйстве на основе математического моделирования их жизненного цикла : дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2007. – 204 с.
4. Похолков, Ю.П. Разработка методов исследования, расчета и обеспечения показателей надежности и долговечности изоляции обмоток асинхронных двигателей : дис. ... доктора технических наук. – Томск, 1977. – 482 с.
5. Гольдберг, О.Д. Теоретическая и экспериментальная разработка методов расчета показателей надежности, ускоренных испытаний и контроля качества асинхронных двигателей : дис. ... доктора технических наук / О.Д. Гольдберг. – Всесоюз. заочный политехн. ин-т. – 1971. – 292 с.
6. Муравлев, О.П. Обеспечение качества и надежности электрических машин [Текст] / А.Н. Дудкин, А.П. Матялис, О.П. Муравлев // Известия Томского политехнического университета. – Томск : Изд-во НТЛ, 2000. – Т. 303, вып. 1. – С. 266-269.
7. Гутов, И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Защищена 26.12.97: Утв. – Барнаул, 1997. – 259 с.
8. Голяндина, Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: Учеб. пособие. – СПб., 2004. – 52 с.
9. Голяндина, Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб., 2004. – 76 с.
10. Котеленец, Н.Ф. Испытания и надёжность электрических машин [Текст] / Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. – М. : Высшая школа, 1998. – 232 с.
11. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион ; Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 620 с.

Грибанов Алексей Александрович - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, e-mail : diread@mail.ru

Мартко Екатерина Олеговна - канд. техн. наук, старший преподаватель, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46, e-mail: martnight@mail.ru

ELECTRIC MOTOR'S SERVICE RELIABILITY'S FORECASTING METHOD BASED ON STOCHASTIC MODEL OF IT CONDITION IN AGRICULTURAL SECTOR

Gribanov A.A., Martko E.O.

A method for forecasting the residual resource of induction motors, operated in agriculture, is considered in the article. The method is based on a probabilistic approach to the estimation of the predicted values when using the measurement of insulation resistance.

Key words: induction motor, reliability, prediction, remaining life, insulation resistance

Bibliography

1. Strategiya socialno-ekonomicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda (nauchnye osnovy) [tekst] / otv. za podgotovku strategii I.G. Ushachev, A.F. Serkov, V.S. Chekalin. – M. : RASHN, 2011. – 101 s.
2. Kalachev, Yu.N. Upravlyaemyj asinxronnyj elektroprivod [tekst] / Yu.N. Kalachev [elektronnyj resurs]. – Zaglavie s ekrana. Rezhim dostupa : http://www.privod.ru/stat_kalchev.htm.
3. Rybakov, V.A. Razrabotka metodiki planirovaniya remonta elektrodvigatelej v selskom hozyajstve na osnove matematicheskogo modelirovaniya ih zhiznennogo cikla : dis. ... kand. texn. nauk. – Barnaul, 2007. – 204 s.
4. Pohlkov, Yu.P. Razrabotka metodov issledovaniya, rascheta i obespecheniya pokaza-telej nadezhnosti i dolgovechnosti izolyacii obmotok asinxronnyx dvigatelej : dis. ... doktora texnicheskix nauk. – Tomsk, 1977. – 482 s.
5. Goldberg, O.D. Teoreticheskaya i eksperimentalnaya razrabotka metodov rascheta pokazatelej nadezhnosti, uskorennyx ispytaniy i kontrolya kachestva asinxronnyx dvigatelej : dis. ... doktora texnicheskix nauk / O.D. Goldberg. – Vsesoyuz. zaochnyj politexn. in-t. – 1971. – 292 s.
6. Muravlev, O.P. Obespechenie kachestva i nadezhnosti elektricheskix mashin [tekst] / a.n. dudkin, a.p. matyalis, o.p. muravlev // izvestiya tomskogo politexnicheskogo universiteta. – Tomsk : izd-vo NTL, 2000. – t. 303, vyp. 1. – s. 266-269.
7. Gutov, I.A. Prognozirovaniye sostoyaniya elektrodvigatelej na osnove ispolzovaniya mnogofaktornyx modelej stareniya izolyacii: dis. ... kand. texn. nauk: 05.20.02. – Zashhishhena 26.12.97: utv. – Barnaul, 1997. – 259 s.
8. Golyandina, N.E. Metod «gusenica»-SSA: Prognoz vremennyx ryadov: ucheb. posobie. – Spb., 2004. – 52 s.
9. Golyandina, N.E. Metod «gusenica»-SSA: Analiz vremennyx ryadov: ucheb. posobie. – Spb., 2004. – 76 s.
10. Kotelenec, N.F. Ispytaniya i nadyozhnost elektricheskix mashin [tekst] / N.F. Kotelenec, N.L. Kuznecov. – M. : Vysshaya shkola, 1998. – 232 s.
11. Dzhonson, n. Statistika i planirovaniye eksperimenta v tekhnike i nauke. Metody obrabotki dannyh / N. Dzhonson, F. Lion ; per. s angl. – M.: Mir, 1980. – 620 s.

Gribanov Alexey Alexandrovich
Martko Ekaterina Olegovna

УДК 621.311 : 658.382.3

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Нефёдов С.Ф.

*Российская Федерация, г. Барнаул,
АлтГТУ им. И. И. Ползунова*

Рассмотрены проблемы решения задач моделирования и оптимизации систем безопасности электроустановок в условиях неопределенности части исходных данных. Предложены подходы к решению таких проблем.

Ключевые слова: электропожаробезопасность, система безопасности электроустановок, интервальный анализ, теория нечетких множеств.

К началу текущего десятилетия в АлтГТУ была завершена разработка алгоритмических вероятностно-топологических моделей, описывающих аварийные ситуации на объектах (в первую очередь, на объектах АПК) приводящих к электропоражению людей и возникновению электропожаров. Для этих моделей был подготовлен математический аппарат, и было разработано соответствующее программное обеспечение с целью автоматизации процесса моделирования [1], которые позволяют подсчитывать значения вероятностей возникновения указанных событий при учете функционирования на объектах систем обеспечения безопасности электроустановок (СБЭ). Параллельно были разработаны методы оптимизации таких систем на объекте и группе объектов [2, 3]. Технология оптимизации также была интегрирована в функционал программного комплекса. В итоге по данному направлению имеются значительные наработки и инструменты для массового их применения в задачах проектирования и реконструкции СБЭ на объектах АПК и не только.

Следует, однако, учитывать неизбежность ряда трудностей, связанных с практической

реализацией моделей, работающих исключительно в парадигме теории вероятностей. Сбор, анализ и подготовка к использованию в расчетах соответствующих статистических данных всегда влечет за собой огромный объем работ в полевых условиях, который возможно освоить лишь в результате планомерных длительных исследований непосредственно на объектах их сотрудниками при наличии у них соответствующей квалификации. К таким данным относятся вероятности возникновения коротких замыканий различных видов в различных элементах электроустановок, вероятности отказа аппаратов защиты (АЗ) и др. В этой связи возникают дополнительные задачи параметризации рассматриваемых моделей в условиях неопределенности части исходных данных.

В АлтГТУ были найдены решения по данному направлению на основе использования группы современных математических методов, называемых «математикой неопределенности». Такая группа методов является весьма разнородной как по своему составу, так и по перечню решаемых с помощью этих методов задач.

Данная методика включает способы описания реальных объектов в виде математических зависимостей, параметры которых характеризуются как неопределенные. Вводятся правила оперирования с неопределенными объектами, решается задача сравнения таких объектов и задача принятия решений на основе таких объектов. В рамках этой технологии интерес представляют подходы, которые позволили бы построить методику оценки эффективности СБЭ как некоторой самостоятельной модели внутри объекта АПК. При этом требуется как решение задачи модификации такой модели, так и решение задачи оптимального выбора из нескольких вариантов, различающихся по ряду показателей.

С помощью системного подхода было выполнено описание СБЭ и ее внешней среды. Выделена макросистема «электроустановка - СБЭ - объект защиты» («Э-СБЭ-ОЗ»). (В качестве объекта защиты рассматриваются люди на объекте и объекты пожара). Такое описание позволяет определить функции СБЭ как уменьшение интенсивности воздействий электроустановок на объекты защиты и рассматривать остаточную опасность электроустановок как меру эффективности СБЭ. При этом область применения СБЭ представлена двумя подфункциями: обеспечение электрической безопасности и обеспечение пожарной безопасности.

В настоящее время разработана совокупность математических моделей, позволяющих описывать процесс функционирования СБЭ в аспекте обеспечения электробезопасности при косвенном и прямом прикосновениях, а также в аспекте обеспечения пожаробезопасности. В моделях учитываются три вида аппаратов защиты: предохранители, автоматические выключатели и УЗО. Алгоритмы моделирования имеют иерархическую архитектуру в рамках описания системы электроснабжения объекта и структуры его СБЭ.

Определяемые в результате моделирования показатели эффективности СБЭ дают количественную оценку остаточной опасности электроустановок на объекте. По совокупности индивидуальных показателей на участках сети строятся две картины интегральных показателей остаточной опасности в рамках соответствующих направлений: электро- и пожаробезопасности.

Особенностью решения задачи оптимизации СБЭ является возможность постановки как задач однокритериальной оптимизации, так и задачи многокритериальной оптимизации. Задачи первого вида ставятся при учете только одной защитной функции СБЭ. В качестве критерия оптимизации может быть выбран любой интегральный показатель эффективности СБЭ. При постановках задач оптимизации может учитываться экономический критерий «приведенные затраты на создание и эксплуатацию СБЭ». При постановке задачи многокритериальной оптимизации используются два частных критерия. На их основе формируется скалярный аддитивный критерий, подлежащий минимизации. Количество допустимых вариантов, рассматриваемых при решении задачи оптимизации СБЭ, относительно невелико. Поэтому выбор оптимального варианта системы осуществляется методом сплошного перебора.

Исследования в данном направлении показали, что картина опасности на объекте,

построенная с учетом возможности дополнительного влияния факторов неопределенности, может значительно повлиять на принятие решения по выбору оптимальной СБЭ. При этом моделирование в условиях неопределенности подразумевает под собой обязательный выбор глубины проработки границ соответствующих нечетких представлений моделируемых параметров на объекте.

Будем в дальнейшем понимать под неопределенной величиной (НВ) такую величину, точное значение которой неизвестно, но для которой, тем не менее, можно указать ограниченную область ее возможных значений и «дифференцировать достоверность» нахождения значений этой величины в различных точках этой области. С точки зрения теории нечетких множеств, здесь речь идет, в том числе и о неравномерности области значений, которые может принимать соответствующая функция принадлежности [4] заданной нечеткой характеристики.

Моделирование с использованием математики неопределенности в некоторой степени создает иллюзию сходства с теорией вероятностей. Однако математика такого рода исторически возникла непосредственно по причине нехватки инструментария теории вероятностей в процессе математического моделирования. При задании НВ не оговаривается система представлений и допущений, используемая в теории вероятностей (понятие опыта, исходов опыта, статистической устойчивости, случайного события, случайной величины и т.д.). Строго говоря, статистические характеристики, подсчитываемые для оценки истинного значения вероятности, не позволяют описывать ее как неопределенную величину.

В процессе моделирования в первую очередь нам потребовалось нахождение такого описания неопределенных величин, которое могло бы быть получено на практике для вероятностных исходных данных, использующихся при моделировании СБЭ. Затем в рамках выбранного метода должна быть предусмотрена возможность выполнения над неопределенными величинами арифметических операций в соответствии с имеющимися иерархическими алгоритмами вычислений. При этом такие операции должны предусматривать возможность участия в них и обычных точных чисел. Результатами промежуточных этапов моделирования, а также итогами моделирования должны быть неопределенные величины. Основные итоги моделирования в используемых моделях представляются как векторы неопределенных величин. Далее на их основе подсчитываются скалярные показатели эффективности СБЭ, описывающиеся как неопределенные величины.

Затем решается задача оптимизации СБЭ. На основе частных показателей критериев оптимальности (в роли которых выступают скалярные показатели эффективности) для каждого из вариантов СБЭ, учитываемого при решении задачи оптимизации, должны быть подсчитаны соответствующие значения скалярного (обобщенного) критерия оптимизации, представляющего собой неопределенную величину. После этого необходимо осуществить сравнение всех значений скалярного критерия оптимизации и выбрать тот вариант, который обеспечивает экстремальное значение такого критерия. При этом необходимо решить задачу попарного сравнения значений неопределенных величин, каждая из которых описывает значение критерия на одном из вариантов СБЭ.

По итогам анализа возможностей использования различных разделов и методов математики неопределенности с учетом выполненной детализации задач нами было принято решение о том, что необходимыми для нас функциональными возможностями обладают два раздела этой группы методов: интервальный анализ и теория нечетких множеств.

Рассмотрим вопросы использования первой группы методов.

В основе интервального анализа лежит описание неопределенной величины в виде интервального числа, представляемого числовым интервалом. Предполагается, что истинное значение величины находится внутри этого интервала и какие-либо данные о «дифференциации достоверности» нахождения этой величины в пределах области ее значений отсутствуют [5]. Считается, что описываемая таким образом неопределенная величина имеет интервальную неопределенность.

В рамках рассматриваемой группы методов имеется интервальная арифметика, позволяющая осуществлять арифметические действия над интервальными числами. В таких действиях могут участвовать и обычные вещественные числа, рассматриваемые как вырожденные интервалы [5]. Таким образом, в рамках интервального анализа решается и вторая задача – задача выполнения арифметических операций. При этом может быть полностью сохранена логика имеющихся иерархических алгоритмов вычислений.

При построении алгоритма оптимизации удалось сохранить логику нормирования, принятую в исходных методах, опирающихся на вероятностное моделирование.

Далее мы воспользовались имеющимся в рассматриваемом разделе математики неопределенности методом сравнения величин интервалов и выделения экстремального интервала [5]

Таким образом, нами был сделан вывод о том, что в рамках интервального анализа имеется принципиальная возможность решения поставленных задач.

Рассмотрим вопросы использования второй группы методов.

В основе теории нечетких чисел лежит описание неопределенной величины в виде нечеткого числа (НЧ). Такое число является частным случаем нечеткого множества, которое описывается с помощью функции принадлежности [4]. Наиболее важными характеристиками нечеткого множества являются носитель и высота. Для нечетких чисел в качестве носителя множества выступает интервал действительных чисел. Вид функций принадлежности, описывающих НЧ может быть весьма различным. На практике в большинстве случаев используются наиболее простые (параметрические) варианты представления таких чисел, которые называются «треугольными НЧ» и «трапециевидными НЧ» в зависимости от того, является описываемая характеристика унимодальной или нет.

В процессе решения задачи оптимизации СБЭ при описании части исходных данных с помощью интервальных исчислений возникает ряд эффектов, усложняющих поиск решения. Эти эффекты могут быть значительно снижены при использовании НЧ, множество принадлежностей которых имеет плавающую высоту. Характеристические функции таких НЧ во многих случаях позволяют избежать поглощения значительной части интегрального показателя безопасности СБЭ другим таким показателем в процессе решения задачи оптимизации.

В отдельных случаях при использовании интервальных представлений бывают картины полного поглощения, что приводит к невозможности принятия решения о выборе в отношении нескольких вариантов СБЭ без дополнительного анализа. Это случается в ситуациях, когда выделение экстремального минимального интервала оказывается невозможным.

Таким образом, перспектива дальнейших исследований в области моделирования СБЭ опирается на решение ряда задач с использованием различных подходов в математике неопределенности.

Список литературы

1. Германенко, В.С. Средства реализации выбора оптимальных стратегий создания систем безопасности электроустановок АПК [Текст] / В.С. Германенко, С.С. Гусельников, О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник.- 2005. -№ 4.-Ч.3. - С. 230-234.
2. Системы безопасности электроустановок зданий / О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, В.С. Германенко, Л.В. Тен, А.Л. Тен, Э.Ф. Аунапу, Г.Н. Москаленко. - Барнаул, 2004.- 82 с. В кн. Правила устройства, эксплуатация и безопасность электро-установок. – Нормативно-технический сборник. -Барнаул,- 2004.
3. Дробязко, О.Н. Особенности использования методов оценки эффективности и оптимизации технических систем безопасности электроустановок [Текст] / О.Н. Дробязко, С.Ф.Нефедов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009. -№ 5. - С. 32-33.
4. Яхьева Г.Э. Основы теории нечетких множеств. Интернет-университет. [Электронный ресурс]. Электрон. текст. дан. – Режим доступа : <http://intuit.ru/departmnt/ds/> . Загл. с экрана.

5. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука, 1986. [Электронный ресурс]. - Электрон. текст. дан. – Режим доступа: www.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/KalmShokYuld.djvu Загл. с экрана.

Нефёдов Сергей Федорович - канд. техн. наук. Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, адрес места работы - 656038, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина 46, тел. (385-2) 36-71-29, Адрес e-mail - nfdv@inbox.ru.

ACCOUNTING OF THE UNCERTAINTY IN MODELING AND OPTIMIZATION OF ELECTRICAL SAFETY SYSTEMS

Nefedov S.F.

Russian Federation, Barnaul, Altai State Technical University named after I. I. Polesunov.

Modeling and optimization problems of electrical safety systems in conditions of uncertainty of the input data was viewed. The approaches to solving these problems was offered.

Keywords: electrical and fire safety, electrical safety system, interval analysis, the theory of fuzzy sets.

Bibliography

1. Germanenko, V.S. Sredstva realizacii vybora optimalnykh strategij sozdaniya sistem bezopasnosti elektroustanovok APK [Tekst] / V.S. Germanenko, S.S. Guselnikov, O.N. Drobyazko, S.F. Nefedov // Polzunovskij vestnik.- 2005. -№ 4.-Ch.3. - S. 230-234.

2. Sistemy bezopasnosti elektroustanovok zdaniy / O.K. Nikolskij, A.A. Soshnikov, O.N. Drobyazko, V.S. Germanenko, L.V. Ten, A.L. Ten, E.F. Aunapu, G.N. Moskalenko. - Barnaul, 2004.-82 s. V kn. Pravila ustrojstva, ekspluatatsiya i bezopasnost elektro-ustanovok. – Normativno-technicheskij sbornik. -Barnaul,- 2004.

3. Drobyazko, O.N. Osobennosti ispolzovaniya metodov ocenki effektivnosti i optimizacii technicheskix sistem bezopasnosti elektroustanovok [Tekst] / O.N. Drobyazko, S.F.Nefedov // Mexanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyajstva.- 2009. -№ 5. - С. 32-33.

4. Yaxeva G.E. Osnovy teorii nechetkix mnozhestv. Internet-universitet. [Elektronnyj re-surs]. Elektron. tekst. dan. – Rezhim dostupa : <http://intuit.ru/departmnt/ds/> . Zagl. s ekrana.

5. Kalmykov S.A., Shokin Yu.I., Yuldashev Z.X. Metody intervalnogo analiza. – Novosi-birsk: Nauka, 1986. [Elektronnyj resurs]. - Elektron. tekst. dan. – Rezhim dostupa: www.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/KalmShokYuld.djvu Zagl. s ekrana.

Nefedov S. F. e-mail: nfdv@inbox.ru, phone: (385-2) 36-71-29.

УДК 621.9Т

ВЫХОДНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Багаев А.А., Чернусь Р.С.

РФ, Барнаул, Алтайский государственный аграрный университет

Обоснована математическая модель, описывающая функциональную связь тока статора асинхронного двигателя центробежного расходомера и расхода сыпучего материала при частотном регулировании.

Ключевые слова: центробежный расходомер сыпучих материалов, ток статора, схема замещения, расход.

Введение. Центробежный расходомер представляет совокупность двигателя-датчика, информационно-измерительного канала и вторичного регистрирующего прибора. Конструкция и основные положения теории центробежного датчика изложены в работах [1-14].

К центробежным датчикам на ряду с энергетической обеспеченностью электропривода предъявляется ряд других требований, в ряду которых одними из основных являются большая крутизна статической характеристики, обуславливающая информационную

подвижность.

Информационная подвижность центробежного датчика - это способность двигателя реагировать на изменение нагрузки, сопровождающееся изменением тока статора АД с возможностью его регистрации посредством современных технических средств с наименьшей погрешностью. Критерием информационной подвижности является крутизна статической выходной характеристики $\Delta I_1/\Delta Q$, где ΔI_1 – изменение тока статора, ΔQ – приращение расхода, соответствующее изменению тока ΔI_1 .

Информационные возможности электропривода центробежного датчика ограничены мощностью асинхронного двигателя и жесткостью его механической и электромеханической характеристик.

Расширить границы использования расходомера, то есть применять его для измерения иного расхода без замены двигателя, возможно путем частотного регулирования скорости вращения крыльчатки и соответственно ротора электродвигателя.

Целью является аналитическое обоснование математической модели, описывающей функциональную связь тока статора асинхронного двигателя центробежного расходомера и расхода сыпучего материала при частотном регулировании, и выявление влияния частоты напряжения питающей сети на информационную подвижность датчика.

Результаты исследования.

Для достижения поставленной цели целесообразно скольжение (угловую скорость или частоту вращения) выразить через ток статора, а затем расход – через скольжение, зависимость которых является линейной функцией [15].

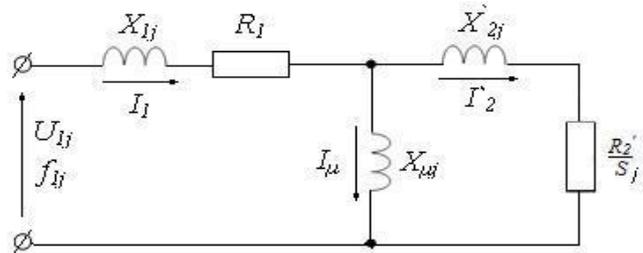
На рисунке 1 представлена Т-образная схема замещения асинхронного двигателя [16], которая, как правило, применяется для исследования и анализа процессов в регулируемом электроприводе.

Рисунок 1 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

U_{1j} , f_{1j} – комплекс действующего значения регулируемого напряжения и регулируемой частоты напряжения соответственно;

I_1 – комплекс действующего значения тока статора; I_μ – комплекс действующего значения

тока намагничивания; I_2 – комплекс действующего значения приведенного тока статора; R_1 – активное сопротивление статора; X_{1j} – индуктивное сопротивление статора, зависящее от частоты напряжения; X'_{2j} – приведенное индуктивное сопротивление ротора, зависящее от частоты напряжения; R'_2 – приведенное активное сопротивление ротора; s_j – относительное скольжение, зависящее от частоты напряжения; $X_{\mu j}$ – индуктивное сопротивление контура намагничивания, зависящее от частоты напряжения



Введем следующие обозначения: $X_{1j}=X_{1nf}$, $X'_{2j}=X_{2nf}$, $X_{\mu j}=X_{\mu nf}$, $X_k=X_{knf}$, $f=f_{1j}/f_n$, где f – относительная частота напряжения, $f_n = 50$ Гц – номинальная частота напряжения, X_{1n} , X'_{2n} , $X_{\mu n}$, X_{kn} – номинальные индуктивные сопротивление обмотки статора, ротора, контура намагничивания и короткого замыкания соответственно

Тогда для схемы замещения на рисунке 1 справедлива следующая система уравнений:

$$U_{1j} = (R_1 + jX_{1nf})I_1 + jX_{\mu nf}I_\mu$$

$$jX_{\mu nf}I_\mu = \left(jX'_{2nf} + \frac{R'_2}{s_j} \right) I_2 \quad (1)$$

$$I_1 = I_\mu + I_2$$

Решением системы уравнений (1) относительно тока статора I_1 является

$$I_1 = \frac{U_{1j} \left(j(X'_{2nf} f s_j + X_{\mu nf} f s_j) + R'_2 \right)}{j \left(R_1 X'_{2nf} f s_j + R_1 X_{\mu nf} f s_j + R'_2 X_{1nf} f + R'_2 X_{\mu nf} f \right) + \left(R_1 R'_2 - X_{1nf} X'_{2nf} f^2 s_j - X_{1nf} X_{\mu nf} f^2 s_j - X'_{2nf} X_{\mu nf} f^2 s_j \right)}$$

или по модулю

$$|I_1| = \frac{U_{1j} \sqrt{(X'_{2n} f s_j + X_{\mu n} f s_j)^2 + R_2'^2}}{\sqrt{(R_1 X'_{2n} f s_j + R_1 X_{\mu n} f s_j + R_2' X_{1n} f + R_2' X_{\mu n} f)^2 + (R_1 R_2' - X_{1n} X'_{2n} f^2 s_j - X_{1n} X_{\mu n} f^2 s_j - X'_{2n} X_{\mu n} f^2 s_j)^2}} \quad (2)$$

Выражение (2) описывает функциональную зависимость тока статора I_1 от скольжения s_j и относительной частоты f .

Уравнение (2) позволяет выразить скольжение s через ток статора I_1 двигателя.

Для упрощения введём следующие обозначения:

$$A = X'_{2n} + X_{\mu n}; \quad B = R_1 X'_{2n} + R_1 X_{\mu n}; \\ C = R_2' X_{1n} + R_2' X_{\mu n}; \quad D = X_{1n} X'_{2n} + X_{1n} X_{\mu n} + X'_{2n} X_{\mu n}$$

В этом случае уравнение (2) принимает вид:

$$(B^2 f^2 I_1^2 - A^2 U_{1j}^2 f^2 + D^2 f^4 I_1^2) s^2 + (2BC I_1^2 f^2 - 2DR_1 R_2' f^2 I_1^2) s + C^2 f^2 I_1^2 + R_1^2 R_2'^2 I_1^2 - U_{1j}^2 R_2'^2 = 0, \quad (3)$$

Решением уравнения (3) в результате ряда преобразований (при $f > 0$), являются корни:

$$s_{j1} = \frac{DR_1 R_2' I_1^2 - BC I_1^2 - \sqrt{(BC I_1^2 - DR_1 R_2' I_1^2)^2 - (B^2 f^2 I_1^2 - A^2 U_{1j}^2 f^2 + D^2 I_1^2)(C^2 f^2 I_1^2 + R_1^2 R_2'^2 I_1^2 - U_{1j}^2 R_2'^2)}}{B^2 I_1^2 - A^2 U_{1j}^2 + D^2 f^2 I_1^2} \quad (4)$$

$$s_{j2} = \frac{DR_1 R_2' I_1^2 - BC I_1^2 + \sqrt{(BC I_1^2 - DR_1 R_2' I_1^2)^2 - (B^2 f^2 I_1^2 - A^2 U_{1j}^2 f^2 + D^2 I_1^2)(C^2 f^2 I_1^2 + R_1^2 R_2'^2 I_1^2 - U_{1j}^2 R_2'^2)}}{B^2 I_1^2 - A^2 U_{1j}^2 + D^2 f^2 I_1^2} \quad (5)$$

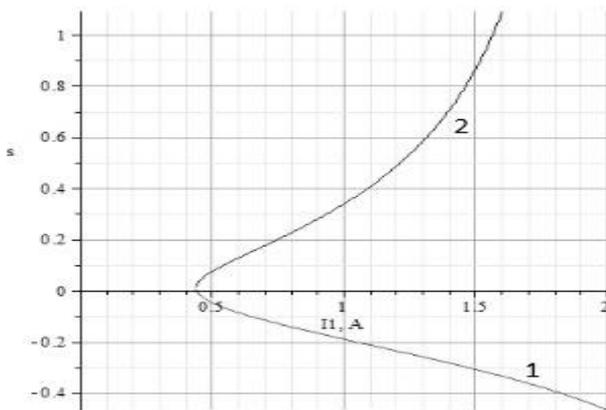


Рисунок 2 – Зависимости скольжения s_j от тока статора I_1
1 - при s_{j1} , 2 - при s_{j2}

Графическая интерпретация решений уравнения (3) для двигателя АИР56В4 при относительной частоте $f=1$ показана на рисунке 2.

Анализ полученных электромеханических характеристик показывает, что при токе статора $I_1 > I_{xx} \approx I_{\mu}$ [17] численные значения корня s_{j1} являются отрицательными, что не соответствует двигательному режиму работы электродвигателя ($0 < s \leq 1$), где I_{xx} - ток холостого хода. Следовательно, для установления связи между скольжением s_j и током статора I_1 следует использовать решение s_{j2} .

Таким образом, выражение (5) с учетом сформулированных выше ограничений устанавливает связь между скольжением s_j и током статора I_1 .

С другой стороны известно выражение [15], устанавливающее связь между расходом сыпучего материала и угловой скоростью двигателя, которое в результате учета допущения, позволяющего получить равенство $Q=0$ при $I_1=I_{xx}$, принимает вид:

$$Q = \frac{Q_n}{s_{nc}} \left(1 - \frac{(1-s)\omega_0}{\omega_c} \right) = \frac{Q_n (\omega_c - (1-s)\omega_0)}{\omega_c - \omega_n}, \quad (6)$$

где ω_n - номинальная угловая скорость крыльчатки, рад/с;

ω_0 - синхронная угловая скорость поля статора, рад/с;

s_{nc} - «скольжение крыльчатки» при номинальной нагрузке относительно ω_c ,

$$s_{nc} = \frac{\omega_c - \omega_{нк}}{\omega_c} \neq s_n;$$

ω_c - угловая скорость крыльчатки без нагрузки, рад/с, $\omega_c \neq \omega_0$;

$\omega_{нк}$ - угловая скорость крыльчатки при номинальной нагрузке, рад/с,

Q_n – номинальный расход сыпучего продукта при номинальных токе и моменте электродвигателя, кг/с,

Q – расход сыпучего продукта, кг/с.

Номинальный расход Q_n соответствует номинальному току статора I_1 и определяется экспериментально для конкретного центробежного датчика с известными геометрическими, механическими и энергетическими параметрами.

При частотном регулировании параметры $Q_n, \omega_0, \omega_c, \omega_{нк}, s$ зависят от частоты питающего напряжения. В результате их замены на $Q_{nj}, \omega_{0j}, \omega_{cj}, \omega_{nj}, s_j$ соответственно, уравнение (6) переписывается следующим образом:

$$Q = \frac{Q_{nj} (\omega_{cj} - (1-s_j) \omega_{0j})}{\omega_{cj} - \omega_{nj}} = \frac{Q_{nj} (\omega_c f - (1-s_j) \omega_0 f)}{\omega_c f - \omega_n f} = \frac{Q_{nj} (\omega_c - (1-s_j) \omega_0)}{\omega_c - \omega_n} \quad (7)$$

где $\omega_{0j} = \omega_0 f, \omega_{nj} = \omega_n f, \omega_{cj} = \omega_c f$.

Номинальный расход Q_{nj} зависит от частоты питающего напряжения и определяется экспериментально.

В соответствии с (7) зависимость расхода от скольжения двигателя является линейной.

Совместное решение уравнений (5) и (7) позволяет получить функциональную связь тока статора асинхронного двигателя с расходом сыпучего материала, которую в соответствии с принятой терминологией [15,18] можно назвать *выходной статической характеристикой центробежного расходомера*. Для этого достаточно подставить скольжение, описываемое выражением (5), в уравнение расхода (7).

Результаты предлагаемого подхода изображены на рисунке 3.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей расхода сыпучего материала от тока статора для асинхронного двигателя АИР56В4 с крыльчаткой центробежного расходомера на валу (геометрические параметры крыльчатки: радиус, высота лопастей, длина лопаток) при $Q_{nj}=2,7$ кг/с, $\omega_0=157$ рад/с, $\omega_c=154,9$ рад/с, $\omega_n=141,3$ рад/с при различных относительных частотах f и реализации пропорционального закона регулирования с IR -компенсацией [16] $U_1 \approx U_{1nf} + I_{1n} R_1 (1-f)$.

Анализ указанных зависимостей показывает, что графики представляют собой практически линейные зависимости, угол наклона которых по отношению к оси абсцисс уменьшается со снижением частоты питающего напряжения. При одном и том же изменении расхода с уменьшением угла наклона ток изменяется в меньшей степени, соответственно уменьшается и точность измерения.

Выводы. С уменьшением частоты уменьшаются крутизна статической выходной характеристики центробежного датчика массового расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов и информационная подвижность расходомера.

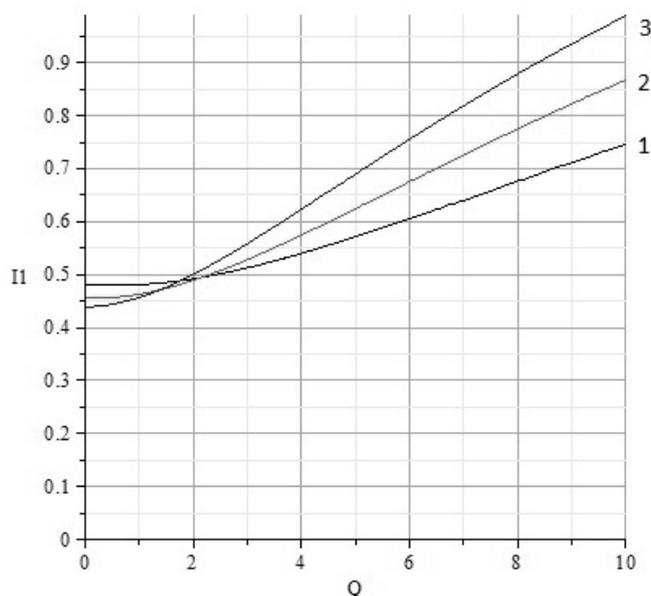


Рисунок 3 - Зависимости тока статора I_1 , А, двигателя АИР56В4 от расхода Q , кг/с, при различных относительных частотах f с IR -компенсацией

1 - при $f=0,6$; 2 - при $f=0,8$; 3 - при $f=1$

1. Багаев, А.А. Использование момента кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2008. - № 4 (42). - С. 47-49.
2. Багаев, А.А. Двигатель постоянного тока как первичный преобразователь крутящего момента центробежных расходомеров сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2008. - № 6 (44). - С. 62-65.
3. Багаев, А.А. Результаты математического моделирования крутящего момента центробежного расходомера зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2009. - № 6 (56). - С. 54-57.
4. Багаев, А.А. Передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2010. - № 1 (63). - С. 71-75.
5. Багаев, А.А. Уравнение регрессии момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2010. - № 6 (68). - С. 83-87.
6. Багаев, А.А. Обоснование критерия выбора электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Ползуновский вестник, 2011. - № 2 / 1. - С. 188-193.
7. Багаев, А.А. Передаточная функция момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов при осевой загрузке / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. - №10 (84). - С. 86-89.
8. Багаев, А.А. Требования к временным характеристикам и обоснование области расположения полюсов передаточной функции центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. - № 10 (108). - С. 115-118.
9. Багаев, А.А. Требования к информационной «подвижности» центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2014. - № 8 (118). - С. 105-110.
10. Багаев А.А. Статистические характеристики мощности электрического двигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2014. - № 10 (120). - С. 108-113.
11. Багаев А.А. Математическая модель функциональной зависимости момента и мощности приводного асинхронного электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А.А.Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2015. - № 10 (132). - С. 88-93.
12. Багаев, А.А. Определение расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов путем измерения тока статора асинхронного привода центробежного расходомера [Текст] / А.А.Багаев, Р.С. Чернущ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2015. - № 12 (134). - С. 132-138.
13. Пат. 2532595 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ непрерывного контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ, А.Ф. Костюков., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. - : №2013122014/28, заявл. 13.05.2013; опубл.: 10.11.2014 Бюл. № 31. – 7 с. : ил.
14. Пат.2532596 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущ, А.Ф. Костюков., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. - : №2013122014/28, заявл. 13.05.2013; опубл.: 10.11.2014 Бюл. № 31. – 7 с. : ил.
15. Луткин, Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов/Н.И.Луткин.-М.: Колос, 1969.-184 с.
16. Онищенко, Г.Б. Электрический привод/Г.Б.Онищенко. - М.: Академия, 2006.-288 с.
17. Воронин, С.Г. Электромеханические свойства двигателей переменного тока: http://epla.susu.ac.ru/glv_030.htm
18. Юферов, Ф.М. Электрические машины автоматических устройств / Ф.М. Юферов Учебник для ВУЗов. М., «Высшая школа», 1976. – 416 с.

Багаев Андрей Алексеевич – д-р техн. наук, профессор, Алтайский ГАУ (Алтайский государственный аграрный университет), 656049, Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98
Мобильный телефон (913)363-44-67, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Чернусь Роман Сергеевич - старший преподаватель, Алтайский ГАУ (Алтайский государственный аграрный университет), 656049, Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98; тел. (3852) 62-84-49, Мобильный телефон (909)501-93-66, e-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

OUTPUT STATIC CHARACTERISTICS CENTRIFUGAL FLOW SENSOR MEASURING LOOSE AGRICULTURAL MATERIAL AT THE FREQUENCY REGULATION

Bagaev A. A., Chernus R. S.

The Russian Federation, Barnaul, Altai State Agricultural University

Annotation: Substantiates the mathematical model describing the functional relationship of the stator current of the induction motor centrifugal flowmeter and flow of loose material at the frequency regulation.

Keywords: centrifugal flow meter loose materials, stator current, equivalent circuit, flow.

Bibliography

1. Bagaev A.A. Ispol'zovanie momenta koriolisovykh sil dlia izmereniia massovogo rashoda potoka zerna i produktov ego razmola / A.A. Bagaev, V.G. Luk'ianov, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2008. - № 4 (42). - S. 47-49.

2. Bagaev A.A. Dvigatel' postoiannogo toka kak pervichnyy preobrazovatel' krutiashchego momenta centrebeznykh rashodomerov sy'puchikh sel'skohoziastvennykh produktov / A.A. Bagaev, V.G. Luk'ianov, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2008. - № 6 (44). - S. 62-65.

3. Bagaev A.A. Rezul'taty matematicheskogo modelirovaniia krutiashchego momenta centrebezhnogo rashodmera zerna i produktov ego razmola / A.A. Bagaev, V.G. Luk'ianov, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2009. - № 6 (56). - S. 54-57.

4. Bagaev A.A. Peredatochnaia funktsiia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh produktov / A.A. Bagaev, V.G. Luk'ianov, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2010. - № 1 (63). - S. 71-75.

5. Bagaev A.A. Uravnenie regressii momenta soprotivleniia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2010. - № 6 (68). - S. 83-87.

6. Bagaev A.A. Obosnovanie kriteriia vy'bora e'lektrodvigatelia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh produktov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Polzunovskii vestnyk, 2011. - № 2 / 1. - S. 188-193.

7. Bagaev A.A. Peredatochnaia funktsiia momenta soprotivleniia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov pri osevoi zagruzke / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2011. - № 10 (84). - S. 86-89.

8. Bagaev A.A. Trebovaniia k vremenny'm harakteristikam i obosnovanie oblasti raspolozheniia poliurov peredatochnoi funktsii centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013. - № 10 (108). - S. 115-118.

9. Bagaev A.A. Trebovaniia k informatcionnoi «podvizhnosti» centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2014. - № 8 (118). - S. 105-110.

10. Bagaev A.A. Statisticheskie harakteristiki moshchnosti e'lektricheskogo dvigatelia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2014. - № 10 (120). - S. 108-113.

11. Bagaev A.A. Matematicheskaia model' funktsional'noi zavisimosti momenta i moshchnosti privodnogo asinkhronnogo e'lektrodvigatelia centrebezhnogo rashodmera sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2015. - № 10 (132). - S. 88-93.

12. Bagaev A.A. Opredelenie rashoda sy'puchikh sel'skohoziastvennykh materialov putem izmereniia toka statora asinkhronnogo privoda centrebezhnogo rashodmera [Tekst] / A.A. Bagaev, R.S. Chernus' // Vestnyk Altai'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2015. - № 12 (134). - S. 132-138.

13. Pat. 2532595 Rossiiskaiia Federatsiia, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob nepreryvnogo kontroliia rashoda i dozirovaniia sy'puchikh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus', A.F. Kostiukov., zaiavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO AGAU. - : №2013122014/28, zaiavl. 13.05.2013; opubl.: 10.11.2014 Biul. № 31. - 7 s. : il.

14. Pat.2532596 Rossijskaja Federacija, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob kontrolja rashoda i dozirovanija sy'puchikh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus', A.F. Kostiukov., zaiavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO AGAU. -: №2013122014/28, zaiavl. 13.05.2013; opubl.: 10.11.2014 Biul. № 31. – 7 s. : il.

15. Lutkin N.I. Rashodomery` dlia zerna i sy'puchikh materialov/N.I.Lutkin.-M.: Kolos, 1969.-184 s.

16. Onishchenko G.B. E`lektricheskiĭ privod/G.B.Onishchenko. - M.: Akademiia, 2006.-288 s.

17. Voronin S.G. E`lektromehaničeskie svoi'stva dvigatelei` peremennogo toka: http://epla.susu.ac.ru/glv_030.htm

18. Iuferov F.M. E`lektricheskie mashiny` avtomatičeskikh ustroi'stv / F.M. Iuferov Učebnik dlia VUZov. M., «Vy`sshaja shkola», 1976. – 416 s.

Bagaev Andrey Alekseevich - Address of work 656049, Barnaul, pr. Krasnoarmejskiy, d. 98, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Chernus Roman Sergeevich e-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

УДК 631.71:621.31

ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

Никольский О.К., Воробьев Н.П.

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

Предложена концепция определения опасных техногенных ситуаций в электроустановках и производственных объектах АПК, реализованная в виде системы нечеткой логики в среде Scilab 5.2.2 и позволяющая оценивать и управлять рисками на предприятии изменением технологических процессов.

Ключевые слова: риск, техногенный, АПК, нечеткая, логика.

Отказы электроустановок и производственных объектов предприятий АПК (ЭУиПОАПК) зачастую приводят к гибели людей, пожарам и серьезным нарушениям экологической обстановки. Людские потери и огромный материальный ущерб при достаточно частых чрезвычайных ситуациях в связи с критической изношенностью (более 70%) основных фондов в электроэнергетике ставят проблему техногенной безопасности в перечень государственных инновационных программ. [1]

Интеллектуализация диагностических мероприятий, направленная на улучшение системы оценки состояния электроустановок, может быть достигнута путем рассмотрения модели «человек – электроустановка - среда», компоненты которой имеют между собой функциональные и информационные связи. Такие модели относятся к классу многокритериальных, их решение связано с переработкой больших объемов информации и широким использованием программных продуктов.

Для моделирования многомерных зависимостей "входы - выход" (рискообразующие факторы (РОФ) – возникновение опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК) целесообразно использовать иерархические системы нечеткого логического вывода.

Концепция определения опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК на основе нечеткой логики строится на предположении, что компоненты системы «Человек (Ч) Персонал», «Электроустановка (ЭУ)», «Среда (С)», «Законодательная и нормативная база (А)», «Макроэкономические показатели (Б)» и «Инновационные показатели (В)» влияют на возникновение опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК, формируя РОФ.

РОФ представляют собой разнородную информацию о состоянии ЭУиПОАПК, которую трудно интерпретировать, обрабатывать и трансформировать в виде интегрального риска. При этом используются основные базовые понятия, используемые в системе нечеткой логики. [2,3] В связи с чем нами была поставлена задача разработки системы нечеткого логического вывода для оценки опасных техногенных ситуаций применительно

к ЭУиПОАПК, по результатам работы которой система должна выдавать рекомендации по дальнейшей эксплуатации ЭУиПОАПК. Для оценки интегрального риска электроустановок производственных объектов предприятий АПК R_{Σ} введем трехбалльную лингвистическую шкалу (таблица 1) с интервальными значениями согласно нормативно-технической документации [1].

Таблица 1 - Лингвистическая шкала оценки интегрального риска

Вид интегрального риска R_{Σ}	Оценка риска [частота событий в год], $R_{\Sigma}=10^{-q}$
Малый	Приемлемый – $[10^{-5} - 10^{-6}]$
Средний	Допустимый – $[10^{-3} - 10^{-5}]$
Высокий	Неприемлемый – $[10^{-2} - 10^{-3}]$
Примечание: R_{Σ} - оценка риска [частота событий в год], q – модуль показателя степени частоты событий в год (ПСЧС), в дальнейшем его будем обозначать как модуль q без учета знака, присваивая знак «-» после вычисления модуля q .	

РОФ содержат как численные значения, так и термины вида «часто», «периодически», «редко» и другие по разработанной нами таблице 2.

При этом на основе экспертной оценки РОФ формируют входной вектор $X^* = [X_1^*, \dots, X_n^*]$, соответствующий РОФ ЭУиПОАПК, и направляют его в систему нечеткого логического вывода, на выходе которой получают показатель степени частоты событий в год q , а на его основе - реальное значение R_{Σ} - вида интегрального риска и оценку риска [частота событий в год] (таблица 1).

Разработанная нами иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода экспертной системы оценки опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК приведена на рисунках 1,2,3.

Связь F между входными переменными X_1 - X_{92} , X_{42} - X_{33} (обозначим их как X_j), промежуточными переменными S_{1_12} , S_{13_92} , S_{20_42} , S_{25_27} , S_{28_30} , S_{31_33} (обозначим их как Y_1 - Y_6 соответственно), и выходной переменной q описывается системой соотношений

$$Y_1 = F_{Y_1}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}), \quad (1)$$

$$Y_2 = F_{Y_2}(X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{92}), \quad (2)$$

$$Y_3 = F_{Y_3}(X_{42}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}), \quad (3)$$

$$Y_4 = F_{Y_4}(X_{25}, X_{26}, X_{27}), \quad (4)$$

$$Y_5 = F_{Y_5}(X_{28}, X_{29}, X_{30}), \quad (5)$$

$$Y_6 = F_{Y_6}(X_{31}, X_{32}, X_{33}), \quad (6)$$

$$q = F_q(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6), \quad (7)$$

$$X_j \in [0, 10], \quad (8)$$

$$q \in [0, 10]. \quad (9)$$

Таблица 2 - Балльно-лингвистическая система оценок РОФ (для примера цветом выделены результаты экспертного обследования ЭУиПОАПК)

Компонент системы	Обозначение РОФ	Смысловое выражение РОФ	Доля (вес) в совокупности причин возникших рисков	Произведение нормирующего коэффициента $K_n=12.821$ (по отношению к максимальному рискообразующему фактору (X13)) на X1 по X33	Термножество
1	2	3	4	5	6
Человек (Ч) Персонал	X1	Не правильные действия	0.042	12.821*0.042	Часто Периодически Редко
	X2	Контроль технологических процессов	0.041	12.821*0.041	Плохой Удовлетвор. Хороший
	X3	Соблюдение техники безопасности	0.036	12.821*0.036	Плохое Удовлетвор. Хорошее
	X4	Уровень профессионализма	0.034	12.821*0.034	Низкий Средний Высокий
	X5	Самообладание в экстремальных ситуациях	0.034	12.821*0.034	Неудовлетвор. Удовлетвор. Хорошее
	X6	Обученность действиям в нестандартных ситуациях	0.031	12.821*0.031	Неудовлетвор. Удовлетвор. Хорошая
	X7	Ошибки в оперативных решениях	0.022	12.821*0.022	Часто Периодически Редко
	X8	Навыки выполнения работ	0.022	12.821*0.022	Плохие Средние Хорошие
	X9	Умышленное отступление от норм	0.001	12.821*0.001	Часто Периодически Редко
	X10	Физическое состояние (бездействие)	0.001	12.821*0.001	Плохое Удовлетвор. Хорошее
	X11	Психологические показатели	0.001	12.821*0.001	Плохие Удовлетвор. Хорошие
	X12	Профессиональная мотивация	0.001	12.821*0.001	Низкая Средняя Высокая
Итого:			2,66		
Электроустановка (ЭУ)	X13	Уровень опасности возникновения аварийных режимов	0.078	12.821*0.078=1	Высокий Средний Низкий
	X14	Степень износа изоляционных частей ЭУ	0.072	12.821*0.072	Высокая Средняя Низкая

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

	X15	Срок эксплуатации ЭУ	0.059	12.821*0.059	Большой
					Средний
					Малый
	X16	Степень износа токоведущих частей ЭУ	0.057	12.821*0.057	Высокая
					Средняя
					Низкая
	X17	Отказ технологического электрооборудования	0.046	12.821*0.046	Частые
					Периодические
					Редкие
	X18	Отказ (отсутствие) средств электрозащиты	0.045	12.821*0.045	Частое
					Периодическое
					Редкое
	X19	Возможность возникновения ОТС	0.034	12.821*0.034	Высокая
					Средняя
					Малая
	X92	Эффективность средств электрозащиты	0.031	12.821*0.031	Низкая
					Средняя
					Высокая
Итого:			4,254		
Среда (С)	X20	Уровень деструктивных воздействий параметров микроклимата	0.055	12.821*0.055	Высокий
					Средний
					Низкий
	X21	Качество текущего ремонта технологического электрооборудования	0.049	12.821*0.049	Плохое
					Удовлетвор.
	X22	Диагностика технического состояния ЭУ	0.042	12.821*0.042	Хорошее
					Неудовлетвор.
					Эпизодическая
	X23	Частота возникновения опасных факторов и превышение критических значений параметров	0.028	12.821*0.028	Удовлетвор.
					Часто
					Периодически
	X24, X42	Состояние условий труда. Уровень дискомфорта рабочей среды персонала	0.002	12.821*0.002	Редко
					Хорошее
					Удовлетвор.
Итого:			2,066		Неудовлетвор.
Степень соответствия качества федеральных нормативных документов современным требованиям техногенной безопасности электроустановок человеко-машинной системы					
Законодательная и нормативная базы (А)	X25	Нормативно технические документы (ПУЭ, ПТЭиБ, СНиПИ, НПБ)	0.025	12.821*0.025	Неудовлетвор.
					Удовлетвор.
					Хорошее
	X26	Федеральное законодательство (в т.ч. Технические регламенты)	0.016	12.821*0.016	Неудовлетвор.
					Удовлетвор.
					Хорошее
Итого:			1,02		
	X27	ГОСТы	0.009	12.821*0.009	Неудовлетвор.
					Удовлетвор.
					Хорошее

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Макроэкономические показатели (Б)	X28	Доступность инновационных ресурсов	0.019	12.821*0.019	Низкая
					Удовлетвор.
					Высокая
	X29	Структурные изменения экономической политики в области охраны труда и безопасности производства (налоговая политика, ставки банковского кредита и т.д.)	0.008	12.821*0.008	Отрицат.
					Удовлетвор.
					Положительн.
X30	Система планирования и контроля в области проектирования, монтажа и эксплуатации средств комплексной безопасности ЭУ	0.003	12.821*0.003	Отсутствует	
				Низкая	
				Удовлетвор.	
Инновационные показатели (В)	X32, X33	Степень готовности организации к выполнению внедренческих работ. Наличие и качество концепции НИОКР	0.017	12.821*0.017	Отсутствует
					Низкий
					Удовлетвор.
	X31	Финансирование (уровень) разработок	0.003	12.821*0.003	Отсутствует
					Низкая
					Удовлетвор.

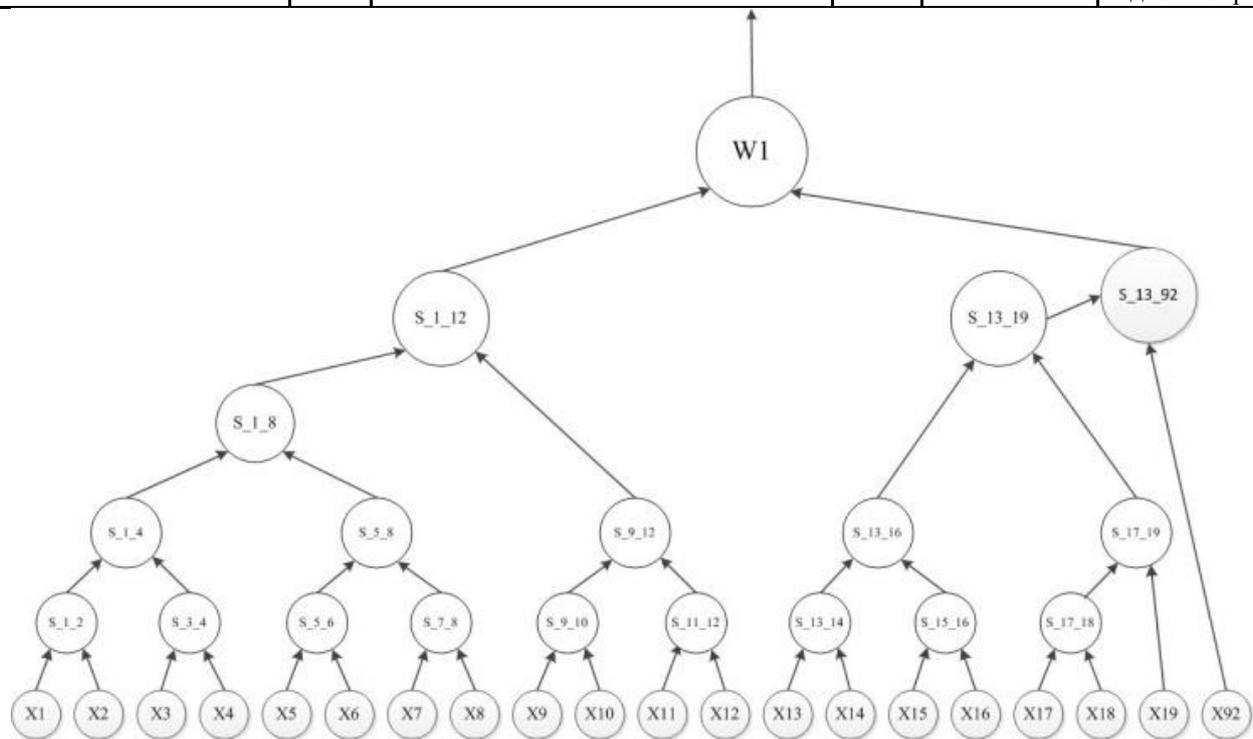


Рисунок 1 - Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода экспертной системы оценки опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК (начало)
 X1-X92 - рискообразующие факторы; S_1_12 – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Человек (Ч) Персонал»; S_13_92 – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Электроустановка (ЭУ)»; W1 - логическая свертка, соответствующая риску от компонентов системы «Человек (Ч) Персонал» и «Электроустановка (ЭУ)»

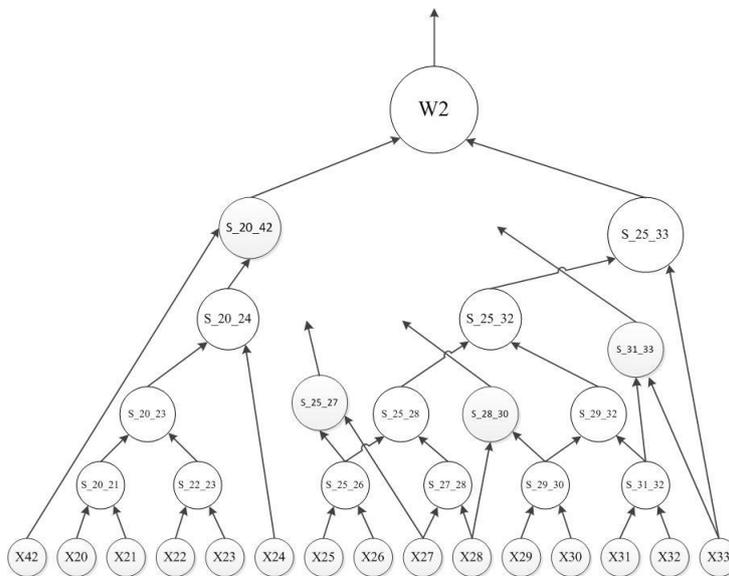


Рисунок 2 - Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода экспертной системы оценки опасных техногенных ситуаций применительно к ЭУиПОАПК (продолжение)
X42-X33 - рискообразующие факторы; S_{20_42} – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Среда (С)»; S_{25_27} – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Законодательная и нормативная база (А)»; S_{28_30} – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Макроэкономические показатели (В)»; S_{31_33} – логическая свертка, соответствующая риску от компонента системы «Инновационные показатели (В)»

Соотношения (1) по (9) соответствуют базе знаний, состоящей из логических высказываний о взаимодействии входных X_j , промежуточных $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$, и выходной переменной q .

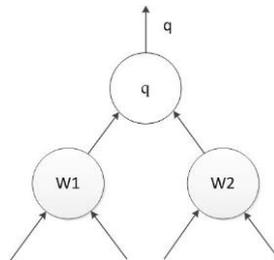


Рисунок 3 - Иерархическая структурная схема нечеткого логического вывода для оценки R_{Σ} - риска [частоты событий в год] электроустановок по таблице 2 путем определения величины q (ПСЧС)

Разработанную нечеткую базу знаний о влиянии факторов X_j на значение параметров $Y_1 - Y_6$ на основе известных соотношений запишем в более общем виде [3]

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n (X_i = a_i^{jp}) \rightarrow Y = d_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (10)$$

где a_i^{jp} - нечеткий терм, которым оценивается переменная X_i в строчке с номером jp ($p = \overline{1, k_j}$); \bigcap - логическая операция «И»;

k_j - количество строчек-конъюнкций, в которых выход Y оценивается нечетким термом d_j (в разработанной системе нечеткой логики по рисункам 1,2,3 количество строчек-конъюнкций $k_j = 5$), $j = \overline{1, m}$;

m - количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного параметра Y (в разработанной системе нечеткой логики по рисункам 1,2,3 количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного параметра, $m = 5$); $i = \overline{1, n}$, $n=33$ – число влияющих факторов к рисункам 1,2,3.

Уравнению (10) соответствуют нечеткие логические выражения, связывающие функции принадлежности нечетких термов входных и выходных переменных. То есть степень принадлежности $\mu^{dj}(X^*)$ конкретного входного вектора $X^* = [X_1^*, \dots, X_n^*]$ (X^* тождественно равен реальным РОФ, соответствующим конкретному объекту – ЭУиПОАПК) нечетким термам d_j из базы знаний (10) на основе известных соотношений можно записать в виде

$$\mu^{dj}(X^*) = \max_{p=1, k_j} \min_{i=1, n} [\mu^{ip}(X_i^*)], \quad j = \overline{1, m}, \quad (11)$$

При работе системы по рисункам 1,2,3 нечеткое множество \tilde{q} , соответствующее входному вектору X^* , определяется на основе соотношения

$$\tilde{q} = \frac{\bigcup_{j=1, m}^{\tilde{q}} \int_q \min(\mu^{dj}(X^*), \mu^{dj}(q))}{q}, \quad (12)$$

где \bigcup - операция объединения нечетких множеств;

$\mu^{dj}(q)$ - функция принадлежности выхода q нечеткому терму d_j , $j = \overline{1, m}$.

Четкое значение выхода q , соответствующее входному вектору X^* , определяется в результате дефаззификации нечеткого множества \tilde{q} . Применяется зарезервированная в Scilab дефаззификация по методу WeightedAverage [3]

$$q = \frac{\sum_q^{\tilde{q}} q \mu_{\tilde{q}}(q)}{\sum_q^{\tilde{q}} \mu_{\tilde{q}}(q)}, \quad (13)$$

где $\mu_{\tilde{q}}(q)$ – степень принадлежности выходного вектора \tilde{q} его нечетким термам,

q - оценка опасной техногенной ситуации применительно к ЭУиПОАПК по рисункам 1,2,3.

На основе изложенного нечеткий логический вывод системы нечеткой логики для оценки опасной техногенной ситуации применительно к ЭУиПОАПК можно представить в виде рисунка 4. [4,5,6]

РОФ в таблице 2 представлены нечеткими термами (лингвистические оценки риска ЭУ), но в среде Fuzzy Toolbox 0.4.6, входящей в пакет Scilab 5.2.2, они вводятся числовыми значениями по принципу: низкий – 0, ниже среднего – 2.5, средний – 5, выше среднего – 7.5, высокий – 10.

Величина q в диапазоне от 0 до 10 (от «низкий» до «высокий») приводится к требуемому по таблице 1 диапазону от -2 до -6 с помощью нормирующего преобразователя, разработанного также в программе Scilab 5.2.2.

С помощью разработанной системы может быть вычислено не только значение показателя степени частоты событий в год q , но и значения любых промежуточных логических сверток, а, следовательно, и риски от компонентов системы «Человек», системы «Электроустановка», системы «Среда», системы «Законодательная и нормативная база», системы «Макроэкономические показатели» и от компонента системы «Инновационные показатели».

Это позволяет управлять упомянутыми рисками путем изменения значений $X1-X33$, контролируя при этом изменения всех промежуточных логических сверток, поскольку все они представлены в окне «Обозреватель переменных» Scilab.

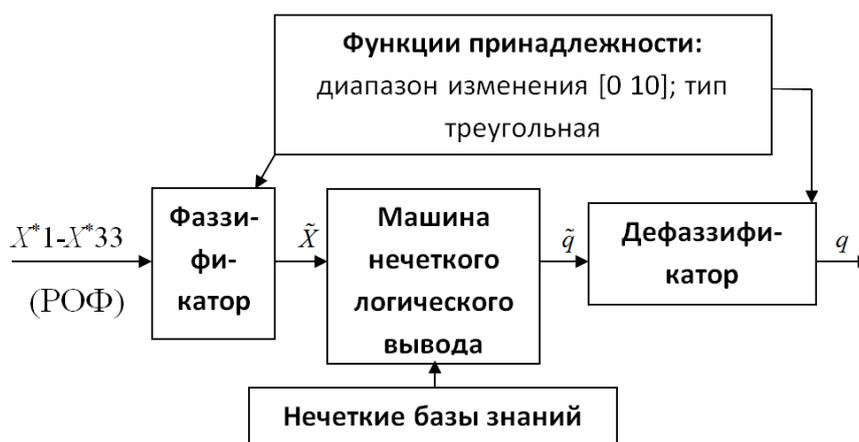


Рисунок 4 - Нечеткий логический вывод системы нечеткой логики для оценки опасной техногенной ситуации применительно к ЭУиПОАПК

X^*1-X^*33 - реальные четкие и нечеткие РОФ, соответствующие ЭУиПОАПК, полученные экспертным путем; \tilde{X} - вектор нечетких множеств, соответствующий входному вектору X^* ; \tilde{q} - результат логического вывода в виде вектора нечетких множеств; q - выходное четкое число – модуль показателя степени частоты событий в год (ПСЧС), позволяющий получить R_{Σ} - вид интегрального риска и оценку опасной техногенной ситуации применительно к ЭУиПОАПК по таблице 1.1

Выводы

1) Результаты модельных экспериментов с разработанной программой показывают нелинейность вычисления q в диапазоне изменения РОФ порядка +/-6% и высокую линейность (порядка +/-2%) формирования каждой из основных и промежуточных логических сверток.

2) В результате нечеткого логического преобразования РОФ в командном окне Scilab на основе соотношений (1) - (13) получают оценку опасной техногенной ситуации применительно к ЭУиПОАПК в виде q - показателя частоты событий в год (например, если $q=-3.88$, то $R_{\Sigma}=10^{-3.88}$, а вид интегрального риска по таблице 1 оценивается как средний). Полученному значению q в соответствии с таблицей 1 присваивается знак «-».

3) На основе q и R_{Σ} руководством предприятия АПК принимаются решения либо о продолжении эксплуатации ЭУиПОАПК, либо (на основе оценки и изменения промежуточных логических сверток) - о необходимости управления рисками на предприятии путем изменения соответствующих (наиболее проблемных) технологических процессов (окно «Обозреватель переменных» Scilab и таблица 2).

Список литературы

1. Техническая диагностика и остаточный ресурс электроустановок: монография / О.К. Никольский [и др.], под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники России, докт. техн. наук, проф. О.К. Никольского. – Барнаул: Изд-во «Алтайский дом печати». – 2013. – 207 с.
2. Гончаренко, Г.А. Метод оценки и прогнозирования остаточного ресурса электропроводки на объектах АПК в условиях неопределенности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Барнаул – 2013. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2015]. – Режим доступа: <http://www.altstu.ru/media/f/Avtoreferat--Goncharenko-GA.pdf> - Загл. с экрана.
3. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., [2013]. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/15.pdf> - Загл. с экрана.
4. Воробьев, Н.П. К вопросу о формировании экспертных систем оценки интегрального риска электроустановок (принципы построения имитационной модели) / О.К. Никольский, Н.П. Воробьев, А.Ф. Костюков, Н.И. Черкасова // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2014. – № 4, Т1. – С. 100-106.

5. Теория и практика управления техногенными рисками: учебное пособие / О. К. Никольский и др., под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники России, докт. техн. наук, О. К. Никольского. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015 – 219 с.

6. Пат. 2556299 Российская Федерация, МПК G01R29/08 (2006.01). Способ определения остаточного ресурса электропроводки / 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.: ил.

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, erp_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Воробьев Николай Павлович – д-р. техн. наук, профессор, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-кт Ленина, 46, (83852) 29-08-82, 36-71-29, vnprol51p@ya.ru, 8-961-9999-304.

TECHNOLOGY RISK MANAGEMENT OF DANGER ELECTRICAL ON AGRIBUSINESS

Vorobjev N.P., Nikolsky O.K.

Russia, Barnaul, Altai state technical university of I. I. Polzunov

The concept of the definition of hazardous man-made situations in electrical production and agribusiness facilities, implemented in the form of a fuzzy logic system in Scilab 5.2.2 environment and allows to assess and manage the risks in the company change processes.

Keywords: risk, technological, APK, fuzzy logic.

Bibliography

1. Texnicheskaya diagnostika i ostatochny'j resurs e'lektroustanovok: monografiya / O. K. Ni-kol'skij [i dr.], pod obshh. red. zasluzhennogo deyat'el'ya nauki i texniki Rossii, dokt. texn. nauk, prof. O. K. Nikol'skogo. – Barnaul: Izd-vo «Altajskij dom pečhati». – 2013. – 207 s.

2. Goncharenko, G. A. Metod ocenki i prognozirovaniya ostatochnogo resursa e'lektroustanovki na ob'ektax APK v usloviyax neopredelennosti. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj ste-peni kandidata texnicheskix nauk. Barnaul – 2013. [E'lektronny'j resurs]. – E'lektron. dan. – M., [2015]. – Rezhim dostupa: <http://www.altstu.ru/media/f/Avtoreferat--Goncharenko-GA.pdf> - Zagl. s e'krana.

3. Shtovba, S.D. Vvedenie v teoriyu nechetkix mnozhestv i nechetkuyu logiku. [E'lektronny'j re-surs]. – E'lektron. dan. – M., [2013]. – Rezhim dostupa: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/15.pdf>. - Zagl. s e'krana.

4. Vorob'ev, N.P. K voprosu o formirovanii e'kspertny'x sistem ocenki integral'nogo riska e'lektroustanovok (principy' postroeniya imitacionnoj modeli) / O.K. Nikol'skij, N.P. Vorob'ev, A.F. Kostyukov, N.I. Cherkasova // Polzunovskij vestnik. – Barnaul, 2014. – № 4, T1. – S. 100-106.

5. Teoriya i praktika upravleniya texnogenny'mi riskami: uchebnoe posobie / O. K. Nikol'skij i dr., pod obshh. red. zasluzhennogo deyat'el'ya nauki i texniki Rossii, dokt. texn. nauk, O. K. Nikol'skogo. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2015 – 219 s.

6. Pat. 2556299 Rossijskaya Federaciya, MPK G01R29/08 (2006.01). Sposob opredeleniya osta-tochnogo resursa e'lektroustanovki / Vorob'ev N.P., Vorob'eva S.N., Goncharenko G.A., Nikol'skij O.K.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Alt. gos. texn. un-t. im. I.I. Polzunova (AltGTU)» - № 20141048/28; zayavl. 04.02.2014; opubl. 10.07.2015, Byul. № 19. – 28 s.: il.

Nikolsky Oleg Konstantinovich - Dr. Sc, Professor, Head of "Electrification of production and way of life", Altai State Technical University. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852) 29-08-82, 36-71-29, erp_401@mail.ru, 8-905-986-89-49.

Vorobjev Nikolai Pavlovich - Dr. Sc, Professor, Altai State Technical University. Polzunov, 656038, Barnaul, Lenin Prospect, 46 (83852) 29-08-82, 36-71-29, vnprol51p@ya.ru, 8-961-9999-304.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДОГРЕВОМ ЗЕРНА**Халин М.В., Халина Т.М., Часовщиков Д.Г***Россия, Барнаул, Алтайский государственный технический университет
имени И.И. Ползунова*

Определена энергоэффективная система автоматического аппаратного подогрева зерна на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей, обеспечивающая замкнутый цикл технологического процесса, высокий КПД и низкие удельные энергозатраты.

Ключевые слова: энергоэффективная система подогрева, многоэлектродный композиционный электрообогреватель, автоматическое управление, датчик температуры.

Применение энергоэффективных технологий и технических средств подогрева зерна на предприятиях АПК в условиях импортозамещения и значительного увеличения производства зерна и его переработки приобретает особую актуальность.

Технические характеристики наиболее часто применяемых устройств подогрева зерна в Российской Федерации и странах СНГ и предлагаемого электрического аппарата подогрева зерна (ЭАПЗ) представлены в таблице 1, где: НЗШ - нагреватель зерна шахтного типа; БПЗ - блок подогрева зерна; ПЗ - подогреватель зерна. В мировой практике используются установки типа НЗШ и ПЗ (Польша, Канада, США и др.) по ценам в 1,5-2 раза дороже российских [1].

Таблица 1 – Технические характеристики существующих аппаратов

№ п/п	Техническая характеристика	Модель аппарата			
		НЗШ	БПЗ	ПЗ-3,0	ЭАПЗ
1	Производительность Gп, т/ч	30,0	5,0	3,0	2,2
2	Установленная электрическая мощность P, кВт	–	–	24,0	18,0
3	Установленная тепловая мощность Q, кВт	400,0	85,0	–	–
4	Установленная мощность технологических устройств (шнеки, вентиляторы и т.п.), кВт	30,0	0,6	1,1	1,0
5	Температура зерна: минимальная начальная и максимальная конечная, °С	-5 ÷ +15	-5 ÷ +15	-5 ÷ +15	-5 ÷ +15
6	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	14,0	21,0	10,0	8,6
7	Температура энергоносителя (подогретого воздуха, воды, пара) Tс, °С	40-50	110	80	–
8	Температура нагревательного элемента Tэ, °С	–	–	–	60
9	КПД установки, %	30-35	30-35	40-45	50-55

Целесообразность использования ЭАПЗ на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ) доказана предыдущими исследованиями, которые определили основные параметры эффективности установки: отсутствие вторичного энергоносителя, снижение удельных энергозатрат, повышение КПД и эксплуатационной надежности [2 - 4].

Однако, разработанные способы и устройства подогрева зерна недостаточно полно обеспечивают автоматическое регулирование процессом подогрева зерна, включающее контроль температуры зерна на входе и выходе ЭАПЗ, регулирование производительности подачи и выхода зерна, регулирование мощности энергоносителя, а также аварийное отключение электрооборудования при перегреве зерна.

Таким образом, целью настоящего исследования является разработка энергоэффективной системы автоматического управления подогревом зерна при проектировании ЭАПЗ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Разработать схему технологического процесса, позволяющую создать его непрерывность и сократить время подогрева зерна.

2 Автоматизировать процесс загрузки и выгрузки зерна в ЭАПЗ в зависимости от входных и выходных параметров зернового материала.

С учетом вышеизложенного были проведены проектно-конструкторские работы, которые позволили сформировать основные элементы автоматического управления системой подогрева зерна [4 - 6]

Разработанная схема технологического процесса представлена на рисунке 1, где:

1- бункер - накопитель; 2- аппарат ЭАПЗ; 3 - электрообогреватели МКЭ; 4 шкаф системы управления; 5 - датчик, измеряющий температуру зерна в бункере – накопителе; 6 - датчик, контролирующий температуру на поверхности МКЭ; 7 - датчик, контролирующий поток зерна; 8 - датчик, контролирующий уровень зерна в ЭАПЗ; 9 - датчик, измеряющий температуру подогреваемого зерна сверху; 10 - датчик, измеряющий температуру подогреваемого зерна внизу; 11 - привод дозатора - распределителя; 12 - дозатор - распределитель; 13 - датчик, контролирующий работу дозатора-распределителя; 14 - шнек; 15 - датчик, контролирующий уровень зерна в шнеке; 16 - привод шнека; 17 - нория.

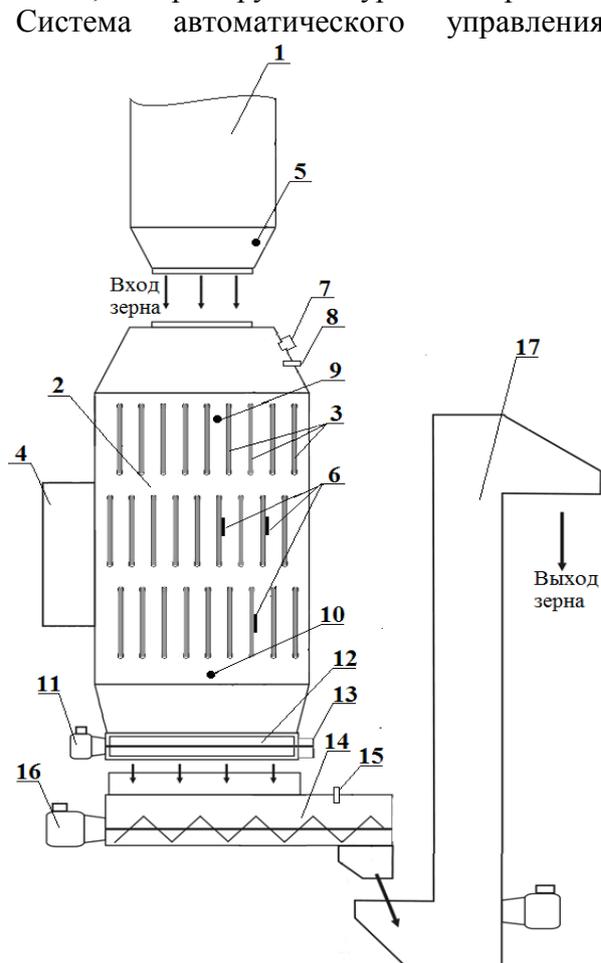


Рисунок 1 - Схема технологического процесса подогрева зерна

и осуществляется контроль за потоком зерна датчиком 7. Когда подача разрешена, а зерно на ЭАПЗ 2 не поступает, то датчик 7 включает световую сигнализацию, оповещающую об

Предварительно измеряются температура зерна в бункере - накопителе 1 датчиком 5 температура зерна на выходе из аппарата ЭАПЗ датчиком 10. Системой управления вычисляется разность температур между показаниями датчиков 5 и 10 и включается по заданной программе нагрев электрообогревателей МКЭ 3, температура на поверхности которых контролируется датчиками 6. Температура на поверхности электрообогревателя МКЭ 3 не должна превышать +45 °С, что регламентируется биологическими нормами максимального подогрева зерна без нарушения его свойств. При превышении температуры +45 °С на поверхности электрообогревателей МКЭ 3 датчик 6 отключает нагрев, при понижении температуры - датчик 6 нагрев возобновляет. Системой управления предусмотрен отсчет времени нагрева электрообогревателей МКЭ 3 в зависимости от времени года, что обеспечивает энергоэффективный режим работы в зависимости от температуры окружающей среды. По окончании времени нагрева зерно подается в аппарат ЭАПЗ 2 из бункера -накопителя 1

отсутствии потока зерна, если подача зерна не возобновляется в течение времени выгрузки зерна полного бункера ЭАПЗ 2, то отключается нагрев электрообогревателей МКЭ 3 и процесс подогрева зерна повторяется. При достижении зерном датчика 8, контролирующего уровень зерна в ЭАПЗ, отключается подача зерна и срабатывает датчик 7. Контроль за подогревом зерна осуществляется датчиками 9, 10. Если температура зерна вверху аппарата станет, равной +15 °С, то датчик 9 отключает нагрев электрообогревателей МКЭ и включает сигнализацию, оповещающую о возможности перегрева, а так как электрообогреватели МКЭ обладают значительной инерционностью, то если температура зерна вверху аппарата уменьшится до + 10 °С, нагрев возобновится. При достижении температуры зерна +15 °С внизу аппарата, датчик 9 включает привод дозатора - распределителя 11. Если датчик 10 сработал на включение привода дозатора, а дозатор не включился, то датчик 13, контролирующий работу дозатора, отключает подогрев и подачу зерна, включает звуковую и световую сигнализации, оповещающие о технологическом нарушении. Если зерно опустится ниже уровня контроля датчиком 8, срабатывает датчик 7 и возобновляется подача зерна. Во время работы дозатора - распределителя зерно из ЭАПЗ подается в шнек 14, при накоплении зерна в шнеке 14 до уровня срабатывания датчика 15, включается двигатель привода шнека 16 и зерно начинает выгружаться в норию 17. При отключении привода дозатора - распределителя привод шнека еще продолжает работать определенное количество времени и затем отключается. При уменьшении температуры зерна ниже +15 °С внизу ЭАПЗ датчик 10 отключает привод дозатора - распределителя 12.

В результате проведенных исследований выполнено следующие:

1 Разработана схема технологического процесса подогрева зерна, позволяющая обеспечить замкнутый цикл управления.

2 Предложена система автоматического управления аппаратного подогрева зерна, которая обеспечивает непрерывность технологического процесса с учетом всех контролируемых параметров, а также его энергоэффективность за счет использования прямого нагрева и исключения вторичных энергоносителей.

Заключение

Разработанная система автоматического управления подогревом зерна дает возможность создания проектно-конструкторской документация для изготовления опытно-промышленного образца ЭАПЗ. Учитывая высокую эффективность установки, имеющей высокий КПД, низкие удельные энергозатраты, полную автоматизацию технологического процесса, аппарат ЭАПЗ целесообразно использовать на малых и средних предприятиях АПК, а также в фермерских хозяйствах.

Работа выполнена при финансовой поддержки Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (г. Москва) по гос. контракту №12012р/21984 от 27.06.2013

Список литературы

1 Халин, М.В. Разработка проекта и изготовление экспериментального образца аппарата подогрева зерна на основе многоэлектродных электрообогревателей отчет о НИОКР: / М.В. Халин, Т.М. Халина, Д.Г.Часовщиков, В.В. Шатохин // ООО «АгроТермия», 2014. – ГР № 01201372140, ГК №12012р /21984 ИКРБС: OW_e000JzQrpl5JHqY2cLbO0 Интернет-номер: 214070500001. - Барнаул, 2014. - 59 с.

2 Пат. 2277210 РФ МПК F26B3/34. Способ подогрева зернового материала / Халина Т.М., Халин М.В., Дорош А.Б., Пугачев Г.А. - №2005100162/06; заявл 11.01.2005; опубл. 27.05.2006, Бюл № 15.

3 Пат. 2322297 РФ, МПК В 02 В 1/00, F 26 В 11/14, Н 05 В 3/26. Система подогрева зернового материала / Халина Т.М., Злочевский В.Л., Плотников В.Г. – № 2006108741/13; заявл. 20.03.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11.

4 Пат. 2351861 РФ, МПК F 26 В 17/12, F 26 В 23/04. Устройство для подогрева зерна / М.Н. Строков, Е.И. Востриков, Т.М. Халина, М.В. Халин – № 2007115960/06; заявл. 26.04.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.

5 Халин, М.В. Энергоэффективная система автоматического регулирования процессом подогрева зерна / М.В. Халин, Е.И. Востриков, С.А. Гусейнова, Д.Г. Часовщиков // Ползуновский вестник, № 4.2 – Барнаул: АлтГТУ, 2014 с.

6 Пат. 2571882 РФ, МПК F 26 В 25/22, F 26 В 3/34. Способ автоматического управления подогревом зерна / М.В. Халин, В.В. Шатохин, Д.Г. Часовщиков – № 2014114816/06; заявл. 14.04.2014; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36.

Халин Михаил Васильевич - д-р техн. наук, профессор кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул); 656038, Барнаул, пр-т. Ленина, д. 46 ; (3852) 29-07-88, e-mail: temf@yandex.ru

Халина Татьяна Михайловна - д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул), 656038, Барнаул, пр-т. Ленина, д. 46, (3852) 29-07-88, e-mail: temf@yandex.ru

Часовщиков Дмитрий Георгиевич - аспирант кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (РФ, г. Барнаул), 656038, Барнаул, пр-т. Ленина, д. 46, (3852) 29-07-88, e-mail: dimanchdg@mail.ru

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM HEATING GRAINS

Khalin M.V., Khalina T.M., Chasovshikov D.G.

Russia, Barnaul, Polzunov Altai State Technical University (ASTU)

The energy-saving system of automatic facility grain heating is defined based on the multi-electrode composite electric heaters providing closed-cycle process, high performance and low specific energy consumption.

Keywords: energy-efficient heating system, multi-electrode composition electric heaters, heating apparatus grain, automatic control, temperature sensor

1 Halin, M.V. Razrabotka proekta i izgotovlenie ehksperimental'nogo obrazca apparata podogreva zerna na osnove mnogoehlektroodnyh ehlektroobogrevatelej otchet o NIOKR: / M.V. Halin, T.M. Halina, D.G. Chasovshchikov, V.V. SHatohin // ООО «АгроТермиа», 2014. – GR № 01201372140, GK №12012r /21984 IKRBS: OW_e000JzQrp15JHqY2cLbO0 Internet-nomer: 214070500001. - Barnaul, 2014. - 59 s.

2 Pat. 2277210 RF МПК F26V3/34. Sposob podogreva zernovogo materiala / Halina T.M., Halin M.V., Dorosh A.B., Pugachev G.A. - №2005100162/06; zayavl 11.01.2005; opubl. 27.05.2006, Byul № 15.

3 Pat. 2322297 RF, МПК V 02 V 1/00, F 26 V 11/14, N 05 V 3/26. Sistema podogreva zernovogo materiala / Halina T.M., Zlochevskij V.L., Plotnikov V.G. – № 2006108741/13; za-yavl. 20.03.2006; opubl. 20.04.2008, Byul. № 11.

4 Pat. 2351861 RF, МПК F 26 V 17/12, F 26 V 23/04. Ustrojstvo dlya podogreva zerna / M.N. Stokov, E.I. Vostrikov, T.M. Halina, M.V. Halin – № 2007115960/06; zayavl. 26.04.2007; opubl. 10.04.2009, Byul. № 10.

5 Halin, M.V. EHnergoehffektivnaya sistema avtomaticheskogo regulirovaniya proces-som podogreva zerna / M.V. Halin, E.I. Vostrikov, S.A. Gusejnova, D.G. CHasovshchikov // Polzunovskij vestnik, № 4.2 – Barnaul: AltGTU, 2014 s.

6 Pat. 2571882 RF, МПК F 26 V 25/22, F 26 V 3/34. Sposob avtomaticheskogo upravleniya podogrevom zerna / M.V. Halin, V.V. SHatohin, D.G. CHasovshchikov – № 2014114816/06; za-yavl. 14.04.2014; opubl. 27.12.2015, Byul. № 36.

Khalin M.V.:temf@yandex.ru, (913) 242-76-65

Khalina T.M.:temf@yandex.ru, (913) 227-26-76

Chasovshikov D.G.:dimanchdg@mail.ru, (902) 142-13-76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРЕСТЬЯНСКО-ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Чебодаев А.В., Бастрон А.В., Урсегов В.Н., Дебрин А.С., Смелова С.А.
Россия, г. Красноярск, Красноярский ГАУ

В статье представлены методика и результаты расчета параметров ФЭС для автономных сельскохозяйственных потребителей Красноярского края. Приведены результаты экспериментальных исследований ФЭС для автономных систем электроснабжения крестьянско-фермерских хозяйств.

Ключевые слова: крестьянско-фермерское хозяйство, автономные сельскохозяйственные потребители, фотоэлектрическая станция.

На территории Красноярского края существуют крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ) разных направлений деятельности, не подключенные к единой энергетической системе (ЕЭС). Часто земельные участки, выделяемые администрациями районов под создание КФХ, находятся на значительном удалении от возможных мест присоединения к энергосистеме. В связи с этим, перед фермерами встает проблема электроснабжения своего хозяйства: либо возводить дорогостоящую воздушную линию электропередачи для подключения к ЕЭС (эти затраты обычно ложатся на плечи потребителя электрической энергии), либо создать собственную автономную систему электроснабжения [1].

Цель работы – обосновать конструктивные параметры и экспериментально исследовать режимы работы солнечных фотоэлектрических станций для автономных систем электроснабжения КФХ разных направлений деятельности в климатических условиях Красноярского края.

Теория.

КФХ, встречающиеся на территории Красноярского края, довольно разнообразны как по роду деятельности, так и по своим размерам, соответственно они имеют значительные различия по энерговооруженности и количеству потребляемой электрической энергии [1, 2, 3]. Например, небольшой кочевой пасеке, работающей в основном в летний период, достаточно минимального количества электроприборов установленной мощностью в несколько сотен или даже десятков Ватт, при суточном электропотреблении до 1 кВт·ч [2]. Могут встречаться и довольно крупные хозяйства, занимающиеся молочным животноводством. Таким хозяйствам необходима минимальная мощность порядка 10 кВт при суточном энергопотреблении в 25 – 60 кВт·ч в течение всего года.

Для того, чтобы отступить от размеров КФХ и не рассматривать множество возможных вариантов, зададимся условной мощностью ФЭС равной 1 кВт, выполним расчет выработки электрической энергии для различных районов Красноярского края и оценим обеспеченность электрической энергией КФХ с различным суточным энергопотреблением равным 1,5; 3,0; 4,5 и 6,0 кВт·ч в течение года.

Расчет выработки электрической энергии ФЭС производился на основе данных многолетних наблюдений по продолжительности солнечного сияния [4, 5, 6], в разработанных электронных таблицах в «Microsoft Excel», позволяющих рассчитать количество произведенной электрической энергии по месяцам от интересующей ФЭС. Расчет выработки производится в зависимости от продолжительности солнечного сияния (таблица 1), и с учетом возможного количества дней без солнца (таблица 2), при которых АБ ФЭС должны обеспечивать питание нагрузки без подзарядок от ФЭМ [7].

Выработка электрической энергии от ФЭУ за расчетный период определяется по следующей методике [7].

Таблица 1 – Продолжительность солнечного сияния $E_{сол}$, ч, по метеорологическим станциям Красноярского края

№ ст.	Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
21	Кежма	49	114	192	231	258	300	310	227	140	88	61	29	1999
26	Енисенск	37	89	167	213	231	284	303	219	139	72	39	23	1816
28	Богучаны.	29	88	171	216	246	288	296	216	143	75	42	12	1822
32	Казачинское оп. Поле	46	91	144	195	207	266	274	208	131	69	43	29	1703
43	Ачинск, ж.-д. ст.	58	98	158	201	238	280	295	232	156	82	49	41	1888
46	Солянка	72	108	183	214	251	296	293	246	172	103	58	48	2044
52	Красноярск	58	90	162	202	224	278	270	217	154	96	49	33	1833
65	Минусинск, оп. Поле	57	90	148	165	198	232	251	224	161	102	52	36	1716
68	Нижне-Усинское	112	141	203	224	259	258	247	213	178	144	93	84	2156

Таблица 2 – Число дней без солнца по метеорологическим станциям Красноярского края

№ ст.	Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
21	Кежма	14	5	2	2	1	1	2	3	4	9	12	20	75
26	Енисейск	18	8	4	2	2	1	1	2	4	11	16	22	91
28	Богучаны	18	7	3	2	1	1	1	2	3	9	15	23	85
32	Казачинское оп. Поле	16	8	5	3	3	1	1	2	4	12	16	20	91
43	Ачинск, ж.-д. ст.	13	7	5	3	1	1	1	1	3	10	14	16	75
46	Солянка	11	7	3	2	1	1	1	2	3	7	11	15	64
52	Красноярск	14	8	4	2	2	1	1	2	3	8	13	17	75
65	Минусинск, оп. Поле	13	7	5	3	3	2	1	2	3	7	13	17	76
68	Нижне-Усинское	6	4	2	1	1	1	1	1	2	4	7	9	39

Количество произведенной электроэнергии одним модулем за сутки:

$$W_{\text{мод.сут.}} = K_p \cdot T_{\text{сол.сут.}} \cdot P_{\text{пик}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{мод.сут.}}$ – выработка электроэнергии одним модулем за сутки, Вт; K_p – коэффициент использования пиковой мощности фотоэлектрического модуля, для ФЭС присоединенной к энергосистеме, $K_p = 0,7 - 0,9$ о.е., для автономной ФЭС $K_p = 0,5-0,7$ о.е.; $T_{\text{сол.сут.}}$ – количество пиковых солнце часов, ч; $P_{\text{пик}}$ – пиковая мощность единичного модуля, Вт.

Количество пиковых солнце часов определяется по формуле:

$$T_{\text{сол.сут.}} = \frac{t_{\text{срj}}}{n_j} \cdot K_{\text{н.СС}} \quad (2)$$

где $t_{\text{срj}}$ – средняя продолжительность солнечного сияния в j-ом месяце, ч.; n_j – количество дней в j-ом месяце, шт.; $K_{\text{н.СС}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность солнечного сияния, о.е.

Количество произведенной за j-й месяц фотоэлектрической установкой электроэнергии, кВт·ч

$$W_j = W_{\text{мод.сут.}} \cdot n_j \cdot n_{\text{ФЭМ}}, \quad (3)$$

где W_j – выработка электроэнергии ФЭУ за j-й месяц, Вт; $W_{\text{мод.сут.}}$ – выработка электроэнергии одним модулем за сутки, Вт; n_j – количество дней в j-ом месяце, шт.; $n_{\text{ФЭМ}}$ – общее количество модулей, шт.

Результаты расчетов.

При расчете выработки электрической энергии ФЭМ принимались следующие значения коэффициентов. Коэффициент использования пиковой мощности ФЭС $K_p = 0,7$; номинальная пиковая мощность ФЭМ $P_{\text{пик}} = 100$ Вт; коэффициент, учитывающий неравномерность солнечного сияния $K_{\text{п.СС}} = 1$; общее количество фотоэлектрических модулей $n_{\text{ФЭМ}} = 10$ шт (включены параллельно).

Результаты расчётов выработки электрической энергии от одного ФЭМ и от ФЭС по месяцам в течении года, а также минимально необходимое энергопотребление КФХ на технологические процессы сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов выработки электрической энергии ФЭС в городе Красноярск Красноярского края

Месяц	Кол-во дней	Средняя продолжительность солнечного сияния,	Кол-во пиковых солнце часов		Кол-во произведенной электроэнергии одним модулем		Кол-во произведенной электроэнергии ФЭС за месяц
			$t_{\text{ср.д}}$, ч	$T_{\text{сол.сут}}$, ч	$T_{\text{сол.мес}}$, ч	$W_{\text{сут}}$, Вт·ч	
январь	31	58	1,87	58	130,97	4060	40,60
февраль	28	90	3,21	90	225,00	6300	63,00
март	31	162	5,23	162	365,81	11340	113,40
апрель	30	202	6,73	202	471,33	14140	141,40
май	31	224	7,23	224	505,81	15680	156,80
июнь	30	278	9,27	278	648,67	19460	194,60
июль	31	270	8,71	270	609,68	18900	189,00
август	31	217	7,00	217	490,00	15190	151,90
сентябрь	30	154	5,13	154	359,33	10780	107,80
октябрь	31	96	3,10	96	216,77	6720	67,20
ноябрь	30	49	1,63	49	114,33	3430	34,30
декабрь	31	33	1,06	33	74,52	2310	23,10
год	365	1833	5,02	1833		128310	1283,1

Анализируя расчетные характеристики выработки ЭЭ от ФЭС в условиях города Красноярск (рисунок 1), можно сделать следующие выводы:

– выработка ЭЭ в течение года неравномерная и изменяется в широком диапазоне от 23,1 кВт·ч в декабре до 194,6 кВт·ч в июне, что от минимального до максимального значения отличается в 8,39 раза;

– с февраля по октябрь можно гарантированно обеспечить КФХ электрической энергией с уровнем электропотребления до 1,5 кВт·ч в сутки;

– с марта по сентябрь потребление может быть увеличено в 2 раза и составлять не менее 3 кВт·ч в сутки;

– с апреля по август можно уверенно снабжать электрической энергией КФС с уровнем энергопотребления 4,5 кВт·ч в сутки.

– в июне и июле возможно максимальное энергопотребление в 6 кВт·ч в сутки.

Анализируя расчетные характеристики выработки ЭЭ от ФЭС в условиях села Нижне-Усинское Ермаковского района Красноярского края (рисунок 2), можно сделать следующие выводы:

– выработка ЭЭ в течение года неравномерная и изменяется в меньшем диапазоне от 58,8 кВт·ч в декабре до 181,3 кВт·ч в мае, что от минимального до максимального значения отличается в 3,08 раза;

– ФЭС мощностью 1 кВт способна обеспечить КФХ электрической энергией с уровнем электропотребления до 1,5 кВт·ч в сутки в течение всего года;

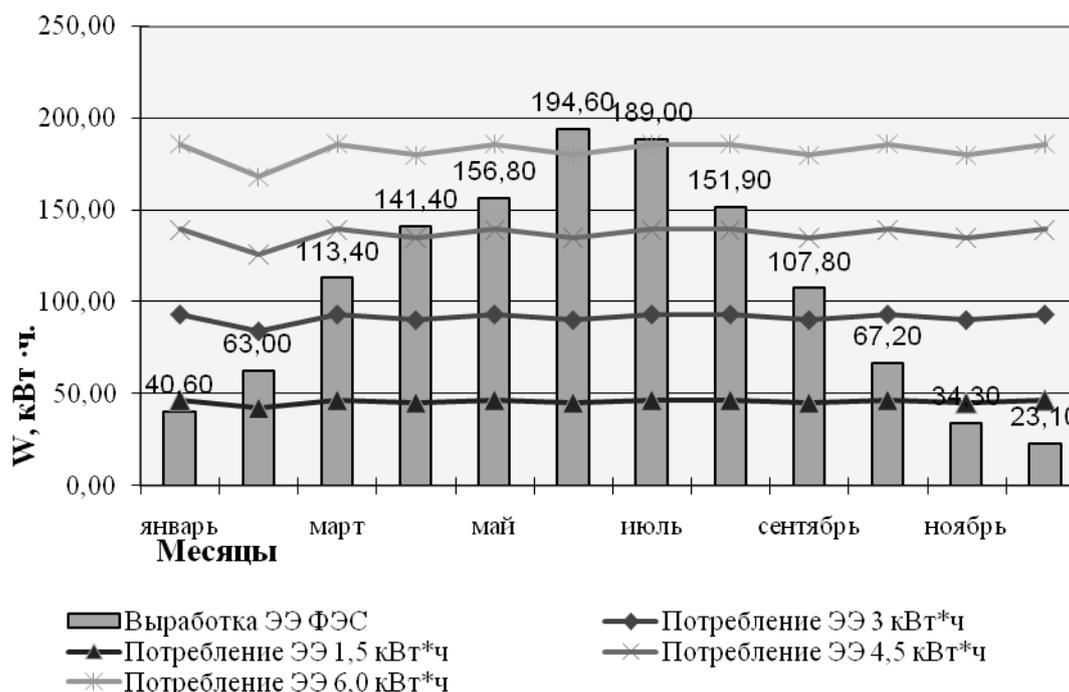


Рисунок 1 – Выработка и потребление электрической энергии ФЭС мощностью 1 кВт в условиях города Красноярск (станция 52) в течение года

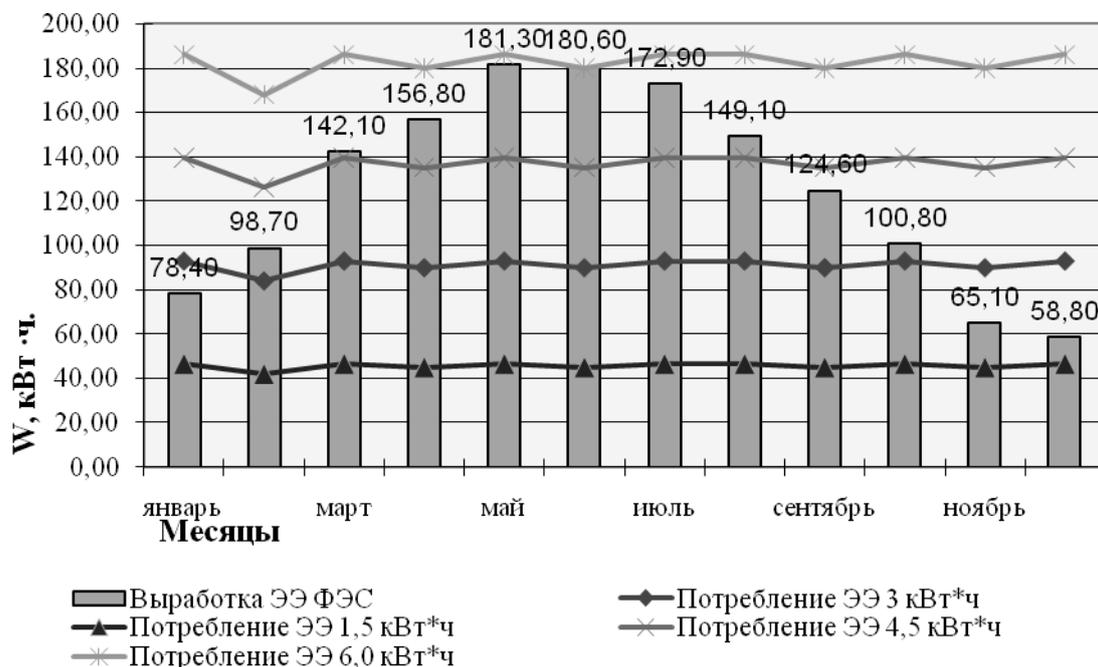


Рисунок 2 – Выработка и потребление электрической энергии ФЭС мощностью 1 кВт в условиях села Нижне-Усинское (Станция 68) в течение года

– с февраля по октябрь данная ФЭС способна обеспечить КФХ электрической энергией с уровнем электропотребления до 3 кВт·ч в сутки;

– с марта по август можно уверенно снабжать электрической энергией КФС с уровнем энергопотребления 4,5 кВт·ч в сутки.

– в июне и июле возможно максимальное энергопотребление около 6 кВт·ч в сутки.

Методика проведения эксперимента

Для проведения эксперимента использовались два фотоэлектрических модуля (ФЭМ) типа TSM-30 ($P=30$ Вт) и TSM-40 ($P=40$ Вт); контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи типа PWM- 10 (10 А, 12 В); AGM аккумулятор DeKaSEAMATE&RV (ёмкостью 79 А·ч); автомобильный инвертор ($P = 300$ Вт); измерения текущих значений напряжения, тока, мощности и электрической энергии производилось с помощью мультиметров типа «GT Power 150A»; измерения поступления солнечной радиации производились пиранометром KIMO SL 100 (рисунок 3). В качестве нагрузки выступал ноутбук ($P_{cp} = 30$ Вт), две светодиодные лампы ($P_{л} = 5$ Вт).

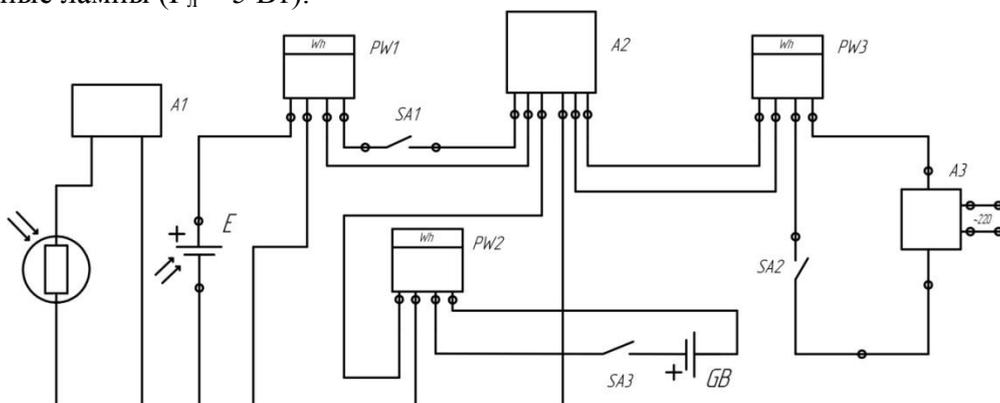


Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментальной ФЭС

A1 – пиранометр; A2 – контроллер заряда аккумулятора; A3 - инвертор; E – солнечный модуль; GB – аккумулятор; PW1, PW2, PW3 – мультиметр; SA1, SA2 - выключатель

При проведении эксперимента ФЭМ ориентировались строго на юг, под углом 90° к солнцу в 13:00. Испытания проводились в марте месяце. Уровень заряда аккумулятора поддерживался в диапазоне 60 – 80%. Для сравнения вариантов выработка ЭЭ 70 Вт ФЭС пересчитывалась пропорционально на 1 кВт ФЭС.

Проведенные испытания ФЭС в условиях города Красноярск подтвердили результаты расчетов (рисунок 4). На рисунке представлены типичные кривые выработки ЭЭ для марта месяца соответствующие пасмурным дням, дням с переменной облачностью и ясным дням. При этом суточная выработка ЭЭ составила от 1,35 кВт·ч (пасмурный день) до 4,74 кВт·ч (ясный день), что соответствует расчетам.

Выводы.

1. Для работы энергообеспечения пасеки, занимающейся сбором пчелиного яда, расположенной на широте города Красноярск, при суточном энергопотреблении в 0,45 кВт·ч достаточно ФЭС состоящей из одного ФЭМ мощностью 100 Вт, при этом запасенной в аккумуляторной батарее энергии будет достаточно для работы апитоксин-коллектора в течение от 4,5 до 15 часов, в зависимости от выбранной мощности работы апитоксин-коллектора [6].

2. Для электроснабжения страусиной фермы [1] с минимальным суточным энергопотреблением 10,8 кВт·ч в течение всего года необходимо порядка 80 ФЭМ мощностью 100 Вт. Для обеспечения надежного электроснабжения в зимний период необходимо предусмотреть резервный источник питания, например бензиновую электростанцию мощностью 3 – 5 кВт.

3. Капиталовложения в ФЭС будут сильно различаться в зависимости от уровня энергообеспеченности и сезонности использования данной ФЭС, соответственно себестоимость произведенной электрической энергии также будет сильно различаться. Наибольший экономический эффект будет наблюдаться с весны до осени, в виду большей выработки энергии.

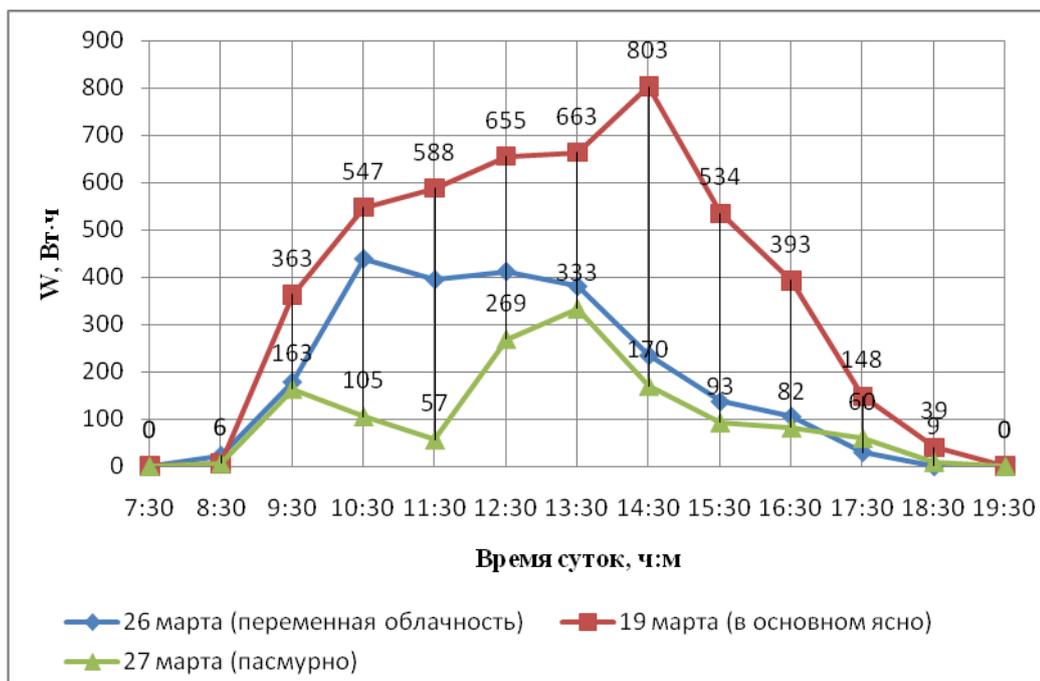


Рисунок 4 – Часовая выработка ЭЭ ФЭС в течение суток приведенная к мощности ФЭС равной 1 кВт

Список литературы

1. Дубов В.А., Чебодаев А.В. Оценка эффективности использования ФЭС для автономного электроснабжения крестьянско-фермерского хозяйства // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», 2015, № 68. - С. 89 - 94.
2. Урсегов В.Н., Бастрон А.В., Андриюхов С.К. Разработка и испытание автономного устройства для добычи яда пчел // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», 2014, № 65. - С. 96-101.
3. Бастрон А.В., Гайдаш Г.В. Эффективное использование солнечной энергии в системах тепло- и электроснабжения сельских усадебных домов и ЛПХ // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», 2015, № 67. - С. 92-100.
4. Попель О.С., Фрид С.Е. и др. Распределение ресурсов энергии солнечного излучения по территории России // Энергия: экономика, техника, экология.-2007.-№7.-С.15.
5. Швер, Ц.А. Климат Красноярска [Текст] / Ц.А. Швер ; под. общ. ред. А.С. Герасимовой – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 231 с.
6. NASA Surface meteorology and Solar Energy-Location. ATMOSPHERIC SCIENCE: [Электронный ресурс]: Матер. сайта URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (Дата обращения: 02.03.2016 г.).
7. Ваш солнечный дом: [Электронный ресурс]: Матер.сайта URL: <http://www.solarhome.ru> (Дата обращения 16.03.2016 г.).

Чебодаев Александр Валериевич – канд. техн. наук., доцент, кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира 90; E-mail: ale-chebodaev@yandex.ru, моб.тел. (902) 918-31-82

Бастрон Андрей Владимирович – канд. техн. наук., доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира 90; E-mail: abastron@yandex.ru, моб. тел. (904) 898-83-89

Урсегов Василий Николаевич – ассистент кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» 660049, Россия, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Мира, 90, E-mail: ursegof@mail.ru, моб тел. (923) 338-89-63

Дебрин Андрей Сергеевич – магистрант 1-го курса ИЭ и УЭР АПК ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира 90; E-mail: debrin.as@yandex.ru, моб.тел. (923) 300-96-09

Смелова Снежанна Александровна – студентка 4-го курса института энергетики и управления энергетическими ресурсами (ИЭ и УЭР АПК) ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира 90; E-mail: smelova94@yandex.ru, моб. тел. (965) 911-52-10

THE USE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER SUPPLY SYSTEMS FOR AUTONOMOUS STATIONS PEASANT FARMS

Tchebodaev A.V., Bastron A.V., Ursegov V.N., Debrin A.S., Smelova S.A.
Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University

The article presents the methods and results of photovoltaic power systems parameters calculation for autonomous agricultural consumers of Krasnoyarsk region. There are results of experimental research of photovoltaic power systems for autonomous systems of electric power supply peasant farms in article.

Keywords: peasant-farming, autonomous agricultural consumers, photovoltaic station.

Bibliography

1. Dubov V.A., Chebodaev A.V. Ocenka effektivnosti ispol'zovaniya FJeS dlja avtonomnogo elektrosnabzhenija krestyansko-fermerskogo hozjajstva // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IrGSHA», 2015, № 68. - S. 89 - 94.
2. Ursegov V.N., Bastron A.V., Andriuhov S.K. Razrabotka i ispytanie avtonomnogo ustrojstva dlya dobychi yada pchel // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IrGSHA», 2014, № 65. - S. 96-101.
3. Bastron A.V., Gajdash G.V. Effektivnoe ispol'zovanie solnechnoj jenerгии v sistemah teplo- i elektrosnabzheniya selskih usadebnyh domov i LPH // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IrGSHA», 2015, № 67. - S. 92-100.
4. Popel' O.S., Frid S.E. i dr. Raspredelenie resursov energii solnechnogo izlucheniya po territorii Rossii // Jenerгija: jekonomika, tehnika, jekologija.-2007.-№7.-S.15.
5. Shver, C.A. Klimat Krasnojarska [Tekst] / C.A. Shver ; pod. obshh. red. A.S. Gerasimovoj – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 231 s.
6. NASA Surface meteorology and Solar Energy-Location. ATMOSPHERIC SCIENCE: [Elektronnyj resurs]: Mater. sajta URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (Data obrashhenija: 02.03.2016 g.).
7. Vash solnechnyj dom: [Elektronnyj resurs]: Mater. sajta URL: <http://www.solarhome.ru> (Data obrashhenija 16.03.2016 g.).

A. Chebodaev – Ph. D. (Engineering), docent, e-mail: ale-chebodaev@yandex.ru, Krasnoyarsk state agrarian university, 660049, st. Mira, 90, Krasnoyarsk, Russia. tel. +7 (902) 918-31-82

A. Bastron – Ph. D. (Engineering), docent, e-mail: abastron@yandex.ru, Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia. tel. +7 (904) 898-83-89

V. Ursegov – assistant, e-mail: ursegof@mail.ru, Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia. tel. +7 (923) 338-89-63

A. Debrin – student, e-mail: debrin.as@yandex.ru, Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia. tel. +7 (923) 300-96-09

S. Smelova – student, e-mail: smelova94@yandex.ru, Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia. tel.+7(965) 911-52-10

СЕКЦИЯ № 5. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Руководитель:

Садко Виктор Георгиевич - доктор экономических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ, Лауреат премии Президента РФ в области образования, заведующий кафедры «Государственное управление и финансы» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл.

УДК 620.9:658

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Мезенцева А.В.

*Россия, г. Пятигорск, Институт сервиса и технологий (филиал)
Донского государственного технического университета*

Рассмотрены вопросы энергосбережения на промышленных предприятиях, условия обеспечения энергосбережения и повышения их энергетической эффективности; отмечены основные направления реализации программы энергосбережения предприятия, уменьшения энергозатрат в ходе оптимального управления мероприятиями по энергосбережению и повышению энергоэффективности работы предприятия в целом.

Ключевые слова: энергосбережение, управление энергопотреблением, программа энергосбережения, энергосберегающие мероприятия, энергоэффективность.

На сегодняшний день энергосбережение и энергоэффективность входят в первую пятерку стратегических направлений приоритетного развития технологий в нашей стране. Промышленные предприятия представляют собой огромную энергоёмкую сферу, в которой в результате физического и морального старения оборудования происходит непрерывное и постоянное увеличение количества потребляемой энергии. Издержки промышленных предприятий составляют 9-12%, и цифры эти непрерывно растут. Для того чтобы производство развивалось, необходимо устранить рост издержек предприятий, который в свою очередь сопровождается значительными финансовыми потерями и провести комплекс мер по энергосбережению [1].

Системы электроснабжения промышленных предприятий, спроектированные на номинальный режим, работают, как правило, с недогрузкой. Это вызывает снижение коэффициента мощности в системе электроснабжения, увеличение доли потерь в трансформаторах, электрических машинах и аппаратах. В таких условиях возрастает роль энергетических обследований систем электроснабжения с целью определения мест нерационального и расточительного использования электроэнергии и разработке мероприятий по её экономии.

Экономия электроэнергии промышленных предприятий представляет собой комплекс мер, направленных на сокращение расхода энергии от внешних источников, который подразумевает, в первую очередь, использование энергетических систем, которые заведомо экономичнее других - например: энергосберегающее оборудование. Однако, энергосбережение промышленных предприятий не может рассматриваться как проведение чисто «электротехнических» мероприятий по экономии электроэнергии, их не так уж и много – это снижение потерь в электросетях предприятия, в трансформаторах, в электрооборудовании и осветительных приборах, использование более энергоэффективного электрооборудования, оптимизация его загрузки, замена недогруженного электрооборудования. Это также снижение потерь путем регулировки напряжения питания, повышения коэффициента мощности. Для рационального использования энергоресурсов должна быть составлена индивидуальная программа

энергосбережения предприятия на основе мониторинга и обследования предприятия, включающая в себя не только внедрение нового оборудования, передовой технологии, совершенствование и модернизацию существующего оборудования, широкое использование всех местных и вторичных ресурсов, но и правильно организованное управление энергопотреблением в соответствии с рис. 1 [2].



Рисунок 1 - Управление энергопотреблением предприятия

При реализации программы на начальном этапе энергосбережения на предприятии можно выделить следующие основные мероприятия:

- проведение сравнительного анализа использования энергии с аналогичными предприятиями;
- выявление наиболее и наименее эффективных сфер деятельности предприятия;
- определение доли энергозатрат в процентном соотношении от себестоимости готовой продукции;
- предложение конкретных действий по улучшению энергосбережения на предприятии.

На основании данных о текущей ситуации составляется план мероприятий, с расчетом экономической составляющей проекта и сроками окупаемости необходимых финансовых вложений. При этом все мероприятия по энергосбережению можно условно разделить на две основные группы [3]:

1. Обязательные мероприятия, проведение которых обусловлено необходимостью выполнения требованиями тех или иных нормативных актов.

2. Мероприятия, проведение которых не обязательно, но может быть экономически выгодно. Перед проведением таких мероприятий делается технико-экономическое обоснование.

На следующем этапе самыми распространенными методами повышения энергосбережения в рамках программы энергосбережения предприятия считаются использование более совершенного оборудования и техники, а также внедрение новых, более эффективных с точки зрения энергосбережения, технологий производства. При этом важно, чтобы энергосбережение не рассматривалась только как экономия энергетических ресурсов, проводимая зачастую за счет сокращения объема производства, а как фактор экономического роста и наращивания производства при уменьшении или сохранении текущего уровня энергозатрат.

Принятие и реализация программы энергосбережения предприятия дает возможность изменить сложившуюся ситуацию в лучшую сторону. Основопологающей задачей программы энергосбережения предприятия считается задача по снижению издержек и повышению результативности работы предприятия в целом. На предприятии, где хорошо отлажена энергосистема, отделить энергосбережение от экономической эффективности практически невозможно, поскольку обе эти составляющие тесно переплетены и находятся в зависимости друг от друга. При управлении реализацией программы энергосбережения необходимо использовать принципы, на которых будет построена программа

энергосбережения и которые, при этом, должны соответствовать повышению эффективности функционирования всего промышленного предприятия [4].

Если на предприятии имеют место утечки и нерациональные способы потребления энергии, а в результате проведения мероприятий выявлены недочеты в повышении их рационального использования, то это в конечном итоге приведет к ухудшению показателей рентабельности, а возможно, и к сбою производственного процесса. Т.е. в ходе реализации энергосбережения на предприятии на заключительном этапе необходимо анализировать данный процесс и давать оценку принятым и реализованным решениям для дальнейшего устранения неэффективных или малоэффективных по результатам проделанных работ, связанных с энергосбережением. В целом для предотвращения финансовых потерь при формировании совокупности энергосберегающих мероприятий требуется разработка и совершенствование методов оценки эффективности программ энергосбережения, предназначенных для их реализации, а уменьшение энергетической составляющей в издержках производства позволит получить дополнительные средства для обеспечения приемлемого уровня состояния технологического оборудования в соответствии с достижениями научно-технического прогресса [5].

Немаловажно также в программе энергосбережения предприятия уделить внимание и социально-бытовому сектору, то есть создать такие условия, чтобы процесс энергосбережения был непрерывным. Т.е. программа энергосбережения предприятия должна включать в себя помимо основных еще и меры элементарных правил энергоэкономии [6], не требующие особого труда и затрат, но дающие свои результаты в очень короткие сроки. И если каждое предприятие примет подобную стратегию энергосбережения для своей деятельности, в конечном результате сможет получить очень высокие показатели экономии.

По статистике проведения энергосберегающих мероприятий, программа энергосбережения предприятия состоящая из набора обязательных и рекомендуемых мероприятий окупается в течение 2-3 лет, что является для предприятий достаточно привлекательным стимулом развития энергосбережения.

Таким образом, энергосбережение должно быть одним из приоритетных направлений экономической политики любого промышленного предприятия. При этом пристального внимания заслуживает общая оценка эффективности энергосбережения и ее составляющих, которую необходимо учитывать при последующей разработке целевых программ энергосбережения и сценариев их реализации.

Список литературы

1. Энергосбережение [Электронный ресурс]. – URL: <http://verdit.ru/finansing/4131-this-article-will-reveal-a-bit-on-energy-savingq.html> (дата обращения: 09.06.16)
2. Кондратьев В.В. Организация энергосбережения (энергоменеджмент) [Текст] / В.В. Кондратьев. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 108с.
3. Как повысить энергоэффективность предприятия [Электронный ресурс]. – URL: <http://enmart.com/energoberezhenie-na-predpriyatii-energoeffektivnost/> (дата обращения: 07.06.16)
4. Фаустова И.Л. Управление реализацией программы энергосбережения на промышленных предприятиях [Текст] // Актуальные вопросы экономических наук. – 2010. – № 11-3. – С. 229-233.
5. Сапрыкин А.А. Энергосбережение на предприятии [Текст] // Новый университет. – 2011. – №3(3), – С. 43-45.
6. Энергосбережение на предприятии [Электронный ресурс]. – URL: <http://tokzamer.ru/informaciya/energoberezhenie-na-predpriyatii> (дата обращения: 10.06.16)

Мезенцева Антонина Викторовна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис» Института сервиса и технологий (филиал) Донского государственного технического университета в г. Пятигорске; e-mail: mezentseva_a@bk.ru, тел.: 8-918-7677097.

The questions of energy saving in industrial enterprises, the terms of the security of energy saving and improving energy efficiency. The main directions of realization of energy saving programs of enterprises. Provides General guidelines reduction of energy consumption through optimal control of energy conservation measures and improve the energy efficiency of the whole enterprise.

Key words: energy saving, energy management, energy efficiency program, energy efficiency measures, energy efficiency.

Bibliography

1. <http://verdit.ru/finansing/4131-this-article-will-reveal-a-bit-on-qenergy-savingq.html> (June 09, 2016).
2. Kondrat'ev V.V. *Organizatsiya energosberezheniya (energomenedzhment)* (Organization of energy saving (power management)), Moskva: NITs INFRA-M, 2016, 108 p.
3. <http://en-mart.com/energoberezhenie-na-predpriyatii-energoeffektivnost> (June 07, 2016)
4. Faustova I.L., *Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk*, 2010, No 11-3, pp. 229-233.
5. Saprykin A.A., *Novyi universitet*, 2011, №3(3), pp. 43-45.
6. <http://tokzamer.ru/informaciya/energoberezhenie-na-predpriyatii> (June 10, 2016).

Mezentseva Antonina Viktorovna, candidate of technical Sciences, associate Professor of Service Institute of service and technology (branch) Don state technical University in Pyatigorsk; e-mail: mezentseva_a@bk.ru ,tel.: 8-918-7677097.

УДК621.315+338

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ЦЕН НА УГЛЕВОДОРОДЫ

Степанова Е.Ю.

Россия, г. Орёл, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Дан анализ развития возобновляемых источников энергии в мире при низких ценах на углеводороды, выполнения государственных программ в России. Отмечена роль государства в развитии возобновляемых источников энергии и перспективы ее становления в России и мире.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергосбережение, выставки, конкурентоспособность, перспективы развития.

Потребление энергии в мире непрерывно увеличивается. Это связано с ростом численности населения, индустриализацией экономик, автоматизацией и роботизацией производств, ростом автомобилизации многих стран и энерговооруженности сельского хозяйства, повышением жизненного уровня людей, расширением мировой информационно-коммуникационной инфраструктуры, которая уже сейчас «съедает» 10% вырабатываемой электрической энергии.

Результатом этих процессов является перманентный рост затрат на производство энергии, истощение запасов ископаемого топлива, возникновение дефицита электрической мощности, а также вредное влияние на окружающую среду, в том числе и глобальное потепление.

Поэтому с целью повышения конкурентоспособности национальных экономик и социальной сферы правительства многих развитых стран ищут пути энергосбережения, энергоэффективности, новые нетрадиционные источники возобновляемой энергетики: био, солнечной, ветровой, водородной, геотермальной, волн, течений, приливов и др. [1-6]

Вопросы использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) привлекают внимание ученых и специалистов, экономистов и руководителей государств и правительств многих стран уже на протяжении многих десятков лет и даже веков.

В настоящее время внимание к этой проблеме не устаревает. Об этом косвенно

указывает большое количество международных выставок и конференций по нетрадиционным источникам и солнечной энергетике [7]. Так только в 2016 году их запланировано более 50 в разных странах, в том числе и России (таблица 1).

Таблица 1 – Солнечная энергетика: международные выставки - 2016

Название форума	Страна проведения	Дата проведения
Bouwbeurs 2016	Утрехт, Нидерланды	07-12.02.2016
Expo Solar PV Korea 2016	Сеул, Южная Корея	16-18.02.2016
Bautec 2016; Renexpo 2016	Берлин, Аугсбург, Германия	18-21.02; 27-30.09
Egýtica-ExpoEnergetica 2016;	Валенсия, Испания	28-02.03.2016
Solarcon China 2016	Шанхай, Китай	19-21.03.2016
SNEC PV Power Expo 2016	Шанхай, Китай	14-16.05.2016
Intersolar North America 2016	С.-Франциско, США	10-12.07.2016
SOLARCON India 2016	Бангалор, Индия	03-05.09.2016
Solar Power International 2016	Орландо, США	10-13.09.2016
Elenex 2016	Хошимин, Вьетнам	15-17.09.2016
Solar Power Expo 2016	Сарагоса, Испания	21-23.09.2016
Энергетика. Энергосбережение 2016	Пермь, Россия	21-24.09.2016
European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhib. 2016	Франкфурт-на-Майне, Герм.	25-28.09.2016
ENERGOexpo 2016	Дебрецен, Венгрия	27-29.09.2016
Energy VE Expo 2016	Ханой, Вьетнам	28-29.09.2016
Northern European Renewable Energy Convention 2016	Осло, Норвегия	28-29.09.2016
Can WEA 2016	Ванкувер, Канада	03-06.10.2016
European Future Energy Forum 2016	Женева, Швейцария	10-12.10.2016
TOG 2016	Триполи, Ливия	12-14.10.2016
Can WEA 2016	Торонто, Канада	14-17.10.2016
Инфраструктура энергосбережения Юга России / EPIS 2016	Краснодар, Россия	20-22.10.2016
Power-Gen Middle East 2016	Доха, Катар	24-26.10.2016
Russia Power 2016	Москва, Россия	25- 7.10.2016
Российский энергетический форум	Уфа, Россия	27-30.10.2016
Can WEA 2016	Монреаль, Канада	01-03.11.2016
EMART Energy 2016	Амстердам, Нидерланды	03-04.11.2016
Intersolar India 2016	Бомбей, Индия	06-08.11.2016
Renewable Energy India Expo (Solar Tech India) 2016	Нью-Дели, Индия	07-09.11.2016
Ecomondo 2016, Key Energy 2016; EnerSolar 2016	Римини(2), Милан Италия	8-11.11; 16-19.11
Renexpo® Austria 2016	Зальцбург, Австрия	24-25.11.2016
Pollutec 2016	Лион, Франция	29-02.12.2016
ELECTRICX 2016	Каир, Египет	01-04.12.2016
Power-Gen 2016	Лас-Вегас, США	08-10.12.2016

Фактически каждый месяц проводятся от 1 до 10 конференций, посвященных ВИЭ, нетрадиционным источникам энергии и гелиоэнергетике. Это говорит о большом внимании к поиску новых источников энергии как в развитых, так и развивающихся странах, расположенных в разных полушариях. Появляются новые материалы, накопители, системы управления, преобразователи, технологические модули с новым уровнем свойств.

Ежегодно в мировом масштабе в развитие ВИЭ вкладывается свыше \$250 млрд. [8].

Главным стимулом развития нетрадиционных энерготехнологий является желание стран-импортеров нефти избавиться или существенно уменьшить зависимость своих экономик от поставок углеводородов из России и Ближнего востока, а также уменьшить влияния большой энергетике на глобальное потепление и риски экологических проблем.

Падение цен на нефть ниже \$40-50 за баррель уменьшило конкурентоспособность многих альтернативных источников энергии и добавило уверенности скептикам ВИЭ.

На Петербургском экономическом форуме-2016 вице-премьер А. Дворкович сказал, что ВИЭ пока «бесконечно дороги» и мы просто ждем, когда технологии станут более дешевыми». Такое однозначное заявление вызвало у специалистов удивление. Вспомним

отношение в СССР к кибернетике. За прошедшие шестьдесят с лишним лет отставание в этой области не преодолено. То же самое можно сказать и о нано- и аддитивных технологиях, которые сейчас обходятся недешево. Можно, конечно, подождать, когда они подешевеют...

На наш взгляд, речь должна идти не о смене парадигмы использования ископаемого топлива, а о необходимости быть на острие новейших технологий. Когда все решения будут получены и запатентованы, придется платить за готовую продукцию, импортировать ее или покупать лицензии на использование зарубежных патентов.

На самом деле использование ископаемого топлива не обходится без субсидий. По оценкам Международного энергетического агентства, они составили в 2014 году в глобальном масштабе \$494 млрд, что в 4 раза превышает объем субсидий на ВИЭ. Нобелевский лауреат Ж.И. Алферов считает, что если бы на исследования и разработки ВИЭ было потрачено хотя бы 15% от тех средств, что были вложены в атомную энергетику, то сейчас бы нам АЭС были бы не нужны. Не так однозначна и газовая генерация электроэнергии. Так, по словам В. Сидоровича, директора Института энергоэффективных технологий в строительстве, газовая генерация России не отличается высокой эффективностью, что связано с отказом в свое время от собственного производства турбин большой мощности, зависимости от иностранных производителей, комплектующих, сервиса, оплачиваемых в валюте [9].

В Китае, например, газовая генерация на 25% дороже ветровой и 45% дороже угольной. Газовую генерацию используют как резервные мощности.

По экспертным оценкам мощности мировой гелиоэнергетики растут в текущем веке порядка 50% в год. Лидируют здесь КНР, США, Япония и Германия. Отношение к ВИЭ в этих странах совсем иное.

Доля альтернативной энергетики в Канаде, Мексике и США в настоящее время составляет 37%, а к 2025 году достигнет 50%. В Европейском союзе два последних года прирост энерго мощностей происходит только за счет ВИЭ, а в США 70% прироста генерации энергии в 2015 году обеспечено за счет ВИЭ. Норвегия, имеющая свои запасы нефти и газа, планирует полностью отказаться от бензиновых автомобилей. В Чили солнечные фермы производят электроэнергии больше, чем потребляется. Их мощность за 2,5 года увеличилась в 4 раза. Благодаря этому чилийцы уже второй год не платят за электричество. В Германии в мае 2016 года доля генерации ВИЭ составила 87%. В прессе сообщается, вся Португалия 4 дня жила за счет ВИЭ [10].

В известной директиве ООН по возобновляемым источникам энергии говорится, что члены ООН должны получать, по меньшей мере, 31% электроэнергии из ВИЭ.

В 2020 году мощность мировой гелиоэнергетики увеличится в 2,6 раза, достигнет 600 ГВт с сегодняшних 230 ГВт. Индия планирует ввести в строй 100 ГВт солнечных мощностей до 2022 года. Всемирный банк для этого планирует выделить ей \$1 млрд.

Конечно, самым главным препятствием для развития ВИЭ и солнечной энергетики в частности является ее высокая стоимость. Но стремительное развитие научных исследований и разработок и промышленных технологий на их основе обрушивают их стоимость на глазах (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение способов генерации энергии по стоимости [9]

Способ генерации электрической энергии	Приведенная стоимость
Ветроэнергетика (без учета субсидий)	\$32-77/МВт·ч
Большая солнечная энергетика	\$32-70/МВт·ч
Паровая генерация	\$52-78/МВт·ч
Газотурбинные электростанции	\$68-101/МВт·ч

Средняя цена долгосрочных контрактов на приобретение электроэнергии, производимой ветрогенераторами, ныне снизилась с \$70 до \$23,5/МВт·ч (1,5 руб/кВт·ч). За

последние 16 месяцев цена солнечной генерации уменьшилась на 50%. Итоги тендеров 2015 года на поставки солнечной энергии: США – \$58,4; Перу (2016 г.) – \$48, Мексика – \$36, ОАЭ \$29,9 за 1 МВт·ч.

С 1970 года стоимость солнечных батарей уменьшилась более чем в 100 раз. Если сейчас средний КПД солнечных батарей из поликристаллического кремния составляет 13-16 %, а из монокристаллического кремния - 14-17%, то экспериментальные образцы достигают КПД до 44,7%. Конечно стоимость их растет с ростом КПД. Но можно представить, как важны эти показатели для космических аппаратов и МКС, беспилотников с гибридными источниками энергии и т.д. С ростом масштабов их производства и использования в мировой практике цены будут снижаться до соизмеримых величин традиционных источников энергии.

В России по закону №261-ФЗ к 2020 году доля использования альтернативных источников должна составлять не менее 4,5 %, а в 2015 году – 2,5 %, в 2010 году – 1 %. На сегодняшний день общая стоимость 124 крупных энергообъектов вырабатывают 2,3 ГВт, т.е. всего около 1% от всей вырабатываемой в стране энергии. Таким образом цели 2009 года не были достигнуты. К 2024 году должно по планам появиться 8-10 ГВт ВИЭ. В Крыму сегодня ВИЭ дает 297 МВт, к концу 2017 г. – 407 МВт.

Тормозом развития являются те же причины, что мы отмечали ранее [11]: все еще «нефтяная» экономика, нефтегазовое лобби, практическое отсутствие понимания и нормативно-правовой базы развития ВИЭ, низкий уровень финансирования НИОКР.

Выводы

1. В России исследования и использование ВИЭ находятся на начальном этапе развития.

2. Вложения в НИОКР ВИЭ – это вложения в конкурентоспособные технологии будущего, так как они связаны с созданием новых материалов, способов накопления, использования в распределенной и автономной энергетике, созданием гибридных установок: ВИЭ-традиционные источники, очисткой, применением нанотехнологий, в том числе графена, которые могут дать уникальные результаты.

3. Требуется доработка нормативной базы в области ВИЭ.

4. Особое внимание и поддержка генерации ВИЭ должна быть обеспечена в Республике Крым, где расположены основные объекты ВИЭ.

5. Перспективы развития ВИЭ в стране зависят от государственных приоритетов.

Список литературы

1. Степанова Е.Ю. Энергосбережение как приоритетное направление экономической политики многоуровневых компаний // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Материалы IX-ой международной научно-практической конференции. – Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2011. – С. 251-256.

2. Степанова Е.Ю., Рыжикова Е.Ю. Управление энергосбережением в многоуровневых университетских комплексах // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2014 г., г. Орёл. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2014. – С. 140-144.

3. Степанова Е.Ю. Тенденции развития энергетики России и роль корпораций в развитии возобновляемых источников энергии // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: Сб. материалов VII международной научно-практической интернет-конференции, март-июнь. – Орёл: ОрёлГТУ, 2009. – С. 190-195.

4. Степанова Е.Ю. Проблемы энергосбережения для крупных компаний // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: Материалы VI международной научно-практической конференции, март-июнь. – Орёл: ОрёлГТУ, 2008. С. 157-160.

5. Энергоемкость российской экономики: проблемы и решения // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: Сб. материалов V-ой международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: ООО «Издательский дом «ОРЛИК» и К», 2007. – С. 23-24.

6. Степанова Е.Ю. Роль крупных корпораций в развитии альтернативной энергетики // Энерго- и ресурсосбережение XXI век: Сб. материалов V-ой международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: ООО «Издательский дом «ОРЛИК» и К», 2007. – С. 190-191.

7. <http://allfairs.ru/exhibitions/tags/29>. – Дата обращения: 28.06.2016.

8. Степанова Е.Ю. Возобновляемые энергетические ресурсы и водородная экономика: состояние, результаты и перспективы // Энерго- и ресурсосбережение XXI век.: материалы XI международной научно-практической интернет-конференции, 01 марта – 30 июня 2013 г., г. Орёл. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2013. - С. 214-218.

9. Альтернативная энергетика становится выгодной. – Режим доступа: <http://luckyea77.livejournal.com/1324512.html>.

10. www.vesti.ru. Программа «Энергетика» от 01.06.2016.

11. Степанова Е.Ю. Рынок солнечной энергетики в России: состояние и перспективы // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: Сборник материалов X международной научно-практической Интернет-конференции 01 марта – 30 июня. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2012. – С. 303-307.

Степанова Елена Юрьевна - канд. экон.наук, доцент кафедры «Государственное управление и финансы» Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева; 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95; тел. 89066601144; e-mail: eco-nauka@yandex.ru.

DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES IN THE CONDITIONS OF THE LOW PRICES OF HYDROCARBONS

Stepanova E.Yu.

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

The analysis of development of renewable energy resources in the world in the conditions of the low prices of hydrocarbons, implementation of Government programmes in Russia is done. The role of the state in development of renewable power sources and prospects of its formation in Russia and the world is noted.

Keywords: renewable energy resources, energy saving, exhibitions, competitiveness, prospects of development.

Bibliography

1. Stepanova E.Ju. Jenergosberezhenie kak prioritetnoe napravlenie jekonomicheskoy politiki mnogourovnyevykh kompanij // Jenergo- i resursosberezhenie – XXI vek: Materialy IX-oy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Orel: ООО PF «Kartush», 2011. – S. 251-256.

2. Stepanova E.Ju., Ryzhikova E.Ju. Upravlenie jenergosberezheniem v mnogourovnyevykh universitetskikh kompleksah // Jenergo- i resursosberezhenie – XXI vek.: materialy XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, 15 marta – 30 ijunya 2014 g., g. Orël. – Orël: Gosuniversitet-UNPK, 2014. – S. 140-144.

3. Stepanova E.Ju. Tendencii razvitija jenergetiki Rossii i rol' korporacij v razvitii vozobnovljaemykh istochnikov jenerгии // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek: Sb. materialov VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, mart-ijun'. – Orel: OrelGTU, 2009. – S. 190-195.

4. Stepanova E.Ju. Problemy jenergosberezhenija dlja krupnykh kompanij // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek: Materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, mart-ijun'. – Orel: OrelGTU, 2008. S. 157-160.

5. Jenergoemkost' rossijskoj jekonomiki: problemy i reshenija // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek: Sb. materialov V-oy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii. – Orel: ООО «Izdatel'skij dom «ORLIK» i K», 2007. – S.23-24.

6. Stepanova E.Ju. Rol' krupnykh korporacij v razvitii al'ternativnoj jenergetiki // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek: Sb. materialov V-oy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii. – Orel: ООО «Izdatel'skij dom «ORLIK» i K», 2007. – S. 190-191.

7. <http://allfairs.ru/exhibitions/tags/29>. – Data obrashhenija: 28.06.2016.

8. Stepanova E.Ju. Vozobnovljaemye jenergeticheskie resursy i vodorodnaja jekonomika: sostojanie, rezul'taty i perspektivy // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek.: materialy XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii, 01 marta – 30 ijunya 2013 g., g. Orjol. – Orjol: Gosuniversitet-UNPK, 2013. - S. 214-218.

9. Al'ternativnaja jenergetika stanovitsja vygodnoj. – Rezhim dostupa: <http://luckyea77.livejournal.com/1324512.html>.

10. www.vesti.ru. Programma «Jenergetika» ot 01.06.2016.

11. Stepanova E.Ju. Rynok solnechnoj jenergetiki v Rossii: sostojanie i perspektivy // Jenergo- i resursosberezhenie - XXI vek: Sbornik materialov H mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy Internet-konferencii 01 marta – 30 ijunya. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2012. – S. 303-307.

Stepanova Elena Yurievna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor **Orel State University**

УДК 621.311

ВЫЯВЛЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ 6-10 КВ

Жилин Б.В., Казаков Р.С.

Россия, Новомосковск, Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

На примере участка сети НЭС рассмотрена методика определения потерь электроэнергии в условиях неполноты исходных данных. В качестве математического аппарата выбран метод распознавания образов.

Ключевые слова: потери, кластерный анализ, метод распознавания образов, манхеттеннская метрика.

Определение потерь электроэнергии (ЭЭ) является актуальной задачей на разных уровнях электрических систем (ЭС), причем подходы к решению сильно зависят от уровня напряжения. Здесь рассмотрим самые протяженные сети 6-10 кВ.

Как известно все потери ЭЭ можно разделить на два вида:

- технические потери (продольные и поперечные), вызванные "омическими потерями", сопровождающими протекание электрического тока по элементам с активным сопротивлением и токами утечки в проводимостях;

- коммерческие потери, обусловленные несовершенством и недостатками систем учета и расчетов за ЭЭ.

С точки зрения определения технических потерь при развитии современных вычислительных средств и разработанности процедур расчетов режимов не представляет трудностей определение потерь мощности в электрических сетях произвольной конфигурации любой реальной размерности. Наиболее точно рассчитать технические (точнее нагрузочную, продольную составляющую) потери ЭЭ в элементе можно по его графику нагрузки (по графику мощности, протекающей по элементу). То есть для перехода от потерь мощности к определению потерь энергии, которые собственно представляют коммерческий интерес, требуется еще информация о графике нагрузки за соответствующий период. Такой подход реализован в методе "оперативных расчетов", который, по сути, восстанавливает график нагрузки линейного элемента на основе расчетов потоков мощности в ЭС, и для своей реализации требует, как минимум, почасовые значения мощности потребляемой нагрузками.

Получение полной информации о графиках нагрузки всех линейных элементов даже небольших электрических систем, представляет определенные трудности, так как требует оснащения измерительно-регистрационными комплексами весьма большого количества точек учета, что в настоящий момент не реализовано в большинстве электросетевых предприятий.

Фактически современная ситуация обстоит так: средства учета дают достаточно полную информацию о графиках нагрузки только на границе раздела "питающая энергосистема - электросетевое предприятие". То есть на участках сети, отходящих от центров питания. В частности /1/, для Новомосковских ЭС филиала "Тулэнерго" это 8 питающих линий 110 кВ. Информация же о нагрузках трансформаторных подстанций (ТП) потребителей представлена, как правило, единичными токовыми замерами в дни близкими к срокам регистрации зимнего максимума и летнего минимума. Поэтому определить токи

в линейных элементах можно только приближенно, а с еще большей погрешностью можно указать изменение этих токов во времени, то есть график нагрузки, или его показатели. Так как определение достоверных значений технических потерь затруднено, то и выделение коммерческих из общих потерь - является отдельной задачей.

В рамках представленной работы рассматривается статистический подход, основанный на применении теории распознавания образов и кластерного анализа /2/. Данный подход полностью использует существующую информацию в форме отчетности полученной ЭЭ от энергосистемы. Так как в такой постановке задачи период регистрации связан с коммерческими расчетами, то будем далее говорить о месячных расходах ЭЭ. Опишем основные этапы разрабатываемого метода, аналогичного подходу описанного в /3/.

1. В качестве координат кластерного пространства рассмотрим количество ЭЭ, получаемой по каждой из 8 ЛЭП от энергоснабжающей организации. Таким образом, будем иметь восьмимерное пространство, где каждая точка (объект) будет соответствовать конкретному набору величин ЭЭ полученной по каждой из ЛЭП от энергоснабжающей организации - конкретному состоянию системы потребления электросетевой организации. Заметим, что при этом используем данные предыстории за длительный период, так как в НЭС филиала "Тулэнерго" не было крупных реконструкций, связанных с изменением топологии сети и подключением крупных новых потребителей. В итоге точки неравномерно заполняют указанное пространство, образуя некоторые скопления - кластеры.

2. Каждому состоянию системы потребления поставим в соответствие общие потери ЭЭ, зафиксированные за соответствующий период. Основное допущение, лежащее в основе предлагаемого метода, состоит в том, что технические потери для каждого выделенного состояния имеют меньший разброс, чем коммерческие. Поясним данное допущение. Технические потери в общем случае определяются величиной передаваемой ЭЭ и топологией сети, то есть эквивалентным активным сопротивлением между источником питания и нагрузкой. Очевидно, что именно эти параметры фиксируются состоянием системы потребления - положением точки в пространстве признаков. Коммерческие потери, в большинстве случаев, не показывают стабильного отбора ЭЭ и поэтому имеют существенный разброс даже для одинаковых состояний системы потребления. Заметим, что при несанкционированных, неучтенных отборах ЭЭ вырастают и технические потери, но они только увеличивают разброс общей невязки, отпущенной в сеть и оплаченной ЭЭ, что усиливает выделение таких точек из кластера.

3. Анализируем разброс величин общих потерь внутри кластеров: выделяем состояния с превышением абсолютных значений потерь от минимального более, чем на 10%. Технические потери принимаем на уровне значений общих потерь, попавших внутрь этого диапазона 10%. Полагаем, что состояния, не попавшие в указанный диапазон, содержат в себе соответствующую величину коммерческих потерь, которая определяется как разница между общими потерями в этом состоянии и техническими потерями, характерными для рассматриваемого кластера.

Подходы к выделению кластеров использовались те же, что и в /1/. Но в отличие от /1/ для того, чтобы сузить круг состояний "подозрительных" на коммерческие потери, на данном этапе внутри каждого кластера отыскивалась многомерная регрессионная зависимость потерь энергии от ЭЭ, получаемой по каждой из 8 ЛЭП. Эта операция производилась для кластеров с числом точек (состояний) от 20 и выше. В результате часть точек, для которых хотя диапазон разброса потерь превысил 10%, их значение потерь

хорошо согласуются с регрессионной моделью. Поэтому количество точек-состояний, которые требуют особого профессионального анализа на предмет присутствия коммерческих потерь, уменьшился, но и достоверность наличия именно технически не обоснованных потерь - увеличилась.

Аналогичный подход на более низком уровне ЭС, например, для показаний приборов учета на ТП потребителей, позволит конкретизировать присоединения со значительными коммерческими потерями.

Список литературы

1. Жилин Б.В., Казаков Р.С. Определение потерь с использованием метода распознавания образов на примере НЭС - Известия Тульского государственного университета. Технические науки Выпуск № 8 / 2014 с. 40-44 /1/.

2. Статистические методы для ЭВМ / Под ред. К. Энслейна, Э.Рэлстона, Г.С.Уилфа - М.: Наука, 1986. 464 с.

3. Жилин Б.В., Бортниченко А.В. Классификация предприятий черной металлургии. - Промышленная энергетика, N1, 1997 г. с 25-26.

Жилин Борис Владимирович - д-р техн. наук, и.о. профуссор, зав. кафедрой, glnbv@mail.ru, Россия, Новомосковск, Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

Казаков Роман Сергеевич - аспирант, ассистент, kazakov_r_s@mail.ru, Россия, Новомосковск, Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева

DEFINITION LOSSES USING PATTERN RECOGNITION METHODS, FOR EXAMPLE NES

Zhilin B.V., Kazakov R.S.

Russia, Novomoskovsk, The Novomoskovsk Institute (subdivision) of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University

Proposed and considered method of determining the energy losses in conditions of incomplete baseline data. The mathematical formalism is selected pattern recognition technique.

Keywords: loss, cluster analysis, pattern recognition technique, manhattanovskaya metric.

Zhilin Boris Vladimirovich, doctor of technical science, professor, manager of department, glnbv@mail.ru, Russia, Novomoskovsk, The Novomoskovsk Institute (subdivision) of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University

Kazakov Roman Sergeevich, graduate student, assistant, kazakov_r_s@mail.ru, Russia, Novomoskovsk, The Novomoskovsk Institute (subdivision) of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University

Руководитель:

Степанов Юрий Сергеевич - доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, директор НОЦ нанотехнологий ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл.

УДК 681.335 (07)

НЕЛИНЕЙНОСТЬ ДИФФУЗИИ ЯЧЕЙКИ

Глинкин Е.И., Глинкин М.Е.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Проанализированы закономерности учета нелинейности диффузионной ячейки за счет информативных параметров вольтамперных характеристик, адекватных физике процессов в веществе, как однозначных мер компенсационного измерения, анализа и контроля.

Ключевые слова: нелинейность, вольтамперные характеристики, информативные параметры

Regularities of the accounting of nonlinearity of a diffusive cell at the expense of informative parameters of the volt-ampere characteristics adequate to physics of processes in substance as unambiguous measures of compensation measurement, analysis and control are analysed.

Keywords: nonlinearity, volt-ampere characteristics, informative parameters

Нелинейность диффузии ячейки обусловлена электрохимическим потенциалом ионов двойного слоя (диполя), возникающим на границе электрода ячейки с исследуемым веществом, компенсирующим в равновесном состоянии (термодинамическом равновесии) ток диффузии, возникающий из-за разницы концентрации носителей заряда [см. 1, с.156 – 163]. Физическая модель термодинамического равновесия приведена на рис. 1, где ток I_0 диффузии отрицательных ионов электролита компенсирует положительный заряд ионов решетки электрода, потерявших свободные электроны из-за их высокой разницы в металле электрода и электролите.

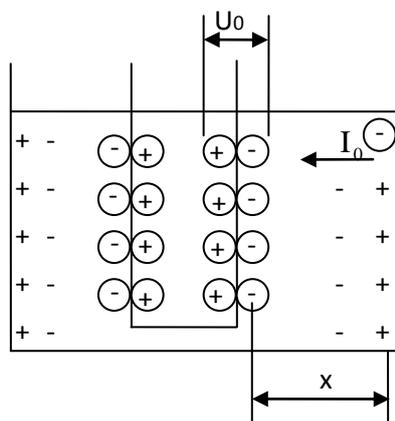
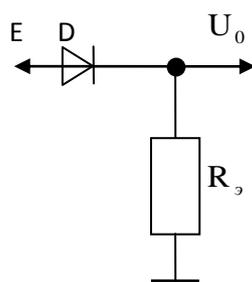


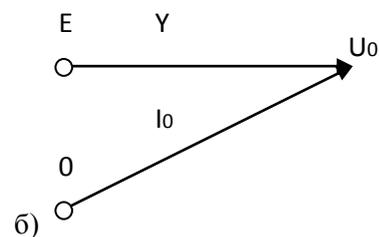
Рисунок 1

Диффузионный ток $I_0 = dn/dx$ (разность концентрации dn ионов на расстоянии dx) уравнивается диффузионным напряжением U_0 электрохимического потенциала ионов двойного слоя.

Измерительная схема замещения физической модели (рис. 1) границы электрод-электролит соответствует нелинейному делителю напряжения из последовательно соединения диода D проводимостью $Y = dI/dU$ и образцового резистора сопротивлением R_s (см. рис. 2, а). При подключении кондуктометрической ячейки в измерительную цепь



а)



б)

Рисунок 2

к источнику напряжения E , измерительной схеме (рис. 2, а) тождественна граф-схема (рис. 2, б). Веса графов определяются проводимостью Y диода D и диффузионным током I_0 резистора R_s , а узлы граф-схемы соответствуют потенциалам $E, U_0, 0$ по аналогии с измерительной схемой.

Анализ схемы методом узловых потенциалов согласно первому правилу Кирхгофа приводит к дифференциальному уравнению

$$U_0 \frac{dI}{dU} - I = I_0, \quad (1)$$

т.к. для узла U_0 при $I(E=0) = I_0$ справедливо тождество

$$U_0(Y) = E \cdot Y + I_0,$$

где $E \cdot Y = I$ - ток через диод D .

Решением дифференциального уравнения (1) служит экспоненциальная алгебраическая модель вольтамперной характеристики [см. 1, с.161]:

$$I = I_0 \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right). \quad (2)$$

Линейная модель из нелинейной ВАХ (2) может быть получена при разложении экспоненты в ряд Тейлора для линейных слагаемых

$$I = I_0 \frac{U}{U_0}, \quad (3)$$

т.к. $e^x = 1 + x$, а $\exp \frac{U}{U_0} - 1 = 1 + \frac{U}{U_0} - 1 = \frac{U}{U_0}$.

Нелинейность η_I диффузии определим методом эквивалентов из системы уравнений (2) и (3) для желаемого линейного I_s решения (3):

$$\begin{cases} I = I_0 \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right) \\ I_s = I_0 \frac{U}{U_0}. \end{cases} \quad (4)$$

Ток I ВАХ связан с эквивалентом I_s через нелинейность:

$$I = I_s \cdot \eta_I. \quad (5)$$

Выразим нелинейность η_I диффузии, выделив из нелинейной ВАХ (11) линейный эквивалент I_s за счет перемножения и деления на напряжения U и U_0 :

$$I = \frac{I_0 \cdot U}{U_0} \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right) \frac{U_0}{U} = I_s \cdot \eta_I,$$

где нелинейность η_I определяется зависимостью

$$\eta_I = \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right) \frac{U_0}{U}. \quad (6)$$

Качественная оценка соотношения (5) показывает оптимальное тождество $opt I = I_s$ для единичной константы $opt \eta_I = 1$. Количественную оценку несложно получить методом оптимизации нелинейности (6), приравнивая к нулю производную $\frac{d\eta_I}{dU} = 0$:

$$\frac{d\eta_I}{dU} = \frac{d\left(\exp\frac{U}{U_0} - 1\right)\frac{U_0}{U}}{dU} = \frac{U_0}{U \cdot U_0} \exp\frac{U}{U_0} - \left(\exp\frac{U}{U_0} - 1\right)\frac{U_0}{U^2}.$$

Выделим подобные члены и с учетом формулы (13) получим уравнение

$$\frac{1}{U} \left(\exp\frac{U}{U_0} - \eta_I \right) = 0,$$

из которого следует закономерность

$$\text{opt}\eta_I = 1 \tag{7}$$

при нулевом напряжении $U = 0$ на измерительной ячейке, т.к.

$$\exp\frac{U}{U_0}|_{U=0} = \exp 0 = 1.$$

При подстановке оптимума (7) в выражение (6) находим закономерность линейного разложения экспоненциальной функции

$$\exp\frac{U}{U_0} - 1 = \frac{U}{U_0}, \tag{8}$$

аналогично разложению экспоненты в ряд Тейлора для линейных слагаемых. Данное соотношение следует непосредственно из тождественности системы уравнений (4) по методу эквивалентов, что соответствует закономерности

$$\text{opt}I = I_0, \tag{9}$$

для линейных преобразований I участка ВАХ при нулевом напряжении $E = U = 0$ на измерительной ячейке. При этом схема ячейки реализует виртуально компенсационные измерения дифференциальных тока I_0 и напряжения U_0 , отражающих термодинамическое равновесие на границе электрод-вещество.

Из линейной ВАХ (3) следует пропорциональность электрических и диффузионных сопротивлений и проводимостей $Y = 1/R$:

$$\begin{cases} R = R_0 \\ Y = Y_0, \end{cases} \tag{10}$$

$$\text{т.к. } R = \frac{U}{I} = \frac{U_0}{I_0} = R_0,$$

$$\text{аналогично } Y = \frac{I}{U} = \frac{I_0}{U_0} = Y_0.$$

При компенсационных измерениях ток $I=0$ через ячейку отсутствует и из уравнения (1) следует также пропорциональность дифференциальных и диффузионных характеристик

$$dY = \frac{dI}{dU}, dR = \frac{dU}{dI} \text{ и параметров } Y_0 = 1/R_0:$$

$$\begin{cases} dR = R_0 \\ dY = Y_0, \end{cases} \tag{11}$$

$$\text{т.к. } dY = \frac{dI}{dU} = \frac{I_0}{U_0} = Y_0,$$

аналогично и для сопротивлений.

Тождества (10) и (11) нарушаются для нелинейных участков ВАХ, что вытекает из дифференцирования экспоненциальной модели (2) по напряжению

$$\frac{dI}{dU} = \frac{I_0}{U_0} \exp \frac{U}{U_0}.$$

С учетом зависимостей дифференциальной и диффузионной проводимостей, находим соотношением между ними

$$dY = Y_0 \exp \frac{U}{U_0}, \quad (12a)$$

аналогично для сопротивлений

$$dR = R_0 \exp \left(- \frac{U}{U_0} \right). \quad (12б)$$

Соотношения (12) отражают нелинейность дифференциальных характеристик из-за экспоненциальной прямой и обратной зависимости от приложенного к ячейке напряжения $E=U$. Из формул (12) следует физический смысл диффузионных проводимости Y_0 и сопротивления R_0 , как предельное значение дифференциальных характеристик при отклонении источника напряжения $E = U = 0$:

$$\begin{cases} \lim_{U \rightarrow 0} dY = Y_0 \\ \lim_{U \rightarrow 0} dR = R_0, \end{cases} \quad (13)$$

т.к. при этом экспоненты вырождаются в единичную константу $\exp(0) = 1$.

Закономерности (13) постулируют независимость диффузионных характеристик Y_0, R_0 от электрического напряжения U и тока I , отражающих постоянную величину кода N состава и свойств исследуемого вещества (концентрации и влажности, уровня кислотности и сахара, физико-механических и теплофизических характеристик).

Следовательно, диффузионные характеристики целесообразно считать информативными параметрами, адекватно иллюстрирующими физику процессов в веществе, как однозначные меры компенсационного измерения, анализа и контроля электрохимических, -физических и теплофизических характеристик.

Анализ диффузионной нелинейности доказывает рациональность постоянно-токовых методов:

- линейных измерений по тождественным электрическим, дифференциальным характеристикам и информативным параметрам на I участке ВАХ, реализуемых избыточностью усиления;

- нелинейного аналитического контроля состава и свойств по информативным параметрам на нелинейном II участке ВАХ;

- квазилинейных измерений по электрическим и дифференциальным характеристикам с учетом нелинейности диффузии кондуктометрической ячейки на III квазилинейном участке ВАХ за счет повышения напряжения на пассивном делителе ячейки.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Техника творчества [Текст] / Е.И. Глинкин – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.

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

Глинкин Михаил Евгеньевич - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, канд. техн. наук, докторант кафедры биомедицинской техники, 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

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

УДК 681.335

АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ СВЁРТЫВАНИЯ КРОВИ

Глинкин Е.И., Одинокова А.А.

Россия, г.Тамбов, ТГТУ

Рассмотрена и доказана адекватность моделей процесса свёртывания крови для оценки научной новизны и практической значимости инновации.

Ключевые слова: время свёртывания крови, постоянная времени, предельное напряжение, процесс свёртывания крови

The sufficiency of models of blood clotting process has been analyzed and proved to assess scientific novelty and practical significance of innovation.

Keywords: blood clotting time, time constant, critical voltage, blood clotting process.

Адекватность инноваций физическим процессам обусловлена аналогией физики явлений и тождественностью математических операторов, дуальностью преобразований и метрологической симметрией. Адекватность, как мера эффективности инноваций по сущности и новизне, работоспособности и промышленной применимости, отражает соответственно научную новизну и практическую значимость технических решений из сопоставительного анализа достижений науки и уровня техники, искусства творчества и оценок культуры. Для грамотной оценки адекватности инноваций необходимо систематизировать методы идентификации с позиций согласования математического обеспечения и метрологических средств [1].

Адекватность математических моделей регламентирована инвариантностью операторов счисления и исчисления при преобразовании функциональных, пространственных и временных координат. Это позволяет физику явления однозначно отражать различными математическими образами и оценивать метрологическую эффективность, согласовывать информационные процессы с технологией схем и адресацией программ [1, 3].

Адекватность моделирования сущности способа является необходимым условием реализации инновации, а достаточным условием работоспособности является тождественность моделируемой характеристики экспериментальной диаграмме для оценки научной новизны и практической значимости инновации [3].

Важно понять, что свёртывание крови – динамический процесс, и измерение статистических показателей не обязательно отражает качество тромба и достоверность полученных данных [2].

Моделирование динамических процессов наглядно подтверждает адекватность математических моделей процесса свёртывания крови в алгебраической, интегральной и дифференциальной форме.

Докажем адекватность моделей [1, 3] процесса свёртывания крови в алгебраической и дифференциальной форме (1):

$$\begin{cases} T \frac{dU}{dt} + U = 0, \\ U = U_0 e^{-\frac{t}{T}}, \end{cases} \quad (1)$$

где переменными служат время t и напряжение U с предельными параметрами (постоянная времени T и предельное напряжение U_0).

Найдём производные от двух моделей:

$$T \frac{d^2 U}{dt^2} + \frac{dU}{dt} = 0, \quad (1a)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}}, \quad (1б)$$

$$\frac{d^2 U}{dt^2} = \frac{U_0}{T^2} e^{\frac{-t}{T}}. \quad (1в)$$

Подставим сначала алгебраическую модель (1) и её первую производную (1б) в дифференциальную модель (1), а затем – первую (1б) и вторую (1в) производные алгебраической модели (1) в уравнение производной дифференциальной модели (1а):

$$\begin{cases} T \left(\frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}} \right) + U_0 e^{\frac{-t}{T}} = 0, \\ T \left(\frac{U_0}{T^2} e^{\frac{-t}{T}} \right) + \frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}} = 0. \end{cases} \quad (1г)$$

Перепишем данную систему к виду:

$$\begin{cases} U_0 e^{\frac{-t}{T}} + U_0 e^{\frac{-t}{T}} = 0, \\ \frac{U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}} + \frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}} = 0. \end{cases} \quad (1д)$$

В итоге 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 (1).

Докажем адекватность моделей [3] процесса свёртывания крови в алгебраической и интегральной форме:

$$\begin{cases} U = U_0 e^{\frac{-t}{T}}, \\ U = \frac{1}{T} \int_0^t -U dt, \end{cases} \quad (2)$$

где переменными служат время t и напряжение U с предельными параметрами (постоянная времени T и предельное напряжение U_0).

Приравняем правые части уравнений системы (2):

$$U_0 e^{\frac{-t}{T}} = \frac{1}{T} \int_0^t -U dt, \quad (2a)$$

и подставим первое уравнение во второе:

$$U_0 e^{\frac{-t}{T}} = \frac{1}{T} \int_0^t -U_0 e^{\frac{-t}{T}} dt. \quad (2б)$$

Проинтегрируем правую часть:

$$U_0 e^{\frac{-t}{T}} = \frac{1}{T} U_0 e^{\frac{-t}{T}} \cdot (T) \Big|_0^t. \quad (2в)$$

Подставив пределы интегрирования, получим решение в алгебраической форме экспоненциального вида:

$$U_0 e^{\frac{-t}{T}} = U_0 e^{\frac{-t}{T}}. \quad (2г)$$

Решение (2г) отражает тождественность алгебраического эквивалента системы (2) и полученного решения, что доказывает адекватность интегральных моделей процесса свёртывания крови.

Методом подстановки первообразных и их производных интегральных моделей и алгебраических моделей доказывают адекватность математических моделей в интегральной и алгебраической форме (2).

Найдём производные первообразных системы (2):

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = \frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}}, \\ \frac{dU}{dt} = \frac{-U}{T}. \end{cases} \quad (3)$$

Приравняем правые части уравнений системы (3):

$$\frac{-U_0}{T} e^{\frac{-t}{T}} = \frac{-U}{T_0}. \quad (3а)$$

После несложных преобразований получаем выражение:

$$U = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{T}}, \quad (3б)$$

которое тождественно алгебраической модели, что еще раз доказывает адекватность математических моделей процесса свертывания крови в интегральной и алгебраической форме.

Следовательно, тождественность операторов вычисления и преобразования доказывает адекватность математических моделей процесса свертывания крови в дифференциальной, алгебраической и интегральной форме.

Выводы:

- Доказана адекватность моделей процесса гемокоагуляции, представленных в дифференциальной, алгебраической и интегральной формах, а также тождественность производных алгебраической модели производным дифференциальной модели, из которой следует адекватность математических моделей в дифференциальной и алгебраической форме системы.

- Доказана тождественность алгебраического эквивалента системы (2) и полученного решения, что доказывает адекватность интегральных моделей процесса свертывания крови.

- Методом подстановки первообразных и их производных интегральных моделей и алгебраических моделей доказана адекватность математических моделей процесса свертывания крови в интегральной и алгебраической форме.

- Тождественность операторов вычисления и преобразования доказывает адекватность математических моделей процесса свертывания крови в дифференциальной, алгебраической и интегральной форме.

Список литературы

1. Глинкин Е. И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010.- 168 с.
2. Сисла Б. Руководство по лабораторной гематологии / Б. Сисла; пер. с англ. под общ. ред. А.И. Воробьева. – М.: практическая медицина, 2011. – 352 с.

З. Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И. Инфокоммуникационные сети магистральных электросетей Центра. – М.: Спектр, 2013. – 200 с.

Глинкин Евгений Иванович - Заслуженный изобретатель РФ, профессор, д.т.н, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, ул. Советская, 106.

Одиноква Александра Александровна - аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, ул. Советская, 106., odinokovasashkka6310@rambler.ru, тел. 89204935177

УДК 681.335

МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТОВ ПО ГРАНИЦАМ ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТОЛИЧЕСКОГО И СРЕДНЕГО АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Глинкин Е.И., Швырева К.Е., Сулова Ю.В.

Россия, г. Тамбов, ТГТУ

Метод тождественности границ диапазона оценивает эффективность информативных параметров и алгоритмов их расчета, ширину адаптивного диапазона и точность контроля известных мер границ. Метод тождественности алгоритмов проиллюстрирован на примере моделирования способа артериального давления.

Ключевые слова: Метод тождественности, математическая модель, систолическое артериального давления, среднее артериальное давление, адекватность, ряд Тейлора, информативные параметры

Identity range limits the method to measure the effectiveness of informative parameters and algorithms of their calculation, the width of the range and accuracy of the adaptive control of the borders of the known measures. identity algorithm method is illustrated in the blood pressure example, the method of modeling.

Keywords: Identity method, the mathematical model, systolic blood pressure, mean arterial pressure, adequacy, Taylor, informative parameters.

Адекватность, как мера эффективности инноваций по сущности и новизне, работоспособности и промышленной применимости, отражает соответственно научную новизну и практическую значимость технических решений из сопоставительного анализа достижений науки и уровня техники, искусства творчества и оценок культуры [1 – 3].

Тождественность операторов счисления и исчисления доказывает адекватность математических моделей статических, динамических и теплофизических характеристик в дифференциальных и интегральных образах. Адекватность доказывают методом тождественности эквиваленту исследуемой модели итерационным анализом или оптимизации. Метод тождественности математических моделей доказывает адекватность математической модели физике явления и процессам преобразования, физической модели и схемам замещения, операторам исчисления и счисления. Метод тождественности анализирует правильность синтеза исследуемой модели и правомерность схмотехнических и математических преобразований, в частности и технологию проектирования математических моделей, в целом. Теоретический анализ тождественности моделей подтверждает научную новизну инновации за счет синтеза новой модели традиционными алгоритмами решения или правомерности использования известной модели по новому назначению для исследования неизвестного явления [2, 3]. Универсальность метода тождественности моделей докажем на примере анализа систолического и среднего артериального давления.

Математическая модель диагностики сердечно-сосудистой системы представлена в виде полинома – отрезка ряда Тейлора (рис. 1, кривая n) [4].

Математическая модель артериального давления выбрана в экспоненциальной [5] форме:

$$y = Ae^{Bx}. \quad (1)$$

Пусть $y = n$ – это среднее артериальное давление; $x = p$ – систолическое артериального давления, тогда:

$$n = Ne^{\frac{p}{P}}, \quad (2)$$

где LiP – информативные параметры.

Составим систему уравнений [3, 5], из которой найдем информативные параметры N и P :

$$\begin{cases} n_1 = Ne^{\frac{p_1}{P}} \\ n_2 = Ne^{\frac{p_2}{P}} \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему уравнений (3), находим алгоритм оптимизации информативного параметра P . Разделим n_2 на n_1 :

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{\frac{p_2 - p_1}{P}}.$$

После логарифмирования:

$$\ln \frac{n_2}{n_1} = \frac{p_2 - p_1}{P},$$

находим алгоритм оптимизации [5] параметра P :

$$P = \frac{p_2 - p_1}{\ln \frac{n_2}{n_1}}. \quad (4)$$

Составим систему уравнений [3, 5], из которой найдем параметр N :

$$\begin{cases} p_1 = P \ln^{\frac{n_1}{N}} \\ p_2 = P \ln^{\frac{n_2}{N}} \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5), находим алгоритм оптимизации информативного параметра N . Разделим p_2 на p_1 :

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\ln \frac{n_2}{N}}{\ln \frac{n_1}{N}} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \ln \frac{n_1}{N} = \ln \frac{n_2}{N}.$$

После логарифмирования:

$$\left(\frac{n_1}{N} \right)^{\frac{p_2}{p_1}} = \frac{n_2}{N} \Rightarrow \frac{n_1}{N^{\frac{p_2 - 1}{p_1}}} = n_2,$$

находим алгоритм оптимизации [5] параметра N :

$$N = n_1 \cdot \frac{p_2 - 1}{p_1} \sqrt[p_1]{\frac{n_1}{n_2}}. \quad (6)$$

Поскольку значения n и p известны из графика, представленного на рис. 1, то возьмем две любые точки, например $p_1 = 70, n_1 = 64$ и $p_2 = 140, n_2 = 100$, затем вычислим информационные параметры [2, 3] LiP из формул (4) и (6) в среде MathCad:

$$P = \frac{p_2 - p_1}{\ln \frac{n_2}{n_1}} = 156.85; \quad N = n_1 \cdot \frac{p_2 - 1}{p_1} \sqrt[p_1]{\frac{n_1}{n_2}} = 40.96.$$

Построим график аппроксимации (оптимизации) среднего артериального

к систолическому давлению (2) с полученными параметрами (рис. 1, кривая n1):

$$n1 = N \cdot e^{\frac{p}{P}}$$

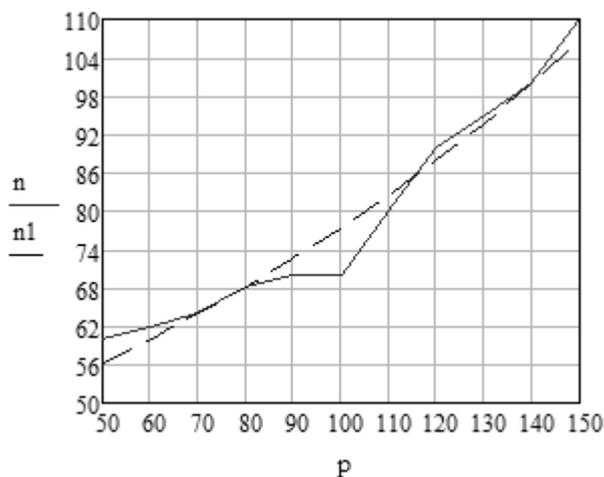


Рисунок 1

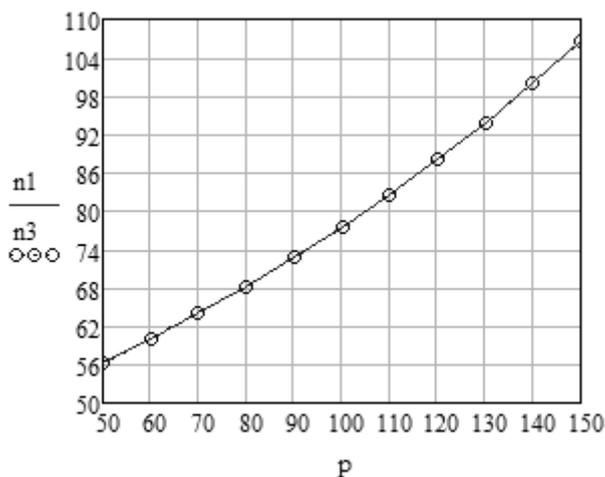


Рисунок 2

Затем возьмем две точки пересечения графиков (рис. 1, кривые n и n1) $p_1 = 70, n_1 = 64$ и $p_2 = 140, n_2 = 100$ и также вычислим информационные параметры [3, 5] $N1$ и $P1$ и построим график (рис. 2):

$$n3 = N1 \cdot e^{\frac{p}{P1}}$$

Следовательно, адекватность математического и физического моделирования доказывает метод тождественности эквиваленту исследуемой модели стационарных, динамических и нестационарных процессов для оценки уровня научной новизны инновации [2].

Существенность и техническую новизну инновации оценивает метод тождественности эквивалентам границ диапазона за счет синтеза алгоритмов расчета информативных параметров и анализа по ним статических и динамических характеристик способов. Тождественность адаптивному диапазону подтверждает правильность моделирования алгоритмов и характеристик, новизну и существо инновации, как неделимую совокупность ограничительных и отличительных признаков для достижения цели (технической задачи) изобретения.

Метод тождественности границ диапазона оценивает эффективность информативных параметров и алгоритмов их расчета, ширину адаптивного диапазона и точность контроля известных мер границ. В процессе моделирования метод границ позволяет выявить закономерности линейного преобразования без температурного, временного и параметрического дрейфа с гальванической развязкой сигналов. Метод тождественности алгоритмов проиллюстрирован на примере моделирования способа артериального давления. Адекватность техническому решению модели сущности способа является необходимым условием реализации научной новизны инновации [3, 5].

Метод тождественности эквиваленту исследуемой модели показывает адекватность математического и физического моделирования для оценки уровня научной новизны инновации; а также метод тождественности эквивалентам границ диапазона оценивает адекватность эффективности технического решения – цели (технической задачи) изобретения для подтверждения технического уровня и существования способа, как необходимого условия реализации научной новизны – практической значимости [2].

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Методы идентификации адекватности инноваций [Текст] / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин // XVII открытая областная НПК «Грани творчества» / под ред. Е.И. Глинкина, Тамбов: ТГТУ, 2013. – С. 45.
2. Глинкин, Е.И. Адекватность инноваций [Текст] / Е.И. Глинкин // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. - 2014. - Т. 19. - Вып. 3. - С. 869-875.
3. Глинкин Е.И. Адекватность инноваций. –<http://Guunpk.ru/Наука-НТМ-2013>.
4. Попова, Ю.В., Швырева К.Е., Леонтьев, Е.А. Разработка метода диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы // сб. трудов XXVII МНК. – Тамбов: ТГТУ, 2014. – Т.6. Секции 6, 7, 8. – С. 155 – 157.
5. Глинкин Е.И. Техника творчества. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168 с.

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

Швырева Ксения Евгеньевна - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru

Shvyreva Kseniya Evgenievna - Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department, e-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru

Суслова Юлия Владимировна - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: popova21.04@mail.ru

Suslova Yuliya Vladimirovna - Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department, e-mail: popova21.04@mail.ru

УДК 621.382.323

КОМПАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО МОП-ТРАНЗИСТОРА С ДВОЙНОЙ ДИФФУЗИЕЙ НА VERILOG-A В САПР SYMICA

Студенников А.С., Цырлов А.М.

Россия, г. Орёл, АО «Протон»

Головко Н.В.

Россия, г. Москва, Филиал ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

Турин В.О.

Россия, г. Орёл, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Компактно промоделированы выходные характеристики кремниевого вертикального МОП - транзистора с двойной диффузией - основного элемента оптореле К249КП5Р. При моделировании использовалась, ранее разработанная, улучшенная компактная модель МОП-транзистора, обеспечивающая корректный учёт дифференциальной проводимости в режиме насыщения. Учтено насыщение скорости электронов, деградация подвижности под затвором и эффект саморазогрева. Моделирование велось в отечественной микроэлектронной САПР Symica с использованием разработанного Verilog-A модуля. Сопротивление стока, высокое из-за его слаболегированной вертикальной части, учтено в эквивалентной схеме.

Ключевые слова: МОП-транзистор с двойной диффузией, компактное моделирование, эффект саморазогрева, Verilog-A.

Кремниевый вертикальный МОП-транзистор с двойной диффузией (ДМОПТ) [1, 2] является основным элементом микроэлектронного оптореле К249КП5Р, выпускаемого АО «Протон» и содержащего около двух тысяч ДМОПТ ячеек. Для компактного моделирования ДМОПТ мы использовали отечественную микроэлектронную САПР Symica и разработанный нами Verilog-A модуль. В основу аналитической части модели положена улучшенная модель

МОП-транзистора [3-5], обеспечивающая корректный учёт дифференциальной проводимости в режиме насыщения с монотонным её убыванием от максимального значения в линейном режиме до положительного или отрицательного значения в режиме насыщения. Учтён эффект насыщения скорости электронов, деградация подвижности под затвором, уменьшение подвижности и скорости насыщения электронов и порогового напряжения с ростом температуры. При моделировании учитывалось сопротивление вертикальной высокоомной части стока, добавленное в эквивалентную схему, и эффекта саморазогрева. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Принципиальная схема оптореле и структура ДМОПТ ячейки представлены на рис. 1.

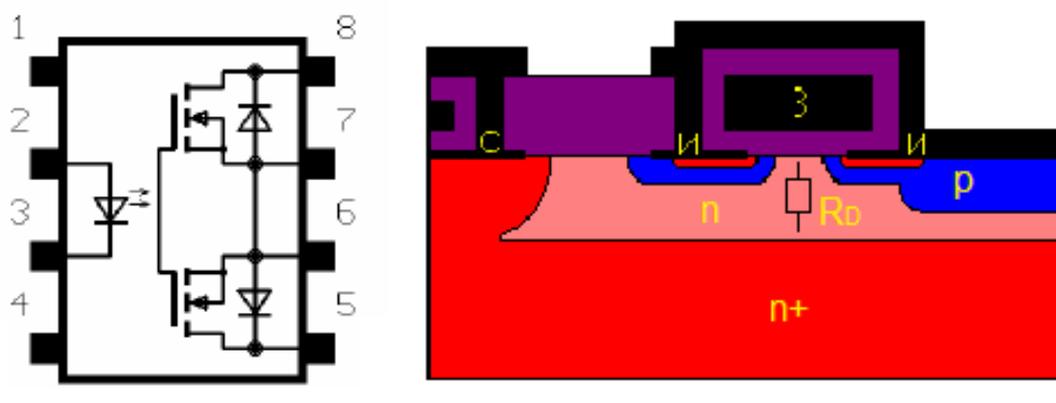


Рисунок 1 - Принципиальная схема оптореле K249КП5Р и структура ДМОПТ ячейки

Геометрические параметры элементарной ДМОПТ ячейки: $W = 75$ мкм – ширина затвора; $d = 68$ нм – толщина подзатворного окисла; $L = 3,5$ мкм – длина канала. Параметры при $T = 300,15$ К; $\mu_{n0} = 505$ см²/(В·с) – подвижность электронов в канале транзистора; $v_s = 8 \cdot 10^6$ см/с – скорость насыщения электронов; $V_{th} = 2,2$ В – пороговое напряжение. Относительная диэлектрическая проницаемость диоксида кремния $\epsilon_{ox} = 3,9$. Стандартные степенные температурные зависимость подвижности и скорости насыщения были линеаризованы для улучшения сходимости. Для подвижности использовался степенной параметр $\zeta = 2,5$; для скорости насыщения $\xi = 0,87$. Для температурной зависимости порогового напряжения использовалась линейная зависимость с температурным коэффициентом $k = -4,53 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹.

Для удельной крутизны ДМОПТ получаем:

$$\beta = \frac{\mu_n \epsilon_{ox} \epsilon_0 W}{d L} = 5,5 \times 10^{-4} \text{ A} / \text{B}^2$$

Тепловое сопротивление кристалл-среда для одной ячейки было оценено из предоставленных нам экспериментальных данных как $R_{th} = 2500$ К/Вт, которое использовалось в тепловой схеме транзистора при компактном моделировании. Для проводимости канала ДМОПТ в линейном режиме имеем:

$$g_{iL} = \beta(V_{GS} - V_{th}).$$

При напряжении на затворе 4 В для сопротивления канала транзистора получается $R_{iL} = 1/g_{iL} = 1100$ Ом. Последовательно с каналом в ДМОПТ включено большое паразитное сопротивление слаболегированной вертикальной части стока R_D . Для напряжения на затворе 4 В мы оценили полное сопротивление транзистора в линейном режиме из экспериментальных данных как $R = 3111$ Ом. Оно связано с g_{iL} и R_D уравнением:

$$R = 1/g_{iL} + R_D.$$

Соответственно, легко оценить сопротивление вертикальной части стока ДМОПТ-ячейки как $R_D = 2011$ Ом, которое было использовано при компактном моделировании как сопротивление, последовательно подключённое к стоку ячейки МОП-транзистора, описываемого улучшенной компактной моделью [3-5].

При моделировании мы полагали: $T = 300,15$ К - температура окружающей среды; $\theta = 0,15$ В⁻¹ – параметр зависимости подвижности от напряжения на затворе; $\alpha = 1,3$ – безразмерный параметр, отражающий влияние подложки; $\lambda = 0,02$ В⁻¹– параметр ненулевой дифференциальной проводимости в режиме насыщения (величина, соответствующая обратному значению напряжения Эрли, хорошо известному из теории биполярных транзисторов); $m = 4,5$ – безразмерный параметр, используемый в уравнении для аппроксимации тока стока.

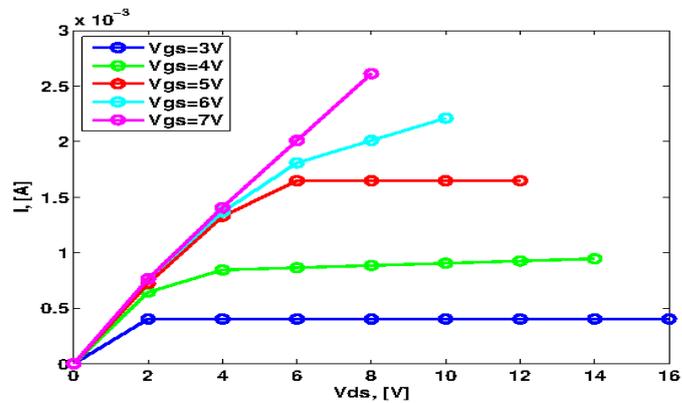


Рисунок 2 – Экспериментальные выходные характеристики

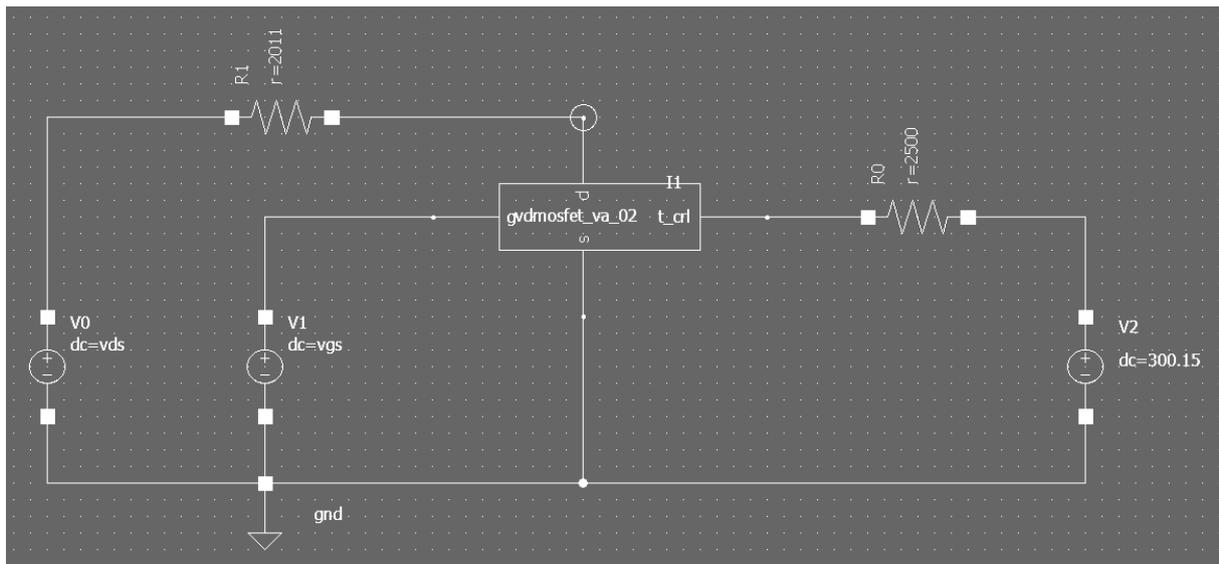


Рисунок 3 – Электрическая ($r = 2011$ Ом) и тепловая ($r = 2500$ К/Вт, $V2 = 300,15$ К) схема ДМОП-транзистора, реализованная в редакторе программы Symica

На рис. 2 представлены экспериментальные статические выходные характеристики ячейки ДМОПТ, для различных напряжений затвор-исток V_{GS} , предоставленные АО «Протон».

На рис. 3 представлена электрическая и тепловая схема, разработанная для моделирования выходных характеристик ДМОПТ с учётом саморазогрева в редакторе схем программы Symica. На рис. 4 представлены результаты моделирования, которые, как видно, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, представленными на рис. 2.

Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и Администрацией Орловской области по гранту №12-02-97534, Министерством образования и науки РФ в рамках мероприятия № 71 программы развития студенческого самоуправления в Госуниверситете - УНПК и, частично, в рамках проектной части государственного задания Госуниверситету - УНПК № 16.1117.2014/К.

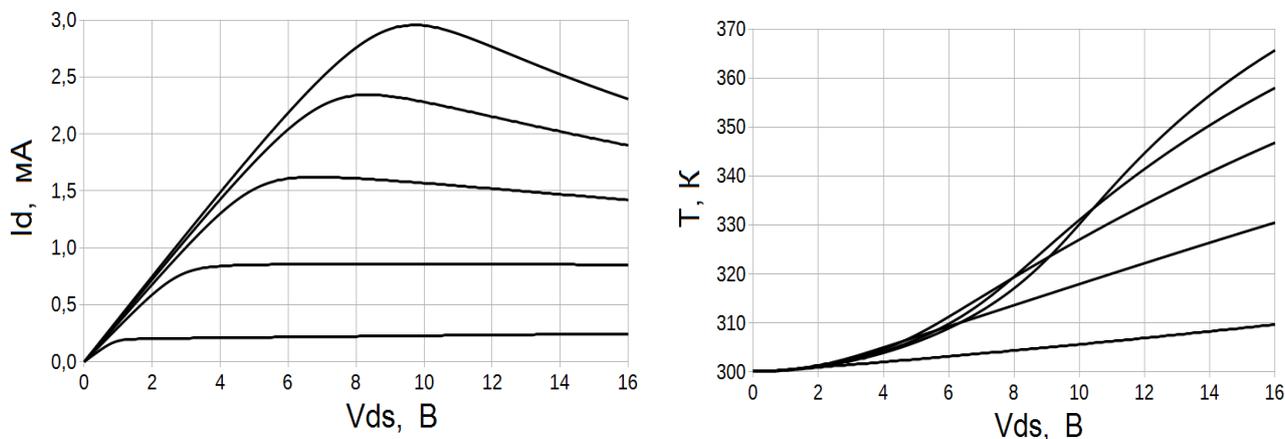


Рисунок 4 – Выходная вольт-амперная и вольт-температурная характеристики при напряжении на затворе равном 3В (нижние кривые) и 7 В (верхние кривые) с шагом 1 В

Список литературы

1. Блихер, А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов [Текст] / А. Блихер - Л.: «Энергоатомиздат». 1986. – 248 с.
2. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах. Кн. 1. [Текст] / С. Зи – М.: «Мир», 1984. – 456 с.
3. Turin, V.O., Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation. [Text] / Turin V.O., Sedov A.V., Zebrev G.I [et al.]. // Proc. SPIE. – 2009. - 7521H. - P. 1-9.
4. Turin, V.O. The correct account of nonzero differential conductance in the saturation regime in the MOSFET compact model[Text] / Turin V.O., Zebrev G.I., Makarov S.V. [et al.]. // International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. – 2014. -27. - P. 863-874.
5. Турин, В.О.Корректный учёт ненулевой дифференциальной проводимости в режиме насыщения в компактной модели полевого нанотранзистора [Текст] / В.О. Турин, Г.И. Зебрев, Б.Инигез[и др.]. // Наноинженерия. – 2012. - 8. С. 41-48.
6. Зебрев, Г.И.Физические основы кремниевой наноэлектроники [Текст] / Г.И. Зебрев - М.: МИФИ. 2008. – 240 с.

Студенников Андрей Сергеевич - инженер специального конструкторско-технического бюро, АО «Протон», Орловская область, г. Орёл, ул. Лескова 19, 302040. E-mail: andreystudennikov@yandex.ru
Цырлов Андрей Михайлович - главный инженер специального конструкторско-технического бюро, АО «Протон», Орловская область, г. Орёл, ул. Лескова 19, 302040. E-mail: cand-orel@mail.ru
Головко Николай Викторович - научный сотрудник, Филиал ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Чукотский проезд 8, 129327. E-mail:golovko_n.v@bk.ru
Турин Валентин Олегович - канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Физика», Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Наугорское шоссе 29, г. Орёл, 302020, Россия. E-mail: voturin@ostu.ru

COMPACT MODELING OF SILICON VERTICAL MOSFET WITH DOUBLE DIFFUSION ON VERILOG-A IN SYMICA EDA SOFTWARE

Studennikov A.S., Tsyrllov A.M.

Russia, Orel, JSC "Proton"
Golovko N.V.
Russia, Moscow, Branch of the 46th Central Research Institute of the Russian Defense Ministry
Turin V.O.
Russia, Orel, Orel State University after Ivan Turgenev

The compact modeling of output characteristics of Silicon VDMOSFET - the main element of optorelay K249KP5R, was performed. Modeling was based on the improved compact MOSFET model with the correct account of the differential conductance in the saturation regime, that was developed before. We have accounting electron velocity saturation effect, degradation of mobility under the gate and self-heating effect. Modeling was performed in domestic EDA software Symica and a Verilog-A module was developed. Drain resistance, which is high due to low doping of one's vertical part, is included into equivalent scheme.

Key words: VDMOSFET, compact modeling, selfheating effect, Verilog-A.

Bibliography

1. A. Blicher, "Field-Effect and Bipolar Power Transistor Physics", Academic Press, New York, 1981.
2. S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Wiley-Interscience, New York, 1981.
3. Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation / Turin V.O., Sedov A.V., Zebrev G.I [et al.]. Proc. SPIE 7521. 2009, 75211H: 1-9.
4. The correct account of nonzero differential conductance in the saturation regime in the MOSFET compact model / Turin V.O., Zebrev G.I., Makarov S.V. [et al.]. - International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2014, 27: 863-874.
5. The correct account of nonzero differential conductance in saturation regime in compact model of nanotransistor / Turin V.O., Zebrev G.I., Iñiguez B., Shur M.S. – Nanonanoengineering. 2012, 8: 41-48. (In Russian).
6. G.I. Zebrev, "Physical Basics of Silicon Nanoelectronics", МЕРФИ, Moscow, 2008. (In Russian).

Andrey S. Studennikov, Engineer, JSC "Proton", 19 Leskov Street, Orel, 302040, Russia. E-mail: andreystudennikov@yandex.ru

Andrey M. Tsyrllov, Ph.D., Chief Engineer, JSC "Proton", 19 Leskov Street, Orel, 302040, Russia. E-mail: cand-orel@mail.ru

Nikolai V. Golovko, Researcher, Branch of the 46th Central Research Institute of the Russian Defence Ministry, 8 Chukotskiy Proezd, Moscow, 129327, Russia. E-mail: golovko_n.v@bk.ru

Valentin O. Turin, Ph.D., Head of Physics Chair, Natural Sciences and Humanities Department, Orel State University after Ivan Turgenev, 29 Naugorskoe Shosse, Orel, 302020, Russia. E-mail: voturin@ostu.ru

УДК 621.45.038.72

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД С УЧЕТОМ МИКРОТВЕРДОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ

Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Баженова А.В.

*Россия, г. Москва, Центральный институт авиационного моторостроения
имени П.И. Баранова*

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

Приводятся исследования различных режимов технологии электроискрового нанесения жаростойких покрытий. На основе проведенных исследований осуществляется выбор параметров технологии нанесения покрытий с учетом микротвердости и шероховатости. 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.

При непосредственном контакте твердого тела с химически активным газом происходит газовая коррозия. При температуре до 550 °С продукты сгорания всех используемых видов топлив практически неагрессивны. Проблема высокотемпературной коррозии

металла теплонагруженных деталей возникает при температуре выше 550 °С, т.е. при температурах, при которых и работают рабочие лопатки турбины.

Для защиты металлов от газовой коррозии существуют следующие основные методы:

1) жаростойкое легирование, т.е. введение в сплав компонентов, повышающих жаростойкость;

2) защитные покрытия, 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, электроискровое легирование не требует квалифицированных рабочих или предварительной и последующей обработки, оно особенно хорошо 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 осуществляется для обеспечения равномерного распределения покрытия на поверхности теплонапряженных деталей (рис. 1).

Оценка состояния покрытия проводилась с помощью металлографического исследования: измерения шероховатости и микротвердости.



а) б) в)
Рисунок 1 - Покрытие NiCrAlY нанесенные при энергии импульса
а) $E = 2$ мДж, б) $E = 20$ мДж и в) $E = 40$ мДж

Шероховатость образцов измерялась портативным профилометром TR200. Портативный профилометр TR200 разработан компанией Time Group Inc. Профилометр предназначен для работы в условиях производства и был использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей. Измеритель производит расчет параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и четко отображает на жидкокристаллическом экране график профиля и все измеренные параметры. Встроенный микропроцессор твердомера HVS-1000 позволяет автоматически проводить испытание с отображением величины твердости на ЖК дисплее и печатью данных на принтере.

На рис. 2 показана зависимость шероховатости трех видов наносимых покрытий от величины энергии импульса. Из рис. 2 видно, что покрытия WCrNiAl и WCrCoAl на средних

и максимальных режимах обладают меньшей шероховатостью. Это значит, что эти многослойные покрытия ложатся гораздо равномернее, чем сплав NiCrAlY, несмотря на то, что компоненты формирующие покрытие наносятся послойно, и с каждым слоем покрытие деградирует, увеличивается его шероховатость.

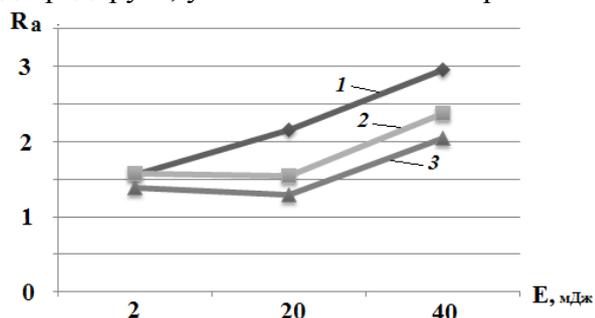


Рисунок 2 - Зависимость шероховатости покрытия от энергии импульса
1 – NiCrAlY; 2 – WCrNiAl; 3 - WCrCoAl

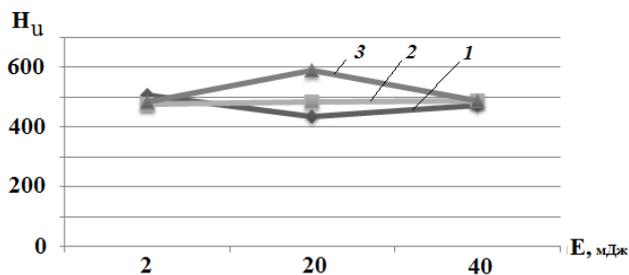


Рисунок 3 - Значение микротвердости покрытий в зависимости от величины энергии импульса
1 – NiCrAlY; 2 – WCrNiAl; 3 - WCrCoAl

При изучении микротвердости можно сделать выводы, что только при средних режимах нанесения покрытия WCrCoAl его микротвердость возрастает.

При малой и высокой энергии импульса микротвердость покрытия NiCrAlY выше, чем на среднем режиме. Микротвердость же покрытия WCrNiAl практически не зависит от режимов нанесения (рис. 3).

Выбраны режимы нанесения защитных покрытий для обеспечения равномерного распределения покрытия на поверхности теплонапряженных деталей. С увеличением энергии импульса шероховатость покрытий увеличивается. При средних и минимальных режимах покрытие наносится более равномерно и сплошность такого покрытия выше.

Исследования микротвердости показали, что при минимальной и высокой энергии импульса микротвердость покрытия NiCrAlY незначительно выше, чем на других режимах. Микротвердость других покрытий практически не зависит от режимов нанесения.

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] / С.А. Мубояджян, С.А. Будиновский, А.М. Гаямов, П.В. Матвеев // *Авиационные материалы и технологии*. - 2013. - № 1. - С. 17–20.
2. Мубояджян, С.А. Теплозащитные покрытия для деталей перспективных деталей перспективных газотурбинных двигателей [Текст] / Мубояджян С. А., 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., Ильинская О.И. Оценка теплозащитных свойств покрытий из различных материалов для теплонапряженных деталей газотурбинных двигателей // *Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодежная научная конференция: Т. 3. Сборник тезисов докладов*. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2016. С. 89-90.

Лепешкин Александр Роальдович - академик АЭН РФ, д-р техн. наук, начальник сектора ФГУП “ЦИАМ им. П.И. Баранова”, 111116, Москва, ул. Авиамоторная, д.2. E-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

Ильинская Ольга Игоревна - канд. техн. наук, доцент МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: madam.ilinskaya@yandex.ru.

Баженова Анна Вадимовна - студент МАИ (НИУ), 109240, Москва, Берниковская набережная, д. 14. E-mail: bazheovaann@gmail.com.

THE CHOICE OF PARAMETERS OF THE RESOURCE SAVING TECHNOLOGY OF DRAWING OF HEAT-RESISTANT COATINGS FOR GTE TURBINE BLADES TAKING INTO ACCOUNT MICROHARDNESS AND ROUGHNESS

Lepeshkin A.R., Elianskaja O.I., Bazhenova A.V.

Russia, Moscow, Central Institute of Aviation Motors named of P.I. Baranov
Russia, Moscow, the Moscow Aviation Institute (National Research 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 microhardness and roughness. The energy saving rises in said heating process. 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., Budinovskij S. A., Gayamov A. M., Matveev P. V. Vysokotemperaturnye zharostojkie pokrytiya i zharostojkie sloi dlya teplozashchitnyh pokrytij // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2013. № 1. S. 17–20.
2. Muboyadzhyan S. A., Golovkin Y.I., Gorlov D.S., Bychkov N.G., Lepeshkin A.R., Pershin A.V., Rekin A.D. Teplozashchitnye pokrytiya dlya detalej perspektivnyh detalej perspektivnyh gazoturbinnih dvigatelej // Novye tekhnologicheskie processy i nadezhnost' GTD. Vyp. 7. M.: CIAM. 2008. S. 158-170.
3. Bazhenova A.V., Il'inskaya O.I. Ocenka teplozashchitnyh svoystv pokrytij iz razlichnyh materialov dlya teplonapryazhennyh detalej gazoturbinnih dvigatelej // 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.

Lepeshkin Alexander Roaldovich, AEN Academician of the Russian Federation, doctor of technical sciences, Head of Sector of FSUE "CIAM named of P.I. Baranov", 111116, Moscow, ul. Aviamotornaja, 2. E-mail: lepehkin.ar@gmail.com.

Ilinskaja Olga Igorevna, Ph.D., associate professor of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: madam.ilinskaya@yandex.ru.

Bazhenova Anna Vadimovna, student of MAI (NRU), 109240, Moscow, Bernikovskaya embankment, 14. E-mail: bazheovaann@gmail.com.

УДК 621.382.323; 539.2

КОМПАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКА СТОКА ОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С КОРРЕКТНЫМ УЧЁТОМ НЕНУЛЕВОЙ ВЫХОДНОЙ ПРОВОДИМОСТИ В РЕЖИМЕ НАСЫЩЕНИЯ

Турин В.О., Рахматов Б.А.

Россия, г. Орёл, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Ким Ч.Х.

Республика Корея, г. Кванджу, Институт науки и технологии Кванджу

Инигез Б.

Испания, г. Тарагона, Университет Ровира и Вирджинии

Для компактного моделирования надпорогового тока стока органического полевого транзистора предлагается использовать подход, ранее предложенный для улучшенной компактной модели МОП-транзистора и обеспечивающий корректный учёт выходной проводимости в режиме насыщения с монотонным её убыванием от максимального значения в линейном режиме до минимального значения в режиме насыщения.

Ключевые слова: органический полевой транзистор, МОП-транзистор, компактная модель, ток стока в надпороговой области, ненулевая выходная проводимость в режиме насыщения.

Органическая электроника является сравнительно молодым направлением в науке и технике и направлена на разработку электронных устройств на основе органических материалов [1]. Органические материалы обладают рядом преимуществ по сравнению

с традиционными монокристаллическими, поликристаллическими и аморфными материалами электроники. Органические материалы могут быть гибкими, дешёвыми, биоразлагаемыми, легко наносятся на большие площади и обеспечивают практически комнатные температуры технологического процесса изготовления электронных устройств. Недостатками органических материалов являются быстрая деградация и низкая радиационная стойкость параметров, низкая подвижность носителей заряда и относительно большие геометрические размеры электронных приборов.

Ключевым устройством для органической электроники, впрочем, как и для традиционной твердотельной электроники, является полевой транзистор [2-4]. Соответственно, для эффективной разработки органической электроники с использованием современных электронных САПР, на основе симуляторов электрических схем типа SPICE, необходима корректная компактная модель органического полевого транзистора (ОПТ). При этом в своем развитии компактные модели ОПТ проходят те же этапы, что прошли и компактные модели традиционных МОП и тонкопленочных (ТФТ) транзисторов.

В нашей работе мы возьмем за основу компактную модель ОПТ, предложенную в работе [2] и разработанную на основе компактной модели МОП транзистора MOSFET Level 1. При малых напряжениях на стоке V_{DS} ток стока ОПТ линейно зависит от этого напряжения:

$$I_{lin} = g_{ch} V_{DS} \quad (1)$$

Проводимость g_{ch} канала ОПТ в (1) определяется следующим уравнением:

$$g_{ch} = \frac{K \mu_{FET} |V_{GS} - V_T|}{\left[1 + R_c K \mu_{FET} |V_{GS} - V_T|\right]}, \quad (2)$$

где V_{GS} – напряжение на затворе, V_T – пороговое напряжение, $K = \frac{W}{L} C_i$ – параметр геометрии подзатворного конденсатора и характеристик материала, W – ширина затвора, L – длина затвора, C_i – ёмкость изолятора на единицу площади, ϵ_{ox} – диэлектрическая

проницаемость подзатворного диэлектрика, ϵ_0 – электрическая постоянная, d_{ox} – толщина подзатворного диэлектрика, R_c – сопротивление контактов, $\mu_{FET} = \frac{\mu_0}{V_{aa}^\gamma} |V_{GS} - V_T|^\gamma$ –

подвижность с учетом эффекта поля, μ_0 – размерный параметр равный $1 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, V_{aa} – характерное напряжение для подвижности с учетом эффекта поля, γ – степенной коэффициент для подвижности с учетом эффекта поля. С увеличением напряжения на стоке ток стока выходит на насыщение. Напряжение насыщения для ОПТ полагается $V_{sat} = \alpha_S |V_{GS} - V_T|$, где α_S – безразмерный параметр. При этом, ток насыщения полагается $I_{sat} = g_{ch} V_{sat}$, где g_{ch} – проводимость канала ОПТ (2). В режиме насыщения ОПТ обладает

ненулевой дифференциальной проводимостью с асимптотическим значением $g_{asy} = \lambda I_{sat}$, соответствующим большим значениям напряжения на стоке. Здесь коэффициент λ имеет размерность В^{-1} и соответствует обратному значению напряжения Эрли, хорошо известному из теории биполярных транзисторов. В работе [2] используется асимптотика для тока стока в режиме насыщения, аналогичная используемой в моделях MOSFET Level 1 и RPI TFT:

$$I_{asy} = I_{sat} \left[1 + \lambda |V_{DS}|\right] \quad (3)$$

В работе [3] предлагается для асимптотики тока стока в режиме насыщения использовать уравнение, применяемое в компактных моделях МОП транзистора BSIM3/4:

$$I_{asy} = I_{sat} \left[1 + \lambda (|V_{DS}| - V_{sat})\right] \quad (4)$$

Это существенно улучшает характеристики компактной модели ОПТ, но не избавляет ее от некоторых недостатков, проанализированных в работах [5, 6].

Для надпорогового тока стока ОПТ в работах [2, 3] используется уравнение,

аналогичное используемому в компактных моделях MOSFET Level 1 и BSIM3/4:

$$I = \frac{I_{lin} I_{asy}}{\left[|I_{lin}|^m + I_{sat}^m \right]^{\frac{1}{m}}} \quad (5)$$

где m – степенной параметр, определяющий плавность перехода от линейного режима к режиму насыщения тока стока.

В работах [5,6] уравнение (5) было проанализировано для асимптотического множителя I_{asy} , определяемого как уравнением (3), так и уравнением (4). Соответственно, было показано, что выходная проводимость при этом не убывает монотонно с ростом напряжения на стоке, что является дефектом MOSFET Level 1, RPI TFT и BSIM3/4 моделей. Кроме того, было показано, что в случае использования для I_{asy} уравнения (4) выходная проводимость транзистора при нулевом напряжении на стоке не равна значению g_{ch} , постулируемому уравнением (2).

Мы предлагаем для компактного моделирования надпорогового тока стока ОПТ использовать подход, недавно предложенный в работах [5, 6] для улучшенной компактной модели МОП-транзистора. При этом обеспечивается корректный учёт выходной проводимости в режиме насыщения с монотонным её убыванием от максимального значения в линейном режиме до минимального значения в режиме насыщения. При этом, мы сохраняем уравнение для асимптотики тока стока (4) и модифицируем уравнение для тока стока (5) следующим образом:

$$I = \frac{I_{lin} I_{asy}^*}{\left[|I_{lin}|^m + I_{asy}^{*m} \right]^{\frac{1}{m}}} \quad (6)$$

где I_{asy}^* - уравнение для асимптотики тока стока (4) помноженное на поправочный коэффициент, обеспечивающий правильную асимптотику уравнения (6), совпадающую с асимптотикой, определяемой уравнением (4):

$$I_{asy}^* = \frac{g_{ch}}{\left[g_{ch}^m - g_{asy}^m \right]^{\frac{1}{m}}} I_{asy} \quad (7)$$

Численные значения параметров компактной модели приведены в таблице 1 и остались такими же, как и экстрагированные для пентаценового ОПТ в работе [3]. По данным из Таблицы 1 можно рассчитать значение $V_{aa} = 358$ В.

Расчеты показывают, что при $\lambda = 1,2 \times 10^{-3} \text{ В}^{-1}$ новые уравнения (6) - (7) не дают заметного отличия от использовавшегося в [3] уравнения (5). Но в [4] приводится возможное достаточно большое значения $\lambda = 0,01 \text{ В}^{-1}$, для которого наши расчеты показывают заметную разницу между использованием уравнений (6) - (7) вместо (5). Уравнение (5) дает заметное отклонение от монотонного убывания выходной проводимости, как при использовании асимптотики для тока стока ОПТ из работы [2] (подобной моделям MOSFET Level 1 и RPI TFT) (рис. 1 а), так и при использовании асимптотики из работы [3] (подобной моделям BSIM3/4) (рис. 1 б). Новые уравнения (6) - (7) дают монотонное убывание выходной проводимости ОПТ (Рисунок 1 в). На Рисунке 1 г приведены, для сравнения, расчеты для случая $\lambda = 0 \text{ В}^{-1}$, где все модели дают совпадающие результаты.

Таблица 1 – Параметры пентаценового ОПТ и его компактной модели [3]

γ	V_T [В]	$\mu_{FET}(V_{GS} = -50 \text{ В})$ [см ² /В·с]	α_s	R_C [кОм]	m	λ [В ⁻¹]	L [мкм]	W [мкм]	C_i [нФ/см ²]
0,91	-12	0,13	0,46	24	1,8	$1,2 \times 10^{-3}$	40	1000	3,3

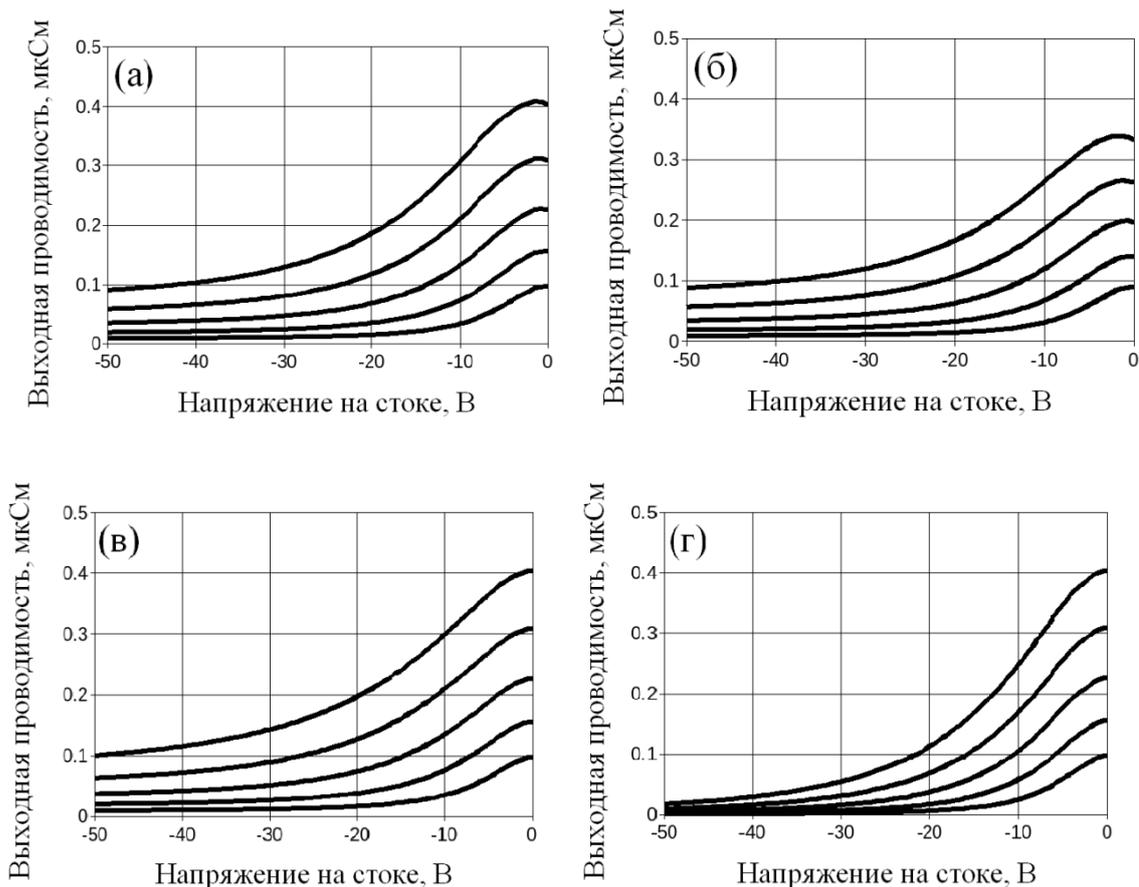


Рисунок 1 – На всех рисунках нижняя кривая для напряжения на затворе $V_{GS} = -30$ В, далее с шагом -5 В до напряжения -50 В;

(а): уравнение для тока стока (5) с асимптотикой (3); (б): уравнение для тока стока (5) с асимптотикой (4); (в): уравнение для тока стока (6) с асимптотикой (4); (а), (б) и (в): $\lambda = 0,01$ В⁻¹; (г): $\lambda = 0$ В⁻¹

Список литературы

1. Кухто, А.В. Органическая электроника: вчера, сегодня, завтра [Текст] / А.В. Кухто // Химия и жизнь. - № 2. – 2013. – С. 3-6.
2. Accurate modeling and parameter extraction method for organic TFT. / Estrada M., Cerdeira A., Puigdollers J. [идр.]. Solid State Electron. 2005. 49(6): с. 1009–1016.
3. A Compact Model for Organic Field-Effect Transistors With Improved Output Asymptotic Behaviors. / Kim C.H., Castro-Carranza A., M. Estrada [идр.]. IEEE Trans. Electron Devices. 2013, 60(3): с. 1136-1141.
4. Compact DC Modeling of Organic Field-Effect Transistors: Review and Perspectives. / Kim C.H., Bonnassieux Y., Horowitz G. IEEE Trans. Electron Devices. 2014, 61(2): с. 278-287.
5. The correct account of nonzero differential conductance in the saturation regime in the MOSFET compact model. / Turin V.O., Zebrev G.I., Makarov S.V. [идр.]. - International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2014, 27: с. 863-874.
6. Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation. / Turin V.O., Sedov A.V., Zebrev G.I [идр.]. Proc. SPIE 7521. 2009, 75211H: с. 1-9.

Турин Валентин Олегович - канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Физика», Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Наугорское шоссе 29, г. Орёл, 302020, Россия. E-mail: voturin@ostu.ru

Рахматов Бадурдин Амируллоевич - аспирант кафедры «Физика», Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Наугорское шоссе 29, г. Орёл, 302020, Россия. E-mail:

badriddin.rakhmatov.91@mail.ru

Ким Чанг-Хюн - Ph.D., научный сотрудник, Институт науки и технологии Кванджу, г. Кванджу, Республика Корея. E-mail: chkim@gist.ac.kr

Инигез Бенжамин - Ph.D., профессор, Университет Ровира и Вирджинии, г. Тарагона, Испания. E-mail: benjamin.iniguez@urv.cat

EQUATION FOR THE DRAIN CURRENT OF AN ORGANIC FIELD-EFFECT TRANSISTOR WITH THE CORRECT ACCOUNT OF NONZERO OUTPUT CONDUCTANCE IN SATURATION REGIME

Turin V.O., Rakhmatov B.A.

Russia, Orel, Orel State University after Ivan Turgenev

Kim C.H.

South Korea, Gwangju, Gwangju Institute of Science and Technology

Iñiguez B.

Spain, Tarragona, Rovira i Virgili University

For compact modeling of the above-threshold drain current of the organic field-effect transistor we offer to use approach, that was previously proposed for the improved compact MOSFET model with the correct accounting of the output conductance in the saturation regime with ones monotonic decrease from the maximum value in a linear regime to a minimum value in the saturation regime.

Key words: organic field-effect transistor (OFET), MOSFET, compact model, above-threshold current, output conductivity in saturation regime.

Bibliography

1. Organic Electronics: yesterday, today, tomorrow / Kuhto A.V. // Chemistry and Life - XXI century. 2013, 2: 3-6. (In Russian).
2. Accurate modeling and parameter extraction method for organic TFT / Estrada M., Cerdeira A., Puigdollers J. [et al]. Solid State Electron. 2005. 49(6): c. 1009–1016.
3. A Compact Model for Organic Field-Effect Transistors With Improved Output Asymptotic Behaviors / Kim C.H., Castro-Carranza A., M. Estrada [et al.]. IEEE Trans. Electron Devices. 2013, 60(3): 1136-1141.
4. Compact DC Modeling of Organic Field-Effect Transistors: Review and Perspectives / Kim C.H., Bonnassieux Y., Horowitz G. IEEE Trans. Electron Devices. 2014, 61(2): 278-287.
5. The correct account of nonzero differential conductance in the saturation regime in the MOSFET compact model / Turin V.O., Zebrev G.I., Makarov S.V. [et al.].- International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2014, 27: 863-874.
6. Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation / Turin V.O., Sedov A.V., Zebrev G.I [et al.]. Proc. SPIE 7521. 2009, 75211H: 1-9.

Valentin O. Turin, Ph.D., Head of Physics Chair, Natural Sciences and Humanities Department, Orel State University after Ivan Turgenev, 29 Naugorskoe Shosse, Orel, 302020, Russia. E-mail: voturin@ostu.ru

Badurdin A. Rakhmatov, Postgraduate Student, Physics Chair, Natural Sciences and Humanities Department, Orel State University after Ivan Turgenev, 29 Naugorskoe Shosse, Orel, 302020, Russia. E-mail: badriddin.rakhmatov.91@mail.ru

Chang-Hyun Kim, Ph.D., Postdoctoral Researcher, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, South Korea. E-mail: chkim@gist.ac.kr

Benjamin Iñiguez, Ph.D., Professor, Rovira i Virgili University, Tarragona, Spain. E-mail: benjamin.iniguez@urv.cat

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТАХ

Мещерякова О.В., Шишлин Д.И., Мещеряков В.Н.

Россия, г. Липецк, Липецкий государственный технический университет

Анализируются перспективы и особенности применения нейронных сетей и нейроконтроллеров в системах управления промышленными агрегатами. Приведен процесс построения нейросетевой модели объекта, а также рассмотрение управление с прогнозирующими моделями.

Ключевые слова: нейронная сеть, нейроконтроллер, система управления

The prospects and features of neural networks and neural controllers applied in industrial plant control systems are considered. The neural network modeling is presented as well as neural network predictive controller design.

Key words: neural network, neural network controller, control system.

Нейронные сети находят применение в промышленных агрегатах при наличии возмущающих воздействий на объект управления, когда традиционные решения в системах управления недостаточно эффективны. Управление электроприводными комплексами, с использованием нейронных сетей целесообразно при изменении в широком диапазоне параметров механической части и режимов работы электропривода, когда быстроедействие или точность традиционных систем управления с линейными регуляторами недостаточны.

Нейронная сеть способна выполнять различные функции: управление динамическими объектами, диагностику оборудования, прогнозирование производственных ситуаций, мониторинг технологических процессов. При использовании нейронных сетей возможно осуществлять параллельную обработку информации всеми звеньями, что значительно ускоряет процесс обработки информации. Для нейронных сетей характерна способность к обучению и обобщению накопленных знаний. Обученная на ограниченном множестве данных сеть в дальнейшем способна обобщать полученную информацию и обрабатывать данные, не использовавшиеся при ее обучении. Нейроуправление динамическими объектами является комбинацией методов автоматического управления и методов искусственного интеллекта. Нейронные сети обладают рядом особенностей, которые позволяют применять их для моделирования и управления нелинейными динамическими объектами.

В настоящее время разработано, исследовано и используется на практике множество типов нейронных сетей, использующих различные обучающие алгоритмы, характеризующихся своими сильными и слабыми сторонами. Наиболее распространенными архитектурами нейронных сетей являются сети прямого распространения, рекуррентные нейронные сети, самоорганизующиеся карты или сеть Кохонена, сверточные нейронные сети, радиально-базисные функции. Количество архитектур нейронных сетей насчитывается десятками, при этом для разных типов задач разные типы нейронных сетей являются наиболее эффективными. Нейронные сети позволяют создать модель объекта, точно передающую его динамику, при этом, не требуя дополнительных знаний о структуре и параметрах объекта. Необходимыми данными являются только значения входных и выходных сигналов, таким образом, объект представляется в виде черного ящика.

Рассмотрим управление с прогнозирующими моделями [1,2]. Контроллер использует нейросетевую модель нелинейного объекта для предсказания поведения объекта управления на различные типы входных воздействий. Построение модели объекта называется идентификацией системы. Процесс построения нейросетевой модели объекта состоит из следующих этапов:

- 1) сбор и нормализация данных для обучения;
- 2) выбор архитектуры сети и алгоритма обучения;
- 3) обучение;
- 4) проверка адекватности обучения.

Построенная модель объекта применяется для создания системы управления этим объектом. Задача нейроконтроллера - рассчитать управляющий сигнал, который позволит оптимизировать работу объекта в течение определенного периода времени. Ошибка предсказания между выходом объекта управления и выходом его нейросетевой модели используют в качестве сигнала для обучения сети.

Нейронные сети и нейроконтроллеры могут применяться для управления различными объектами, в том числе и электроприводами различных механизмов, при этом нейроконтроллер осуществляет выработку управляющего сигнала. Нейронная сеть на первых итерациях обучающего процесса может выдавать значения управляющего сигнала, недопустимые, например для электропривода. Поэтому настройку нейроконтроллера следует производить с использованием модели объекта.

Список литературы

1. Мещерякова О.В. Задача одношагового управления // Информационные технологии и системы (ИТиС'08): Сборник трудов конференции Москва, 2008. С. 434-435.

2. Мещерякова О.В. Применение многозначных нейронных сетей // Управление большими системами: материалы IX Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Т.2. Тамбов-Липецк, 2012. С.58-59.

Мещерякова Ольга Викторовна - аспирант кафедры электропривода Липецкого государственного технического университета. г.Липецк, ул. Московская, 30. тел. (4742) 328056.

Шишлин Денис Иванович - доцент кафедры электропривода Липецкого государственного технического университета. г.Липецк, ул. Московская, 30. тел. (4742) 328056

Мещеряков Виктор Николаевич - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода Липецкого государственного технического университета. г. Липецк, ул. Московская, 30. тел. (4742) 328056.

УДК 621.319:678.5

АККУМУЛЯТОРЫ И СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Горелов С.В., Горелов В.С., Базавлук А.А.
Калинин Б.Е., Хлыстова К.А., Юрьев М.Ю.**

Россия, г. Новосибирск, Сибирский государственный университет водного транспорта

Проведена классификация принципов аккумулирования энергии. Рассмотрен принцип действия различных типов аккумуляторов и суперконденсаторов.

Ключевые слова: аккумуляторы, природные ресурсы топливные элементы, паровая конверсия синтез газа, суперконденсатор, графен.

Большинство возобновляемых источников энергии обеспечивают энергией потребителей циклически. Аккумуляторы энергии повышают надёжность электроснабжения. Аккумулирование энергии происходит на физических и химических принципах (рисунок 1).

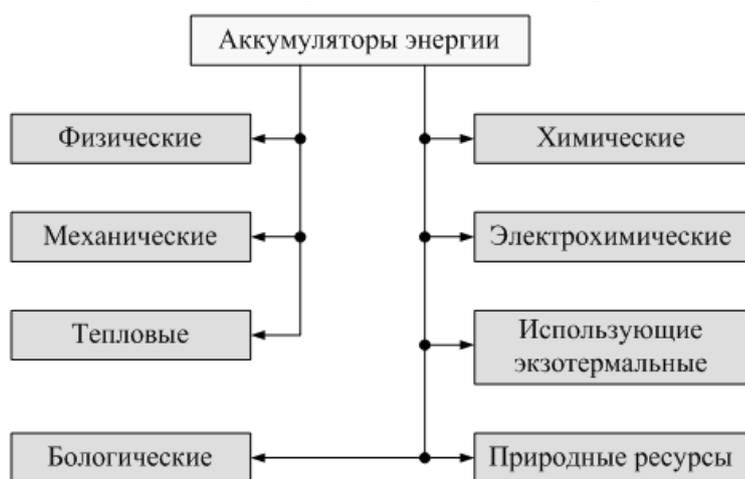


Рисунок 1 – Основные виды аккумуляторов энергии, использующие физические и химические принципы работы

Физические принципы запаса энергии заключаются в аккумулировании не только теплоты, но и механической энергии.

В тепловых аккумуляторах физической теплоты на основе воды или других однофазных веществ температура в процессе накопления и отдачи теплоты изменяется во времени.

Использование в качестве рабочего материала некоторых веществ, изменяющих своё агрегатное состояние, позволяет поддерживать температуру постоянной, соответствующей температуре фазового перехода.

К таким веществам относят, например, сульфат натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, парафин и другие. Так, глауберова соль под действием подводимой теплоты при температуре 305,3 К переходит

в насыщенный раствор Na_2SO_4 с осадком. Эта реакция сопровождается поглощением теплоты в количестве 650 МДж/м³.

Аккумуляция механической энергии происходит на гидроаккумуляторных электростанциях, имеющих избыток электрической энергии. Вода после прохождения гидротурбины, насосами, перекачивается в водохранилище. Это позволяет поддерживать постоянный напор воды в течение всего года.

При проведении экзотермических реакций выделяется аккумуляционная теплота, которая может использоваться как полезная в технологических процессах. На основе электрохимических реакций производится аккумуляция энергии в гальванических элементах многоразового и одноразового пользования. К элементам многоразового пользования относятся кислотные и щелочные аккумуляторы, выдерживающие циклы разрядки и зарядки.

Химические принципы аккумуляции энергии могут включать биохимические реакции под действием потока лучистой солнечной энергии, что составляет основу фотосинтеза, в результате которого образуются органические вещества растений, аккумулярующие солнечную энергию. За счёт прямого или косвенного употребления растений в пищу, энергия аккумулируется в животных. Растения используются в качестве топлива, а животные совершают механическую работу. В виде ископаемого топлива аккумуляторами солнечной энергии, также могут являться природные энергетические ресурсы.

Известно, что более 85 процентов энергии в мире обеспечивается углеродсодержащими топливами – нефтью, углём и газом. Отсюда и нарастающие экологические проблемы, вплоть до появления парникового эффекта, потепления климата и нарастания угрозы экологических катастроф. Сейчас всё больше начинает преобладать мнение о том, что углеродная энергетика уже себя изжила, и мы приближаемся к эпохе водородной энергетики.

Перспективным направлением в решении проблем энергообеспечения при минимальных воздействиях на окружающую среду в последние годы признана водородная энергетика, базирующаяся на водороде как топливе. Следует иметь в виду, что для его производства, как и для производства электрической и тепловой энергии, необходимы внешние источники энергии, поскольку в свободном состоянии в природе водорода практически нет. По этому признаку его следует относить к энергоносителям, а не к энергоресурсам.

Важными преимуществами водорода являются высокая теплотворная способность и экологическая чистота и технологичность получения из него электрической энергии с помощью топливного элемента (ТЭ). Последний представляет собой электрохимический генератор, осуществляющий прямое преобразование химической энергии в электрическую. При этом единственным продуктом реакции (кроме электрической энергии и теплоты) является вода.

При другом способе получения энергии из водорода - его сжигании – единственным побочным продуктом также является вода, а основным – тепло. Намечившиеся и частично апробированные технологии и сферы применения водорода (кроме энергетики) настолько широки (транспорт, химическая и пищевая промышленность, металлургия и др.), что речь идёт фактически о переходе не только к водородной энергетике, но и к водородной экономике [1, 10].

Большую часть производимого в промышленных масштабах водорода получают в процессе паровой конверсии метана. Пар с температурой (750 – 850) °С необходим для отделения водорода от углеродной основы в метане, что и происходит в химических паровых реформерах на каталитических поверхностях. Этот способ на сегодня наиболее хорошо освоен и широко распространён, хотя и имеет ряд недостатков:

исходное сырьё – природный газ – представляет собой ценный невозобновляемый ресурс;

около 50 % газа расходуется на проведение эндотермической реакции паровой

конверсии;

производство сопровождается вредными выбросами.



Рисунок 2 – Основные технологии получения синтез-газа

Водородная энергетика – использование водорода (H_2) как основного энергоносителя и топливных элементов как генераторов электроэнергии с одновременным сокращением потребления ископаемых топлив, включает в себя следующие технологии:

- крупномасштабное производство водорода из ископаемых, синтетических и возобновляемых источников энергии;
- производство топливных элементов и энергоустановок на их основе;
- хранение и транспортировка водорода;
- использование водорода для получения энергии в промышленности, на транспорте, в быту;
- водородная безопасность.

Различные технологические особенности получения и применения синтез-газа нашли отражение на рисунках 2, 3, 4 и 5.

Ближайшей перспективой водородной энергетики является применение синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) (рисунок 6).

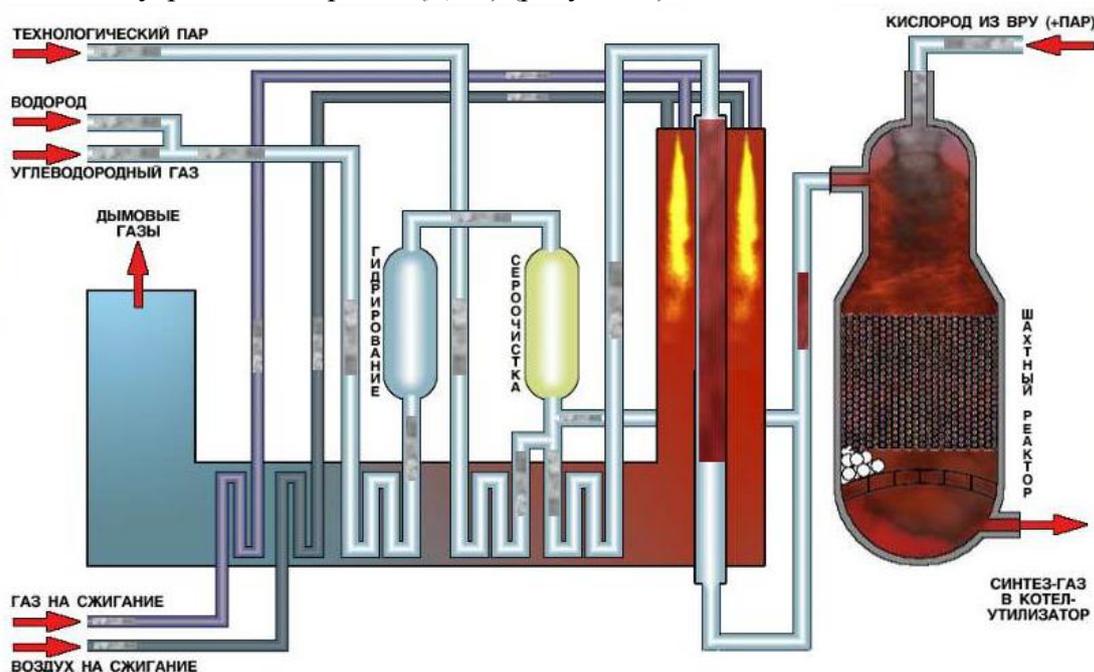


Рисунок 3 – Двухступенчатая конверсия получения синтез-газа

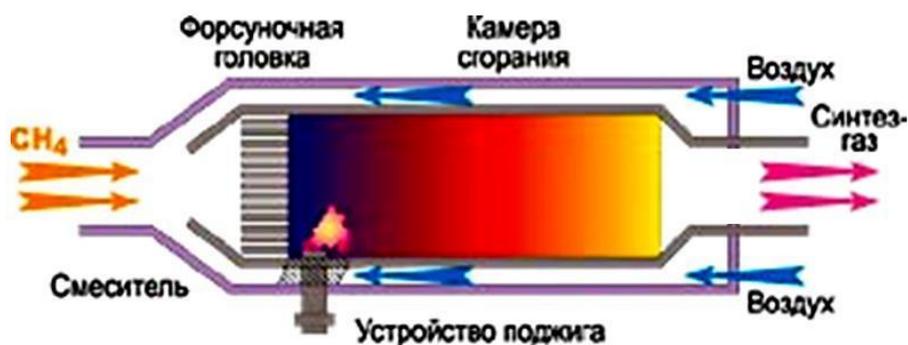


Рисунок 4 – Смеситель для получения синтез-газа



Рисунок 5 – Получение и применение синтез-газа при переработке попутного нефтяного газа

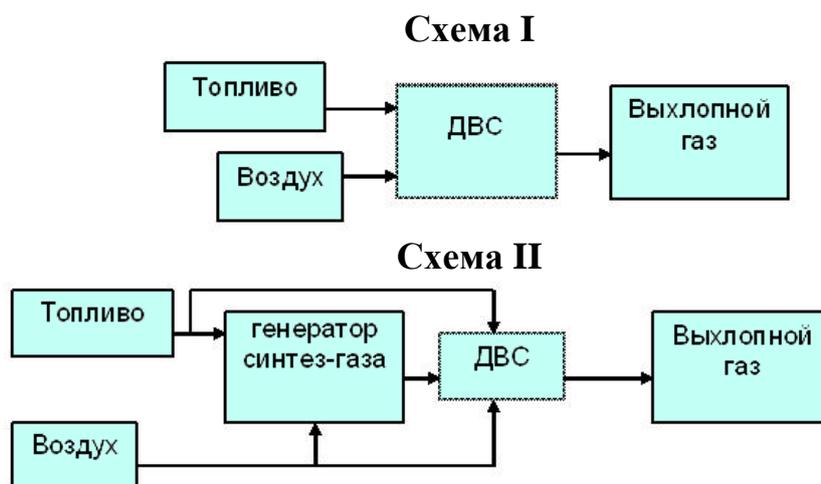


Рисунок 6 – Блок-схема дополнительной подачи синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания

Свинцово-кислотные аккумуляторы – первооткрыватели в ряду вторичных химических источников тока. Около полутора веков свинцово-кислотные аккумуляторы используют на транспорте.

В начале 1990-х стали выпускать более ёмкие аккумуляторные батареи, это технология аккумуляторных батарей с биполярными электродами. Биполярные электроды могут применяться не только для свинцово-кислотных батарей. Эта технология может использоваться для объединения в батарею разных типов аккумуляторов.

Литий-ионные аккумуляторы являются перспективными для использования в качестве тяговых батарей электротранспорта. Технология производства литий-ионных аккумуляторов постоянно совершенствуется, совершенствуются характеристики, уменьшается стоимость производства аккумуляторов.

С 1991 года началось коммерческое использование литий-ионных аккумуляторов, изготовленных фирмой Sony. В этих аккумуляторах использовался кобальтат лития

(LiCoO₂), адсорбируемый на коксовых аноде и катоде. В качестве электролита использовалась соль лития в органическом электролите. При соблюдении условий разряда / заряда данные элементы достаточно безопасны в плане взрыва.

Литий-фосфатные аккумуляторы (LiFePO₄) - одна из разновидностей перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов, которые используют LiFePO₄ в качестве катода. Они имеют более высокую разрядку и не взрываются в экстремальных условиях, но у них более низкие напряжение и плотность тока, чем у нормальных литий-ионных элементов. Полимерно-литиевые аккумуляторы могут служить недорогой заменой. Они обладают ещё более высокой энергетической плотностью (175 Вт·ч/кг) и малым током разряда, но их использование ограничено низким током нагрузки.

Исследования в области никель-металлгидридных (NiMH) батарей начались в 1970-х как совершенствование никель-водородных батарей, поскольку вес и объём никель-водородных батарей не удовлетворял производителей (водород в этих батареях находился под высоким давлением, что требовало прочного и тяжёлого стального корпуса). Использование водорода в виде гидридов металлов позволило снизить вес и объём батарей, а также снизилась и опасность взрыва батареи при перегреве. Успеху NiMH батарей способствовала увеличенная ёмкость (на 40 % по сравнению с NiCd), и использование материалов, годных к вторичной переработке. NiMH батареи могут выдерживать меньшие мощностные нагрузки по сравнению с NiCd батареями. Использование при высокой нагрузке и хранение при повышенной температуре ведёт к уменьшению срока жизни батареи. NiMH батареи подвержены большему саморазряду, чем NiCd.

Первые работы по разработке электрохимических конденсаторов проводились в середине 19 века Гемгольцем. Тогда же им было теоретически описано строение двойного электрического слоя на поверхности электродов и предсказание использования данного явления в устройствах для запасаания энергии (рисунок 7).

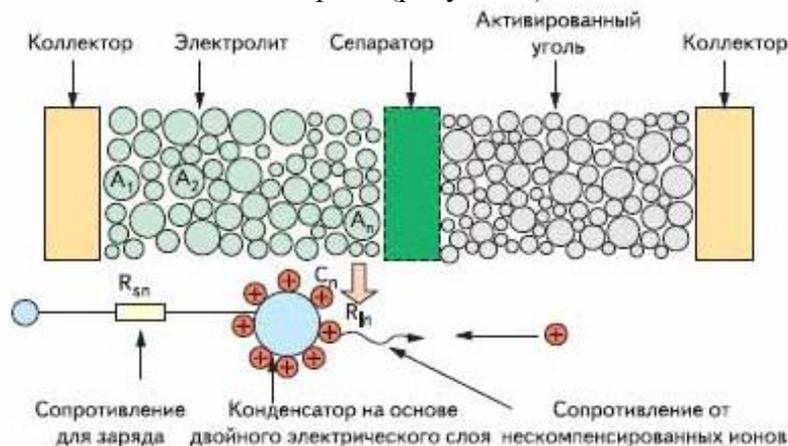


Рисунок 7 – Схематическое обозначение многослойной структуры активированный уголь-электролит в суперконденсаторе

Практические результаты научных работ, связанных с применением суперконденсаторов относятся к середине 20 века, когда появился широкий круг материалов, позволяющих практически реализовать идею суперконденсатора. С другой стороны, разработку новых типов конденсаторов определяла потребность промышленности в мощных, быстро заряжаемых источниках тока с большим ресурсом.

Работы по улучшению свойств электрохимических конденсаторов привели к появлению в конце 20 века суперконденсаторов с ёмкостью до 10 Вт·ч/кг, что позволило использовать суперконденсаторы для нужд гибридного электротранспорта.

К 2010 году проведены эксперименты, касающиеся двухмерного материала «графена», в котором учёные видят потенциальную замену используемому в микросхемах кремнию. Промышленное производство графена может привести к тому, что электронные устройства нового поколения будут значительно легче и тоньше, при этом станут более

функциональными. Материал может использоваться в электронной промышленности, оптике, а также при производстве солнечных батарей и электрохимических источников тока. Например, наряду с резисторами нанопористый углерод применяют в суперконденсаторах, ультраконденсаторах ёмкостью в сотни фарад. Был получен наноуглеродный материал таунит, представляющий многослойные углеродные нанотрубки с наружным диаметром до 40 нм и длиной свыше 2,0 мкм, который термостабилен до температуры 600 °С. Проходит комплексные испытания магний-радоновый, литий-воздушный и магний-графеновый аккумуляторы.



Рисунок 8 – Суперконденсаторный модуль «холодного пуска»



Рисунок 9 – Конструктивное исполнение электрических суперконденсаторов (ионисторов)

После выработки активного материала цинк-воздушную батарею нужно зарядить – заменить гранулы окисленного цинка в анодной кассете на свежий цинк. Данный процесс напоминает заправку топливом автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) – для электротранспорта с цинк-воздушными батареями требуется развитая структура цинкозаправок, цинковозы и цинк-перерабатывающие предприятия, на которых электрохимическими методами восстанавливается оксид цинка из отработанных анодов, потому справедливо назвать цинк-воздушные элементы "топливными".

Причиной использования такой сложной технологии является то, что цинк-воздушные элементы питания имеют плотность энергии в (2–2,5) раза большую, чем у наиболее ёмких из распространённых на сегодняшнее время – литий-ионных аккумуляторов.

Основные данные по вышеуказанным разработкам приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики источников тока

Источник тока	Энергетическая мощность Вт·ч/кг	Срок службы (циклов заряда/разряда)
Свинцо-кислотные аккумуляторы	30	300
Никелькадмиевые аккумуляторы	(40 – 60)	1500
Никель-металлогидридные аккумуляторы	75	500
Ионно-литиевые аккумуляторы	100	500
Полимерно-литиевые аккумуляторы	175	150
Литий-фосфатные аккумуляторы	65	2000
Никель-марганцевые аккумуляторы	(60 – 120)	500
Никель-хлоридные аккумуляторы	85	Более 1000
Сеперконденсаторы	10	неограничено
Цинк-воздушные топливные батареи	220	неограничено

Примечание: Значения мощностей приведены для индуктивно-активной нагрузки при номинальном коэффициенте мощности $\cos\phi = 0,8$.

Список литературы

1. Горелов, С.В. Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов: учеб.пособие: в 3 ч. Ч.1 / С.В.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. – 239 с.
2. Горелов, В.П. Общая энергетика: учебник: в 2 кн. Кн. 1. Альтернативные источники энергии / В.П.Горелов, С.В.Горелов, В.С.Горелов, Т.А.Толашко, С.Н.Удалов; под ред. В.П.Горелова, Е.В.Ивановой. – Новосибирск: Изд-во Сибирского государственного университета водного транспорта, 2016. – 417 с.
3. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебник / С.Н.Удалов. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 432 с.
4. Лукутин, Б.В. Нетрадиционные способы производства электроэнергии: учеб.пособие / Б.В.Лукутин, М.А.Сурков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 193 с.
5. Лукутин, Б.В. Силовые преобразователи в электроснабжении: учеб.пособие / Б.В.Лукутин, С.Г.Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 148 с.
6. Лукутин, Б.В. Автономное энергоснабжение от микрогидроэлектростанций / Б.В.Лукутин, С.Г.Обухов, Е.Б.Шандарова. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
7. Горелов, В.П. Системы энергоснабжения транспорта и предприятий: учебник / С.В.Горелов, В.П.Горелов, Е.В.Иванова; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та водн. тр-та, 2015. – 526 с.
8. Лукутин, Б.В. Исследование режимов работы автономного ветродизельного комплекса электроснабжения: монография / Б.В.Лукутин, Р.М.Мустафина, М.А.Сурков. – Павлодар: Кереку, 2012. – 169 с.
9. Ушаков, В.Я. История и современные проблемы электроэнергетики и высоковольтной электрофизики: учеб.пособие / В.Я. Ушаков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. –219 с.
10. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб.пособие / В.Я.Ушаков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 447 с.
11. Горелов, С.В. Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В.Горелов, В.В.Горелов, А.Л.Ивановский; под ред. В.П.Горелова, Н.В.Цугленка. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2008. – 424 с.
12. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>
13. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб.пособие: в 2 кн. Кн.1. Водный транспорт с комбинированными электроисточниками / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П.Горелова, В.Г.Сальникова – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн.трансп., 2012. – 299 с.
14. Горелов, В.П. Электроснабжение транспортных объектов: учеб.пособие: в 2 кн. Кн.2. Электротранспорт и промышленные предприятия / В.П.Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, В.Г.Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн.трансп., 2012. – 378 с.

Горелов Сергей Валерьевич - д-р техн. наук, заведующий кафедрой «ЭСЭ», ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул Щетинкина, д.33.

E-mail: nsawt_ese@mail.ru

Горелов Валерий Сергеевич - магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Базавлук Артём Александрович - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Калинин Борис Евгеньевич - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Хлыстова Кристина Андреевна - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

Юрьев Михаил Юрьевич - аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ», 630133, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д.33.

**Gorelov S. V., Gorelov V. S., Bazavluk A. A.
Kalinin B. E., Hlystova C. A., Yuryev M. Y.**

Russia, Novosibirsk, Siberian State University of Water Transport

Classification of the energy storing principles. The principle of working by different types of accumulators and supercondensers.

Keywords : batteries, natural resources, fuel cells, steam conversion of synthesis gas, supercapacitor, graphene.

Bibliography

1. Gorelov, S.V. Energosnabzhenie stacionarnykh i mobilnykh ob'ektov: ucheb. posobie: v 3 ch. Ch.1 / S.V.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, N.V.Tsuglenka. – Novosibirsk: Novosib. gos. akad. vodn. transp., 2006. – 239 s.
2. Gorelov, V.P. Obschaya energetika: uchebnik: v 2 kn. Kn. 1. Alternativnyie istochniki energii / V.P.Gorelov, S.V.Gorelov, V.S.Gorelov, T.A.Tolashko, S.N.Udalov; pod red. V.P.Gorelova, E.V.Ivanovoy. – Novosibirsk: Izd-vo Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta vodnogo transporta, 2016. – 417 s.
3. Udalov, S.N. Vozobnovlyaemyie istochniki energii: uchebnik / S.N.Udalov. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2007. – 432 s.
4. Lukutin, B.V. Netraditsionnyie sposobyi proizvodstva elektroenergii: ucheb. posobie / B.V.Lukutin, M.A.Surkov; Tomskiy politehnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2012. – 193 s.
5. Lukutin, B.V. Silovyye preobrazovateli v elektrosnabzhenii: ucheb. posobie / B.V.Lukutin, S.G.Obuhov; Tomskiy politehnicheskii universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – 148 s.
6. Lukutin, B.V. Avtonomnoe energosnabzhenie ot mikrogidroelektrostantsiy / B.V.Lukutin, S.G.Obuhov, E.B.Shandarova. – Tomsk: STT, 2001. – 120 s.
7. Gorelov, V.P. Sistemy energosnabzheniya transporta i predpriyatiy: uchebnik / S.V.Gorelov, V.P.Gorelov, E.V.Ivanova; pod red. V.P.Gorelova, V.G.Salnikova. – Novosibirsk: Izd-vo Sib. gos. un-ta vodn. tr-ta, 2015. – 526 s.
8. Lukutin, B.V. Issledovanie rezhimov raboty avtonomnogo vetrodizelnogo kompleksa elektrosnabzheniya: monografiya / B.V.Lukutin, R.M.Mustafina, M.A.Surkov. – Pavlodar: Kereku, 2012. – 169 s.
9. Ushakov, V.Ya. Istoriya i sovremennyye problemyi elektroenergetiki i vyisokovoltnoy elektrofiziki: ucheb. posobie / V.Ya. Ushakov. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2010. – 219 s.
10. Ushakov, V.Ya. Sovremennyye problemyi elektroenergetiki: ucheb. posobie / V.Ya.Ushakov. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – 447 s.
11. Gorelov, S.V. Rezistoryi v shemah elektrotrepolnabzheniya / S.V.Gorelov, V.V.Gorelov, A.L.Ivanovskiy; pod red. V.P.Gorelova, N.V.Tsuglenka. – Novosibirsk: Novosib. gos. akad. vodn. transp., 2008. – 424 s.
12. <http://www.sbras.nsc.ru/newenergy<12.12.2005>>
13. Gorelov, V.P. Elektrosnabzhenie transportnykh ob'ektov: ucheb. posobie: v 2 kn. Kn.1. Vodnyiy transport s kombinirovannymi elektroistochnikami / V.P.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, V.G.Salnikova – Novosibirsk: Izd-vo Novosib. gos. akad. vod. transp., 2012. – 299 s.
14. Gorelov, V.P. Elektrosnabzhenie transportnykh ob'ektov: ucheb. posobie: v 2 kn. Kn.2. Elektrotransport i promyshlennyye predpriyatiya / V.P.Gorelov [i dr.]; pod red. V.P.Gorelova, V.G.Salnikova. – Novosibirsk: Izd-vo Novosib. gos. akad. vod. transp., 2012. – 378 s.

Gorelov Sergey Valeryevich the Dr.Sci.Tech., head of the "ESE" department, Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33; e-mail: nsawt_ese@mail.ru

Gorelov Valery Sergeevich, the undergraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Bazavluk Artyom Aleksandrovich, tpostgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Kalinin Boris Evgenyevich, postgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Hlystova Christina Andreevna, posgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

Yuryev Mikhail Yuryevich, postgraduate of Siberian State University of Water Transport, 630133, Novosibirsk, st.Schetinkina, h.33.

**СЕКЦИЯ № 7. 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», г. Орёл.

УДК 622:621.31

**ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ НАСТРОЙКИ PID РЕГУЛЯТОРА НА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЖИМ**

Фащиленко В.Н., Решетняк С.Н.
Россия, Москва, НИТУ МИСиС

В работе представлена возможность использования энергоэффективного электромеханического резонансного способа разрушения горного массива, с целью снижения себестоимости добычи полезного ископаемого как открытым, так и подземным способом. Современное горное оборудование, в большинстве случаев, имеет регулируемую систему электроприводов исполнительных органов, управление которыми осуществляется с использованием преобразователя частоты в состав, которого входит PID-регулятор. Особенности настройки на этот режим работы системы электроприводов представлен в публикации.

Ключевые слова: PID-регулятор; система электропривода; энергоэффективность; резонансный режим.

Современная горнодобывающая промышленность, в настоящее время, в рамках повышения конкурентоспособности должна использовать инновационные решения по повышению энергоэффективности оборудования с целью снижения себестоимости добычи полезных ископаемых. Это утверждение характерно при добыче полезного ископаемого как открытым, так и подземным способом.

Одним из энергоэффективных способов разрушения горного массива является электромеханический резонансный режим работы системы электропривода исполнительного органа. До недавнего времени, все резонансные явления, которые возникали в электромеханических системах исполнительных органов, считались крайне вредными явлениями, которые пытались ограничить различными способами, однако применение резонансных явлений для разрушения горного массива, с целью снижения энергопотребления горной машиной является актуальной и требующей решения задачей.

Электромеханический резонансный режим работы системы электропривода исполнительного органа может наступить в случае, когда происходит совпадение внешнего возмущающего воздействия с внутренними возмущениями.

Система управления электроприводом исполнительного органа горной машины, в большинстве случаев, является управляемой, однако ряд горных машин имеет нерегулируемую скорость вращения исполнительного органа. В связи с этим необходима модернизация системы управления электроприводом путем разработки новой системы управления с возможностью регулирования скорости вращения исполнительного органа. В качестве системы управления электроприводов используется система «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором», иногда находит применение система «Управляемый выпрямитель – двигатель постоянного тока». Как правило, в состав таких систем входит встроенный PID-регулятор, определенные настройки которого позволяют ввести систему управления электропривода органом резания в энергоэффективный электромеханический резонансный режим работы [1, 2]. Опытные-промышленные испытания электромеханического резонансного режима работы на буровом станке СБШ-250 позволили оценить ряд энергетических показателей: производительность

станка увеличилась на 22 %, потребляемая мощность привода вращателя снизилась на 31,6 %, удельное электропотребление снизилось на 46 % [3]. Однако в представленной системе управления системой электропривода органа вращения, а именно введения ее в режим электромеханического резонанса, было осуществлено с использованием аналоговой техники, т.е. использовались обратные связи и аналоговые операционные усилители. Развитие современной элементной базы позволило создать более совершенные системы управления электроприводов, на базе цифровой техники, и изыскать возможность по расширению использования этого способа разрушения горного массива на ряд горных машин.

Структурная схема, используемая для исследования резонансных режимов работы в электромеханической системе органов резания горных машин, на основе системы «Преобразователь частоты – двигатель» представлена на рис.1.

В структурной схеме приняты следующие обозначения: u_z - сигнал задания; u_{om} - сигнал обратной связи по току двигателя; $W_{ПИД}(s) = \kappa_n + \frac{1}{sT_u} + sT_d$ - передаточная функция ПИД-регулятора; κ_n - коэффициент передачи пропорциональной части регулятора; T_u - постоянная времени интегральной части регулятора; T_d - постоянная времени дифференциальной части регулятора; u_y - сигнал управления на преобразователь частоты; $\kappa_{нч}$ - статический коэффициент передачи преобразователя частоты; $T_{нч}$ - постоянная времени преобразователя частоты; $e_{нч}$ - ЭДС преобразователя частоты; κ_3 - коэффициент передачи звена тока двигателя; T_3 - электромагнитная постоянная времени системы «преобразователь частоты - двигатель»; i_3 - ток двигателя; κ_c - коэффициент передачи звена скорости двигателя; T_m - электромеханическая постоянная времени; ω_1 - угловая скорость вала двигателя; c_e - коэффициент внутренней обратной связи по ЭДС двигателя; e_o - ЭДС двигателя; κ_{om} - коэффициент передачи обратной связи по току двигателя; $i_c = I_c \sin \nu \omega t$ - математическое представление внешнего возмущающего воздействия в виде гармонических колебаний статического тока; I_c - амплитуда статического тока; ν - номер гармоники угловой частоты ω внешнего возмущающего воздействия.

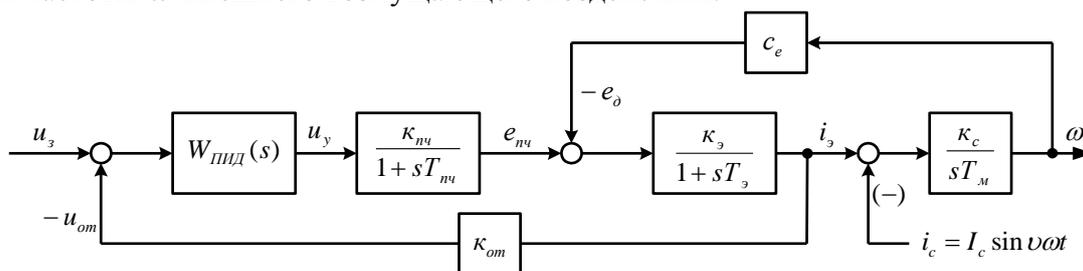


Рисунок 1 - Структурная схема для исследования резонансных режимов органов резания

В соответствии с ранее проведенными исследованиями [1] была получена зависимость коэффициента динамичности тока двигателя в резонансном режиме, как основного показателя эффективности работы электромеханической системы:

$$\kappa_{di,pez} = \frac{\nu^2 (1 + 2nT_{z.m})}{2n\sqrt{k_{ж.м}^2 \tau_u^2 + \nu^2 (1 + k_{ж.м} \kappa_n)^2}},$$

где $\kappa_{di,pez}$ - коэффициент динамичности тока двигателя в резонансном режиме; ν - частота собственных колебаний электромеханической системы; n - коэффициент затухания колебаний; $T_{z.m}$ - постоянная времени дифференциальной части ПИД регулятора; $k_{ж.м}$ -

коэффициент жесткой обратной связи по току двигателя (кжт); τ_u - обратная величина постоянной времени интегральной части PID регулятора; κ_n - коэффициент пропорциональной части PID регулятора.

Анализ представленной зависимости показал избыточность настройки PID регулятора по всем трем параметрам. Если в структуре управления резонансным режимом исключить интегральную часть PID регулятора, а использовать только пропорциональную и дифференциальную части, то зависимость можно представить в виде

$$\kappa_{di.pez} = \frac{\nu(1 + 2nT_{z.m})}{2n(1 + k_{ж.м}\kappa_n)}$$

Если в структуре управления резонансным режимом исключить пропорциональную часть PID регулятора, а использовать только интегральную и дифференциальную части, то зависимость можно представить в виде

$$\kappa_{di.pez} = \frac{\nu^2(1 + 2nT_{z.m})}{2n\sqrt{k_{ж.м}^2\tau_u^2 + \nu^2}}$$

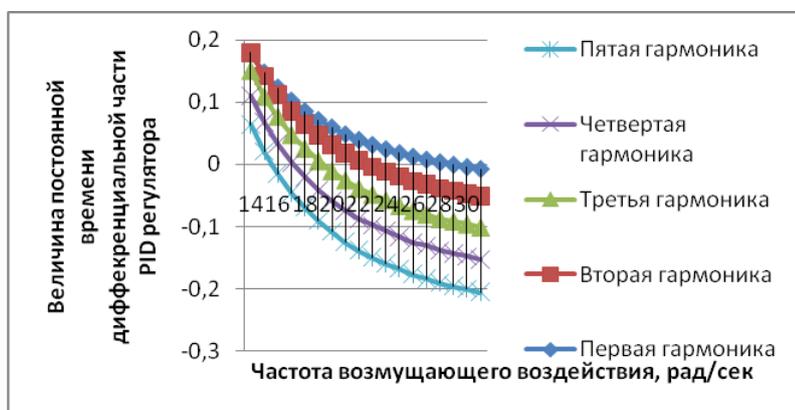


Рисунок 2 - Зависимость параметра постоянной времени дифференциальной части PID-регулятора от частоты возмущающих воздействий (Вариант 1)



Рисунок 3 - Зависимость параметра жесткой отрицательной обратной связи по току двигателя от частоты возмущающих воздействий

от 15 до 30 с⁻¹, величина постоянной времени дифференциальной части PID регулятора располагается в отрицательной части. Настройку регулятора на частоты возмущающего воздействия забоя ниже 15 с⁻¹, проводить нет необходимости т.к., при добыче полезного ископаемого такие частоты обычно отсутствуют.

В связи этим необходимо определить значения PID регуляторов для обоих вариантов настроек на электромеханический резонансный режим работы.

При исследовании первого варианта настройки PID регулятора, настройке пропорциональной и дифференциальной части, были получены величины настроек дифференциальной части PID регулятора при различных значениях внешнего возмущающего воздействия для ряда гармоник (табл.1), (рис. 2) и зависимость параметра жесткой отрицательной обратной связи по току двигателя от частоты возмущающих воздействий (рис. 3).

Анализ графических зависимостей позволяет сделать заключение об отсутствии возможности настройки регулятора на резонансную частоту (кроме первой гармоники) т.к. при различных частотах возмущающего воздействия

Таблица 1 - Параметр дифференциальной части PID регулятора при различных значениях внешнего возмущающего воздействия для ряда гармоник

Частота внешнего возмущающего воздействия забоя, с ⁻¹	Постоянная времени дифференциальной части PID-регулятора				
	Первая гармоника	Вторая гармоника	Третья гармоника	Четвертая гармоника	Пятая гармоника
14	0,177	0,00299	-0,029	-0,041	-0,046
15	0,147	-0,00449	-0,033	-0,042	-0,047
16	0,123	-0,011	-0,035	-0,044	-0,048
17	0,102	-0,016	-0,038	-0,045	-0,049
18	0,085	-0,02	-0,039	-0,046	-0,049
19	0,071	-0,024	-0,041	-0,047	-0,05
20	0,059	-0,027	-0,042	-0,048	-0,05
21	0,048	-0,029	-0,044	-0,049	-0,051
22	0,039	-0,032	-0,045	-0,049	-0,051
23	0,031	-0,034	-0,045	-0,05	-0,052
24	0,024	-0,035	-0,046	-0,05	-0,052
25	0,018	-0,037	-0,047	-0,05	-0,052
26	0,012	-0,038	-0,048	-0,051	-0,052
27	0,00736	-0,039	-0,048	-0,051	-0,053
28	0,00299	-0,041	-0,049	-0,051	-0,053
29	-0,00094	-0,041	-0,049	-0,052	-0,053
30	-0,00449	-0,042	-0,049	-0,052	-0,053
31	-0,00769	-0,043	-0,05	-0,052	-0,053

При исследовании второго варианта настройки PID регулятора, настройке интегральной и дифференциальной части, были получены величины настроек PID регулятора при различных значениях внешнего возмущающего воздействия (табл.2).

Зависимости параметров настроек интегральной части PID регулятора при различных значениях внешнего возмущающего воздействия и параметров постоянной времени дифференциальной части регулятора представлены на рис. 4 и рис. 5.

Анализ представленных зависимостей показал, что использование представленного набора настроек PID регулятора для электромеханического резонансного режима работы ограничено ввиду низких значений частот внешних возмущающих воздействий забоя не превышающих значения 7 с⁻¹. Поэтому необходимо уделить внимание первому варианту настроек PID регулятора (настройкой пропорциональной и дифференциальной части) для электромеханического резонансного режима работы органа резания горной машины.

Таблица 2 - Параметры настроек интегральной части PID регулятора при различных значениях внешнего возмущающего воздействия и параметров постоянной времени дифференциальной части регулятора

Tгг	v	кжт=0.1	кжт=0.5	кжт=1	кжт=2.5	кжт=5	кжт=7.5	кжт=10	кжт=15	кжт=20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6,564	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый
1,3	5,792	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый	мнимый
1,35	5,688	4,811	0,962	0,481	0,192	0,096	0,064	0,048	0,031	0,024
1,5	5,407	26,138	5,228	2,614	1,046	0,523	0,349	0,261	0,174	0,131
1,75	5,019	40,841	8,168	4,084	1,634	0,817	0,545	0,408	0,272	0,204
2	4,703	50,539	10,108	5,054	2,022	1,011	0,647	0,505	0,337	0,253

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,5	4,218	64,396	12,879	6,44	2,576	1,288	0,859	0,644	0,429	0,322
3	3,858	74,818	14,964	7,482	2,993	1,496	0,998	0,748	0,499	0,374
3,5	3,576	83,467	16,693	8,347	3,339	1,669	1,113	0,835	0,556	0,417
4	3,348	91,017	18,203	9,102	3,641	1,82	1,214	0,91	0,607	0,455
4,5	3,159	97,81	19,562	9,781	3,912	1,956	1,304	0,978	0,652	0,489
5	2,999	104,045	20,809	10,404	4,162	2,081	1,387	1,04	0,694	0,52
6	2,74	115,296	23,059	11,53	4,612	2,306	1,537	1,153	0,769	0,576
7	2,538	125,376	25,075	12,538	5,015	2,508	1,672	1,254	0,836	0,627
8	2,376	134,605	26,921	13,46	5,384	2,692	1,795	1,346	0,897	0,673
9	2,241	143,179	28,636	14,318	5,727	2,864	1,909	1,432	0,955	0,716
10	2,126	151,227	30,245	15,123	6,049	3,025	2,016	1,512	1,008	0,756
11	2,028	158,839	31,768	15,884	6,354	3,177	2,118	1,588	1,059	0,794
12	1,942	166,083	33,217	16,608	6,643	3,322	2,214	1,661	1,107	0,83
13	1,866	173,008	34,602	17,301	6,92	3,46	2,307	1,73	1,153	0,865
14	1,798	179,655	35,931	17,965	7,186	3,593	2,395	1,797	1,198	0,898
15	1,738	186,056	37,211	18,606	7,442	3,721	2,481	1,861	1,24	0,93

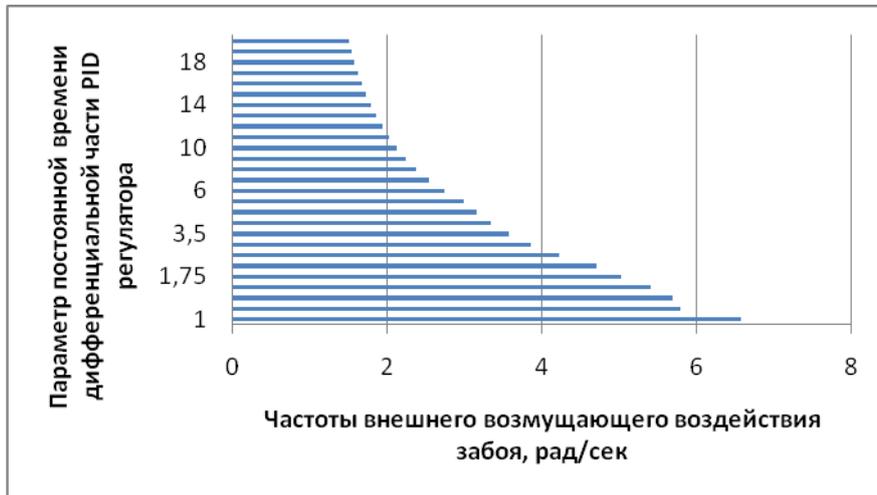


Рисунок 4 - Зависимость параметра постоянной времени дифференциальной части PID регулятора от частоты возмущающих воздействий (Вариант 2)

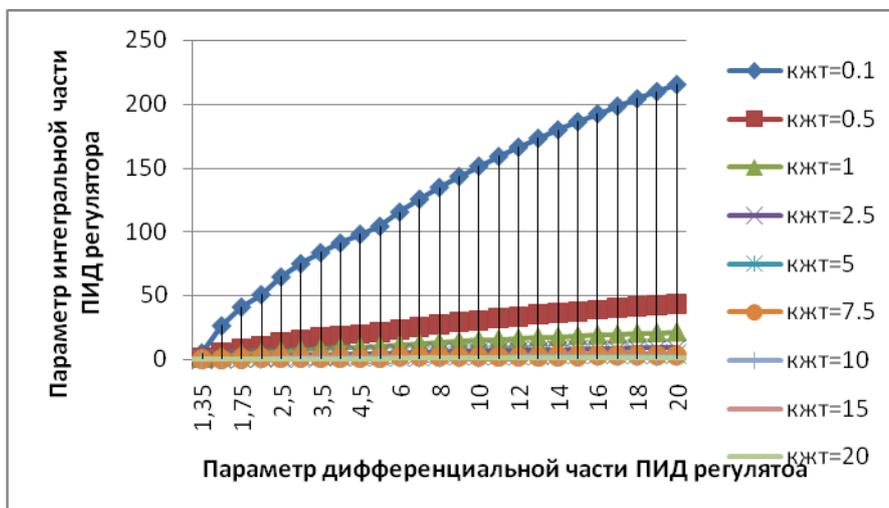


Рисунок 5 - Зависимость параметра постоянной времени интегральной части PID регулятора от частоты возмущающих воздействий

Список литературы

1. Фащиленко В.Н., Решетняк С.Н. Энергоэффективный резонансный режим электромеханических систем органов резания горных машин на базе структур управления с ПИД-регулятором. Горные машины и электромеханика №4 2016 г. стр.
2. Фащиленко В.Н. Теория управляемого электромеханического резонанса. Часть 1. Монография. - Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 101 с.
3. Ляхомский А.В., Фащиленко В.Н. Теория и практика разработки энергоэффективного электропривода вращателя станков шарошечного бурения // Труды VII Международной (XVIII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-12. – Иваново: ФГБОУ «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», 2012. – С.579 – 583.

Фащиленко Валерий Николаевич – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект д.4. vnf48@mail.ru

Решетняк Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект д.4. reshetniak@inbox.ru

THE RATIONALE FOR CUSTOMIZATION OF THE PID REGULATOR ON ENERGY EFFICIENT RESONANT MODE

Fashilenko, V. N., Reshetnyak S. N.
Russia, Moscow, MISIS

The paper presents the possibility of using energy-efficient Electromechanical resonance method of destruction of the mountain massif, with the aim of reducing the cost of production of the mineral as open-pit and underground method. Modern mining equipment, in most cases, has an adjustable electric drive system of the Executive bodies, the management of which is carried out with use of frequency Converter in the composition, which includes a PID-regulator. Features settings for this mode of operation of the actuator system presented in the publication.

Key words: PID controller; the electric drive system; energy efficiency; resonant mode.

Bibliography

1. Fashilenko V.N., Reshetnyak S.N. Energy efficient resonant mode of Electromechanical system of bodies cutting mining machines on the basis of the governance system with the PID regulator. Mining machinery and electromechanics, No. 4. 2016
2. Fashilenko V.N. The theory of controlled Electromechanical resonance. Part 1. Monograph. - Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 101 p
3. Lakhomsky A.V., Fashilenko V.N. Theory and practice of development of an energy efficient motor rotator rotary drilling // proceedings of the VII International (XVIII all-Russian) scientific-technical conference on automated electric drive of AEP-12. – Ivanovo: FEDERAL state budget institution "Ivanovo state power University named after V. I. Lenin", 2012. – P. 579 – 583.

Fashilenko Valery Nikolaevich – doctor. tekhn. Sciences, Professor of "energy and Energy efficiency mining industry" "MISIS", 119991 Moscow Leninskiy Prospekt d. 4. vnf48@mail.ru

Reshetnyak Sergei Nikolaevich – Cand. tekhn. D., associate Professor of the Department "energy and Energy efficiency mining industry" "MISIS", 119991 Moscow Leninskiy Prospekt d. 4. reshetniak@inbox.ru

УДК 62-546

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

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.

The optimum measure of assessing the effectiveness and position control is described based on its automatic control system.

Keywords: automatic control, evaluation, quality evaluation criteria.

Часто использование автоматического управления невозможно из-за необходимости ручной настройки коэффициентов ПИД регулирования. Из-за этого снижается оперативность выполнения производственных процессов и точность их работы. Цель: исследовать структуру системы автоматического управления с применением прецизионной меры оценки регулирования.

Если входная и выходная величина сигнала регулятора связаны простым соотношением $Y=K \cdot (E-U)$, где E – это установившееся значение, а U – значение в данный момент времени, такой регулятор называется пропорциональным. Это стандартная и самая распространённая мера оценки качества регулирования. Но достоверность и объективность этой оценки условны из-за отсутствия оптимального эквивалента.

Относительная погрешность при стандартном критерии находится по формуле:

$$\varepsilon_1 = \frac{E-U}{E}. \quad (1)$$

В предлагаемом способе автоматического управления системами выходную переменную $\varepsilon(E, U)=\varepsilon$ исполнительного механизма подают на вход управляемого объекта, измеряют фактическую величину U выходной переменной управляемого объекта, которую вместе с командной величиной входной переменной E управляемого объекта используют для формирования управляющего сигнала $\varepsilon(U_2, E)=\varepsilon_2$. Его подают на вход исполнительного механизма, причём используют отрицательную обратную связь по выходной переменной U управляемого объекта. Для автоматизации регулирования в даптивном диапазоне выходную переменную U управляемого объекта в цифровом эквиваленте U_2 подают на вход блока контроллера, управляющий сигнал $\varepsilon(U_2, E)=\varepsilon_2$ которого соответствует желаемым свойствам выходной переменной U управляемого объекта.

Алгоритм вычисления управляющего сигнала, в цифровом $\varepsilon(U_2, E)=\varepsilon_2$ и тождественном аналоговом $\varepsilon(U, E)=\varepsilon$ представлении, выполняющего функцию автоматического регулятора (погрешности мультипликативно-симметричного критерия МСК), оценивают по относительной погрешности:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{X_{CF}}{X_{CA}} \right)^2; \quad (2)$$

где $(X_{CF}/X_{CA})^2$ – отношение произведения случайных величин переменных PU_{iK} их нормируемому эквиваленту – $\max \Pi = X_{CA}$, для $i = 1, 2$, т.к. используется $n=2$ переменных $U_1=E$ и $U_2=U$, соответствует $(X_{CA})^2$.

Их физический смысл тождественен квадрату средней геометрической оценки:

$$(X_{CF})^2 = \left(\sqrt[2]{\prod_{j=1}^n U_{ji}} \right)^2 = (\sqrt{EU})^2 = EU, \quad (3)$$

произведения переменных сигналов E и U , а также квадрату среднего арифметического:

$$(X_{CA})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_{ji} \right)^2 = \left(\frac{1}{2} (E+U) \right)^2. \quad (4)$$

Раскрывая значения X_{CF} и X_{CA} соответственно (3) и (4), преобразуем (2):

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{\sqrt{EU}}{\frac{1}{2^2} (E+U)^2} \right)^2.$$

Приведём выражение к общему знаменателю, раскроем скобки и объединим подобные члены:

$$\varepsilon = \frac{\frac{1}{2^2}(E^2 - 2EU + U^2)}{\frac{1}{2^2}(E + U)^2}.$$

Выражение $(E^2 - 2EU + U^2)$ представляем собой квадрат разности, а $\frac{1}{2^2}$ сокращаются в числителе и знаменателе, поэтому получаем относительную погрешность МСК в виде квадрата отношения разности и суммы командной входной E и выходной переменных U управляемого объекта:

$$\varepsilon = \frac{(E - U)^2}{(E + U)^2}. \quad (5)$$

На рис.1 представлена структурная схема способа.

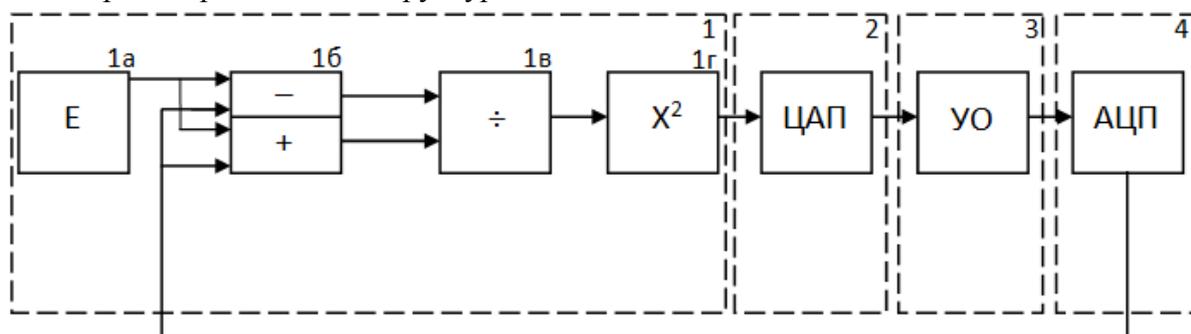


Рисунок 1 - Структурная схема системы управления

На рис.1 выходную переменную E блока задатчика командной величины 1а подают на вход сумматоров 1б. Измеряют фактическую величину выходной переменной U (тождественной цифровому эквиваленту U_2) управляемого объекта 3, которую вместе с величиной входной переменной E контроллера 1 подают на сумматоры 1б. Сигналы $E-U$ и $E+U$ подают на делитель 1в, а затем на блок возведения в степень 1г, которые используют для формирования управляющего сигнала ε (4). Управляющий сигнал $\varepsilon(U_2, E)$ подают на вход исполнительного механизма – ЦАП 2. Сигнал с исполнительного механизма ε подаётся на управляемый объект 3. Дополнительно используют отрицательную обратную связь по выходной переменной управляемого объекта 3. Управляющее воздействие, соответствующее желаемым свойствам выходной переменной U управляемого объекта 3, реализуют мультипликативно-симметричным критерием погрешности (1). Блок 1 на рис. 1 соответствует квадрату отношения разности и суммы входной и выходной переменных управляемого объекта U и выполняет роль автоматического регулятора. МСК адаптируется по диапазону за счёт оценки фактических величин входной E и выходной переменной U (2) к нормированному эквиваленту их максимальных величин (3) в каждый момент времени. Сигнал U с управляемого объекта 3 преобразуют АЦП 4 в цифровой эквивалент (сигнал U_2) и подают на вход сумматоров 1б.

Конкретное исполнение блоков может иметь следующие признаки (рис. 1): блок 1 является контроллером, необходим для задания сигнала E и формирования управляющего сигнала $\varepsilon(U_2, E) = \varepsilon_2$. Блок 2 представляет собой исполняющий механизм (в виде ЦАП) для преобразования ε_2 в аналоговый сигнал ε (4). Блок 3 является управляемым объектом. Сигнал U с выхода управляемого объекта 3 управления подаётся на вход АЦП 4, с которого сигнал в цифровом эквиваленте U_2 поступает на блок контроллера (1).

На рис. 2 представлена функциональная схема предлагаемой системы.

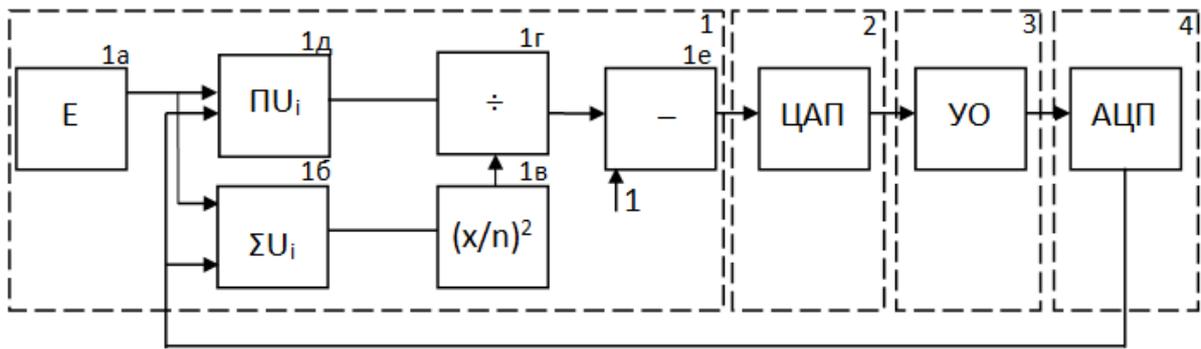


Рисунок 2 - Функциональная схема системы управления

На рис. 2: контроллер 1 состоит из задатчика командной величины (1а), подключенного ко входам умножителя (1д) и сумматора (1б), выход которого объединен со входом квадратора (1в) и через делитель (1г) связан с выходом умножителя 1д. Выход делителя (1г) соединён через блок вычитания (1е) с выходом контроллера 1.

Входную переменную E задатчика командной величины 1а подают на вход умножителя 1д и сумматора 1б. Сигнал $\Pi = EU$ с умножителя 1д подают на блок деления 1г, а сигнал $\Sigma = E + U$ с сумматора 1б подают на квадратор 1в и нормируют в степень 2. Затем оба этих сигнала поступают на делитель (1г), а их отношение вычитают из единицы в блоке 1е, т.е. формируют управляющий сигнал (2).

Результаты компьютерного моделирования зависимости амплитудно-временных динамических характеристик 1 и 2, соответствующих стандартному (1) и прецизионному (5) критериям, систематизированы на рис. 3.:

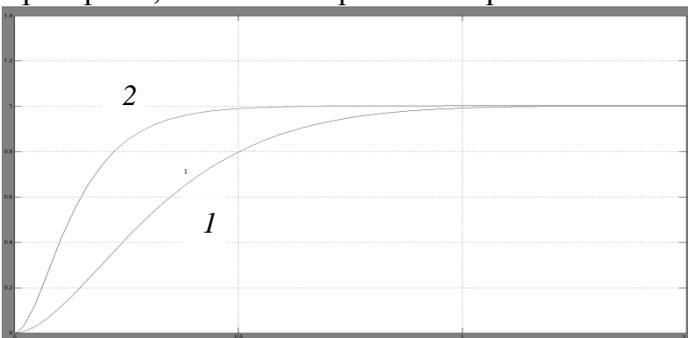


Рисунок 3 - Характеристики регулирования
1 – стандартный, 2 – прецизионный критерий

Качественный анализ рис. 3 показывает повышение эффективности выхода на режим характеристик от стандартного 1 до прецизионного 2 критерия.

Выводы

1. Введена новая, прецизионная мера оценки регулирования.
2. Выявлен наиболее оптимальный эквивалент меры оценки – прецизионный критерий, который обладает наименьшей погрешностью и самым малым временем регулирования.

регулирования.

3. Построена функциональная схема и предложена структура системы автоматического управления, основанной на прецизионном критерии оценки качества регулирования.

4. Построена динамическая характеристика погрешности регулирования для оценки параметров регулирования, по графикам погрешности выявлена эффективность критериев, что позволило сделать выводы о прецизионном критерии, как о самом эффективном и наиболее оптимальном для процесса регулирования.

Список литературы

1. Коробов А.А., Гамова Л.Г., Глинкин Е.И. Меры оценок эффективности регулирования. Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – Тамбов, 2015. – Т. 20. – Вып. 4. 920– 226 с.
2. Патент № 2571570 РФ, МПК G05B 17/00. Способ и система автоматического управления / А.А. Коробов, Е.И. Глинкин. – М.: ФИПС, опублик. 20.12.2016.
3. Коробов А.А., Глинкин Е.И., Шумарин В.Ф. Эффективность симметричного мультипликативного регулирования. 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. – 169 с.

4. Коробов А.А., Глинкин Е.И. Интеллектуальная технология оценки регулирования. Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2014 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, 2014.

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

Коробов Артём Андреевич - Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: korobov1991@mail.ru

Korobov Artyom Andreevich - Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, graduate of Bio-medical Technics Department, e-mail: korobov1991@mail.ru

УДК 620.179.1.082.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ

Захаров М.Г.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Рассмотрен метод определения интегральных электрических параметров характеризующих техническое состояние трибосистем при выполнении функционального диагностирования. В качестве схемы замещения трибосистемы использован двухэлементный двухполюсник, состоящий из последовательного соединения проводимости и источника ЭДС.

Ключевые слова: трибосистема, проводимость, источник ЭДС, диагностирование.

Современные подходы по минимизации энергетических потерь и ресурсосбережению носят многоплановый, комплексный характер и затрагивают, в том числе и сферы использования трибосистем. Их эксплуатация в ряде случаев предполагает функциональное диагностирование, которое может быть выполнено, например, электропараметрическими методами по интегральным электрическим параметрам [1].

Реализация указанных методов основана на включении трибосистемы в единый измерительный контур со средством диагностирования. При этом трибосистема представляется схемой замещения, параметры элементов которой используются в качестве диагностических. Одноэлементная резистивная схема замещения не позволяет учесть информацию, которую содержит ЭДС генерируемая трибосистемой, а также её влияние на результат диагностирования [2, 3].

Представим схему замещения трибосистемы при функциональном диагностировании из последовательного соединения проводимости и источника ЭДС изменяющихся во времени с учетом их тесной корреляционной связи

$$g_x = g_o(1 + m_g \cos \omega_g t),$$

где $g_o, g_m, \omega_g, t, m_g$ – соответственно постоянная составляющая, амплитуда, угловая частота, время и коэффициент вариации проводимости, $m_g = g_m/g_o$,

$$e_x = e_o(1 + m_e \cos \omega_e t),$$

где e_o, e_m, ω_e, m_e – соответственно постоянная составляющая, амплитуда, угловая частота

и коэффициент вариации ЭДС, $m_e = e_m/e_o$.

Представление трибосистемы в виде двухэлементной схемы замещения позволяет использовать g_o, g_m, e_o, e_m в качестве диагностических параметров. Не вдаваясь в подробности соотношения этих параметров с физическими характеристиками трибосистемы, остановимся на их определении.

При поочередном тестовом воздействии $E_1 = \text{const}$, $E_2 = \text{const}$ ток, протекающий в измерительном контуре, в первом приближении представляется в виде:

$$i_{1(2)} = g_o (1 + m_g \cos \omega_g t) \cdot [E_{1(2)} - e_o (1 + m_e \cos \omega_e t)],$$

а его среднее значение при времени интегрирования $T_1 = 2\pi/\omega_g = 2\pi/\omega_e = 2\pi/\omega$

$$\bar{i}_{11(12)} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} i_{1(2)} dt = g_o [E_{1(2)} - e_o (1 + 0,5m_g m_e)],$$

и, соответственно при времени интегрирования $T_2 = \pi/2\omega_g = \pi/2\omega_e = \pi/2\omega$

$$\bar{i}_{21(22)} = \frac{1}{T_2} \int_0^{T_2} i_{1(2)} dt = g_o \pi^{-1} [E_{1(2)} (2m_g + \pi) - 0,5e_o (4m_e + 4m_g + 2\pi + m_e m_g \pi)].$$

Совместное решение приведенных уравнений определяющих значения среднего тока \bar{i}_{11} , \bar{i}_{12} , \bar{i}_{21} и \bar{i}_{22} позволяет найти искомые параметры

$$g_o = (\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12}) / (E_1 - E_2),$$

$$m_g = -[(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12} - \bar{i}_{21} + \bar{i}_{22})\pi] / [2(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12})],$$

$$e_o = \frac{(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12} - \bar{i}_{21} + \bar{i}_{22}) \cdot [E_2 (\bar{i}_{11} - \bar{i}_{21}) + E_1 (\bar{i}_{22} - \bar{i}_{12})] \pi^2 - 8(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12}) \cdot (E_2 \bar{i}_{11} - E_1 \bar{i}_{12})}{(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12} - \bar{i}_{21} + \bar{i}_{22})^2 \pi^2 - 8(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12})^2},$$

$$m_e = \frac{4(E_2 - E_1) \cdot (\bar{i}_{12} \bar{i}_{21} - \bar{i}_{11} \bar{i}_{22}) \pi}{(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12} - \bar{i}_{21} + \bar{i}_{22}) \cdot [E_2 (\bar{i}_{11} - \bar{i}_{21}) + E_1 (\bar{i}_{22} - \bar{i}_{12})] \pi^2 - 8(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12}) \cdot (E_2 \bar{i}_{11} - E_1 \bar{i}_{12})}.$$

Амплитудные значения проводимости и ЭДС с учетом полученных формул можно выразить в следующем виде:

$$g_m = m_g g_o = 0,5 \pi (\bar{i}_{12} + \bar{i}_{21} - \bar{i}_{22} - \bar{i}_{11}) / (E_1 - E_2),$$

$$e_m = m_e e_o = 4(E_2 - E_1) \cdot (\bar{i}_{12} \bar{i}_{21} - \bar{i}_{11} \bar{i}_{22}) \pi / [(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12} - \bar{i}_{21} + \bar{i}_{22})^2 \pi^2 - 8(\bar{i}_{11} - \bar{i}_{12})^2].$$

Предложенный метод определения интегральных диагностических параметров g_o, g_m, e_o, e_m позволяет повысить достоверность диагностирования трибосистем. Это обеспечивается уменьшением погрешности измерения проводимости и получением дополнительной информации за счет измерения параметров ЭДС. Следствием указанного является возможность снижения затрат связанных с обслуживанием и ремонтом оборудования конструкции которых содержат в том или ином виде трибосистемы.

Список литературы

1. Захаров, М.Г. Оценка электрических параметров тонких пленок смазочных материалов в трибосистемах [Текст] / М.Г. Захаров // Энерго- и ресурсосбережение XXI век.: материалы XII международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2014. – С.156-157.

2. Захаров, М.Г. Особенности диагностирования трибосистем электропараметрическими методами [Текст] / М.Г. Захаров // ОрёлГТУ. – Серия Машиностроение. Приборостроение. – Орёл: ОрёлГТУ, 2006. – №1. – С. 46–50.

3. Захаров, М.Г. Диагностирование трибосистем в условиях помех электропараметрическими методами [Текст] / М.Г. Захаров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2008, №4-2. – С. 77–82.

Захаров Михаил Георгиевич - доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»; тел. (4862) 41-98-76, E-mail: pms35@ostu.ru

DETERMINATION OF INTEGRATED ELECTRIC PARAMETERS TRIBOSYSTEM AT FUNCTIONAL DIAGNOSING

Zakharov M.G.

Russia, g. Orel,

FBGOU VO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva»

The method of determination of integrated electric parameters characterizing a technical condition tribosisty is considered at performance of functional diagnosing. As an equivalent circuit тpибocиcтeмы the two-element two-pole consisting of consecutive connection of conductivity and a source of EDS is used.

Keywords: tribosystems, conductivity, EDS source, diagnosing.

Bibliography

1. Zaharov, M.G. Ocenkajelektricheskixparametrovtonkihplenoksmazochnyhmaterialovtribosistemah [Tekst] / M.G. Zaharov // Jenergo- iresursosberezhenieXXIvek.:materialyXIImezhdunarodnojnauchno-prakticheskojinternet-konferencii. – Orjol: Gosuniversitet-UNPK, 2014. – S.156-157.

2. Zaharov, M.G. Osobnostidiagnostirovanijatribosistemjelektroparametricheskimi metodami [Tekst] / M.G. Zaharov // OrjolGTU. – SerijaMashinostroenie. Priborostroenie. – Orjol: OrjolGTU, 2006. – №1. – S. 46–50.

3. Zaharov, M.G. Diagnostirovanietribosistemvuslovijahpomehjelektroparametricheskimi metodami [Tekst] / M.G. Zaharov // Fundamental'nyeiprikladnyeproblemytehnikiitehnologii, 2008, №4-2. – S. 77–82.

Zakharov Mikhail Georgiyevich, the associate professor «Instrumentation, metrology and certification» FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; Ph. (4862) 41-98-76, E-mail: zamig_05@mail.ru.

УДК 620.179.1.082.7

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРИБОСИСТЕМ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Захаров М.Г.

Россия, г. Орёл,

ФБГОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Рассмотрено измерение интегральных электрических параметров трибосистем функционирующих в режиме граничной смазки. Приведена структурная схема устройства функционального диагностирования и описан принцип её действия.

Ключевые слова: трибосистема, проводимость, диагностирование.

Функциональное диагностирование трибосистем позволяет существенно повысить эффективность их использования. При этом в ряде ответственных применений требуется их постоянный мониторинг. Это предполагает применение встроенных средств диагностирования, принцип действия которых может базироваться на основе электропараметрических методов. Так же в ряде случаев не требуется глубокого мониторинга, что позволяет использовать такие интегральные диагностические параметры, как например постоянную составляющую g_0 и амплитуду g_m или коэффициент вариации m_g первой гармоники проводимости [1]

Измерение указанных параметров базируется на том, что после фильтрации ток, характеризующий изменение проводимости рабочих зон трибосистемы, несет информацию о постоянной составляющей и первой гармонике проводимости

$$i_x = E_o g_o (1 + m_g \cos \omega t),$$

где E_o , g_o , g_m , ω , t , m_g – соответственно тестовая ЭДС источника, постоянная составляющая, амплитуда, угловая частота, время, коэффициент вариации проводимости, $m_g = g_m/g_o$ [2].

В таком случае из последнего выражения при времени интегрирования $\tau_1 = 2\pi/\omega_g$ и $\tau_2 = 0,5\pi/\omega_g$ получим средний ток в следующем виде:

$$\begin{cases} I_{x1} = \frac{1}{\tau_1} \int_0^{\tau_1} i_x dt = g_o E_o, \\ I_{x2} = \frac{1}{\tau_2} \int_0^{\tau_2} i_x dt = g_o E_o (2m_g + \pi)/\pi. \end{cases}$$

Совместное решение приведенных уравнений системы позволяет определить на основе измеренных значений среднего тока I_{x1} и I_{x2} искомые интегральные диагностические параметры, а именно g_o , m_g , g_m :

$$g_o = I_{x1}/E_o, \quad m_g = 0,5\pi(I_{x2} - I_{x1})/I_{x1}, \quad g_m = 0,5\pi(I_{x2} - I_{x1})/E_o.$$

Средство диагностирования для определения интегральных диагностических параметров на основе изложенного подхода функционирует следующим образом (рис.1).

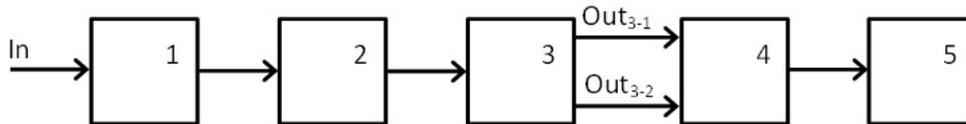


Рисунок 1 – Схема структурная средства диагностирования

1 – преобразователь входной; 2 – фильтр низких частот; 3 – блок интеграторов; 4 – микроконтроллер; 5 – дисплей цифровой

Объект диагностирования подключается к входу In средства диагностирования. Блок 1 одновременно обеспечивает подачу на объект высокостабильного тестового напряжения и преобразование проводимости объекта в пропорциональный электрический сигнал, спектр которого после прохождения блока 2 ограничивается нулевой и первой гармоникой. На выходах Out₃₋₁ и Out₃₋₂ блока 3 формируются сигналы, соответствующие времени интегрирования τ_1 и τ_2 , затем поступающие на аналоговые входы блока 4, где осуществляется дальнейшее преобразование сигналов и расчет интегральных диагностических параметров и их статистических характеристик. На дисплей блока 5 выводятся результаты расчетов блока 4.

Простота алгоритма измерения и приведенных расчетных соотношений позволяет реализовать средство диагностирования в случае, когда не требуется расчета статистических характеристик интегральных диагностических параметров еще по более простым схемам, что приводит к существенному снижению затрат на диагностирование.

Список литературы

1. Захаров, М.Г. Эффекты при диагностировании трибосистем / М.Г. Захаров // Эффективность и качество в машиностроении и приборостроении. Сборник трудов II международной научно-технической конференции. – Карачев, 23-25 сентября 2011 г. // Под общ. ред. Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2011. – С. 133-142.
2. Захаров, М.Г. Оценка электрических параметров тонких пленок смазочных материалов в трибосистемах [Текст] / М.Г. Захаров // Энерго- и ресурсосбережение XXI век.: материалы XII международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2014. – С.156-157.

Захаров Михаил Георгиевич - доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»; тел. (4862) 41-98-76, E-mail: pms35@ostu.ru

MEASUREMENT OF INTEGRATED ELECTRIC PARAMETERS TRIBOSYSTEM FUNCTIONING IN THE MODE OF BOUNDARY GREASING

Zakharov M. G.

Russia, g. Orel,

FBGOU VO «Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva»

Measurement of integrated electric parameters tribosystem functioning in a mode of boundary greasing is considered. The block diagram of the device of functional diagnosing is provided and the principle of its action is described.

Keywords: tribosystem, conductivity, diagnosing.

Bibliography

1. Zaharov, M.G. Jeffekty pri diagnostirovanii tribosistem / M.G. Zaharov // Jeffektiv-nost' i kachestvo v mashinostroenii i priborostroenii. Sbornik trudov II mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Karachev, 23-25 sentjabrja 2011 g. // Pod obshh. red. Ju.S. Stepanova. – Orjol: Gosuniversitet-UNPK, 2011. – S. 133-142.

2. Zaharov, M.G. Ocenka jelektricheskikh parametrov tonkih plenok smazochnyh materialov v tribosistemah [Tekst] / M.G. Zaharov // Jenergo- i resursosberezhenie XXI vek.: materialy XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii. – Orjol: Gosuniversitet-UNPK, 2014. – S.156-157.

Zakharov Mikhail Georgiyevich, the associate professor «Instrumentation, metrology and certification» FGBOU VO «OGU imeni I.S. Turgeneva»; Ph. (4862) 41-98-76, E-mail: zamig_05@mail.ru

УДК 62-53

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНЫХ МАШИН ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Бабин А.Ю., Савин Л.А., Шутин Д.В.

Россия, г. Орёл, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности роторных машин за счет использования активных опор скольжения, в которых путем регулирования давления подачи смазывающего материала реализовано управление положением ротора в опоре. Использование интеллектуальных технологий в традиционных роторных машинах продиктовано как жесткими требованиями к точности изготовления и механической обработки деталей машин, так и высокими требованиями к их энергоэффективности. Очевидно, что введение критерия эффективности применительно к траекториям роторов подшипникам скольжения предполагает как развитие математического аппарата для моделирования систем с учетом различного типа воздействий на ротор, поддерживаемый реакцией смазочного слоя опоры, так и изучение различных способов улучшения характеристик опор. Предложен способ анализа траектория движения на основе этого критерия и показаны результаты моделирования активной опоры скольжения, которые подтверждают возможность значительно снизить потери мощности на трение и амплитуду колебаний ротора в опоре.

Ключевые слова: активные опоры скольжения, роторная динамика, параметры роторной системы, энергоэффективность, мехатроника, потери мощности на трение

Подшипники жидкостного трения с активным управлением представляют собой современное поколение подшипников с жидкостной смазкой. С развитием роторных машин значительно ужесточались не столько требования надежности, долговечности и относительной простоты, сколько требования эффективности. КПД как высокоскоростных легких роторных машин, так и тяжелых роторов с низкой рабочей частотой вращения. Зачастую единственной возможностью эффективно передавать вращение и одновременно обеспечивать определенный уровень виброустойчивости является использование опор роторов жидкостного трения. Такой тип опор изучается в рамках исследований как гидродинамики, так и роторной динамики. В виду того, что опоры скольжения являются нестандартными деталями любой роторной системы, способы конструкционного улучшения

характеристик опоры, влияние геометрии опорной поверхности и способы ее обработки или напыления на динамику всей роторной системы – задачи, которые ставятся каждый раз при проектировании роторно-опорного узла, в основе которого лежит подшипник скольжения.

Однако, в настоящее время информационные технологии становятся неотъемлемой частью различных механизмов, что позволяет оценить разработанную математическую модель путем анализа реальных траекторий ротора и параметров системы и сравнения их с теоретическими. В частности, диагностика роторных систем, развитие которой сопровождалось развитием преобразующих устройств и программных способов обработки электрических сигналов, стала одним из этапов развития так называемых активных опор (рисунок 1).

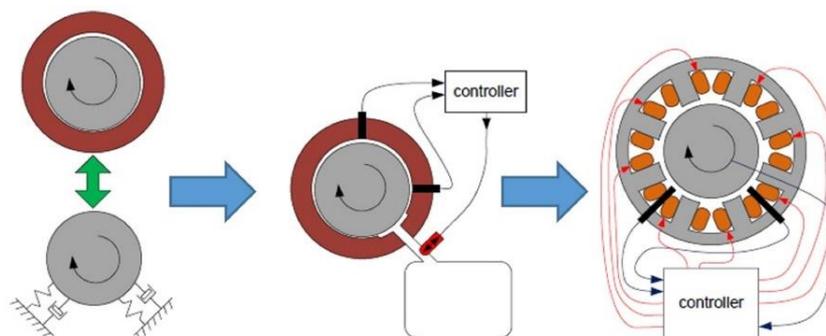


Рисунок 1 - Подшипники от пассивных до полностью активных

Возможность управлять положением ротора, жесткостью опоры [1,2] при использовании подшипников трения связана как с развитием устройств управления, например, сервоклапанами или пьезоактуаторами, так и с усложнением математического аппарата для моделирования работы роторной системы с учетом сложной геометрии поверхности втулки или пяты опоры и явлений в смазочном слое, например, кавитации и турбулентности, а также, влияния температурных эффектов на параметры смазывающего материала. Влияние таких эффектов на работу опорного узла и роторной системы изучено достаточно [3-9] для возникновения предпосылок эффективного управления параметрами системы, понижения уровня вибраций ротора и улучшения характеристик роторно-опорного узла.

Активные опоры позволяют в реальном времени адаптировать свои характеристики к изменяющимся условиям функционирования и таким образом добиваться улучшения работы роторной машины. Такое улучшение в первую очередь заключается в снижении энергетических потерь в процессе вращения ротора. В активных подшипниках жидкостного трения это достигается в результате анализа текущего движения ротора коррекцией траекторий движения ротора. Данный процесс содержит в себе несколько этапов. На первом этапе определяются параметры текущего движения ротора, в том числе тип траектории.

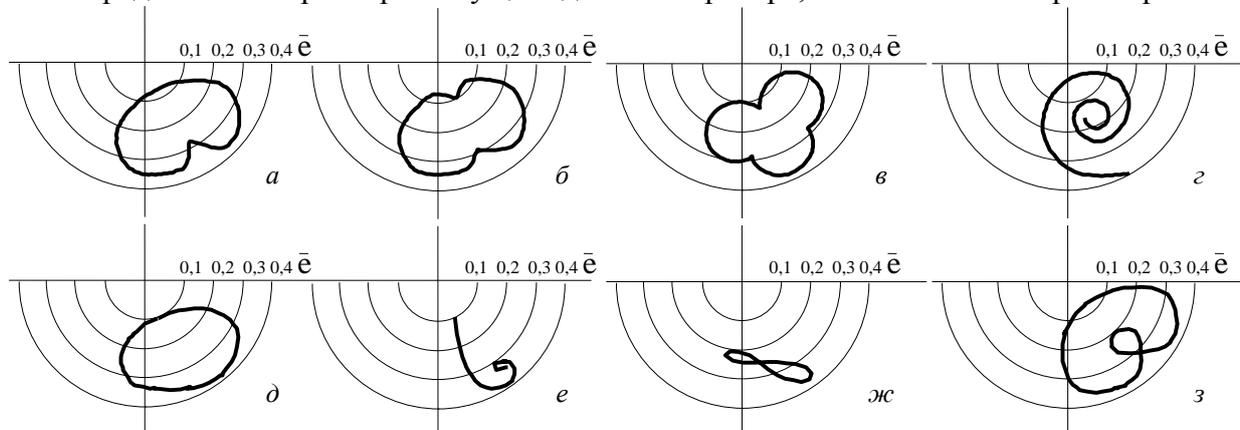


Рисунок 2 - Виды траекторий движения центра цапфы

В зависимости от характера действующих на ротор сил можно выделить следующие основные виды траекторий и состояний устойчивости роторной системы:

1) точечно-устойчивое состояние (фокус) (рис. 2, е). Такую траекторию описывает центр цапфы сбалансированного ротора и останавливается на кривой подвижного равновесия;

2) орбитально-устойчивое состояние (устойчивый предельный цикл), при котором центр цапфы описывает повторяющиеся траектории эллиптического вида (рис. 2, д). Этот вид траекторий характерен для несбалансированного ротора, совершающего вынужденные колебания под действием центробежной нагрузки; геометрия эллипса определяется соотношением силы тяжести и нагрузки от дисбаланса;

3) «странный образ» – неустойчиво-ограниченное состояние ротора, которое характеризуется незамкнутой, развивающейся в ограниченной области плоскости радиального зазора, траекторией сложной формы; свидетельствует о наличии в системе самовозбуждающихся колебаний ограниченной амплитуды, обусловленных нелинейными свойствами несущего слоя; ротор сохраняет свою работоспособность;

4) замкнутые кривые сложной формы, похожие на кардиоиду (рис. 2, а), разнообразные эпициклоиды (рис. 2, б и в), «улитку Паскаля» (рис. 2, г), наклоненную цифру «8» (рис. 2, ж) и т. д. В этом случае ротор подвержен действию автоколебаний с частотой прецессии Ω и наложенным на них синхронным колебаниям от дисбаланса с частотой ω (бигармонические колебания);

5) неустойчиво-неограниченное состояние, при котором ротор работает в неустойчивой области, а траектория движения цапфы представляет собой разворачивающуюся спираль, стремящуюся к границам зазора (рис. 2, з) [5].

Как показано в [10], функциональным назначением любой роторной системы передача энергии полученной от привода к исполнительному органу, очевидно, эта энергетическая характеристика может быть представлена как кинетическая энергия вращательного движения:

$$T_{eff} = \frac{J\omega^2}{2};$$

где J – момент инерции ротора относительно оси вращения; ω – угловая скорость вращения ротора.

При вращении ротора в подшипниках жидкостного трения диссипация энергии происходит за счет двух составляющих: (1) рассеивание энергии при вращении, по сути работа вязких сил смазочного слоя на угловом перемещении A_{dis}^{rot} ; (2) рассеяние энергии при колебаниях, по сути работа сил на траекториях, рассмотренных выше, цапфы ротора A_{dis}^{disp} , данные величины могут быть оценены, следующим образом:

$$A_{dis}^{rot} = \int_0^{\varphi^*} M_{fr} d\varphi; \quad (1)$$

$$A_{dis}^{disp} = \int_s \vec{R} d\vec{s}; \quad (2)$$

где M_{fr} – момент трения в подшипнике жидкостного трения; \vec{R} – вектор реакции в подшипнике жидкостного трения; $d\vec{s}$ – единичный вектор касательная к траектории (s) центра цапфы ротора в подшипнике; φ^* – угол поворота ротора относительно оси вращения, пройденный за время движения по траектории.

Тогда для любой замкнутой траектории можно ввести следующий параметр её энергоэффективности:

$$E_{eff} = \frac{A_{dis}^{rot} + A_{dis}^{disp}}{t^*};$$

$$\int_0^{t^*} T_{eff} dt$$

где t^* – характерное время, которое следует подбирать таким образом, чтобы описать

полностью период максимальный траектории.

Из задачи поиска оптимальной траектории вытекает задача управлением параметрами ротора, что в активных опорах реализуется:

1) посредством изменения величины и конфигурации зазора между ротором и опорной поверхностью (например, активные подшипники с качающимися колодками)

2) посредством изменения реологических свойств смазочной жидкости в отдельных зонах опорной поверхности (например, подшипники с магнито-реологической смазкой);

3) посредством изменения давления подачи смазочного материала в зону трения (например, активные гидростатодинамические, или гибридные, опоры). Из перечисленных такой способ является конструктивно наиболее простыми. Активный гибридный подшипник представляет собой, по сути, традиционный гибридный подшипник, в котором дополнительно установлены устройства для регулирования давления подачи смазочного материала в зону трения.



Рисунок 3 – Концептуальная модель мехатронной системы

1 – корпус подшипника, 2 – втулка опоры скольжения, 3 – ротор, 4 – жиклеры подачи смазки, 5 – преобразователи

Концептуальная модель мехатронной системы, позволяющей корректировать траекторию движения ротора показана на рисунке 3 наряду с основными элементами активной опоры. Таковыми являются преобразователи перемещения 5 и штуцеры подачи смазки 4, установленные на традиционную втулку подшипника скольжения 2, вставленную в корпус 1. Перемещения ротора 3

отслеживаются по двум координатам, что позволяет получить перемещения центра цапфы реального ротора и сравнить его с результатами моделирования. Результаты моделирования работы описанной в [10] системы представлены на рисунке 4.

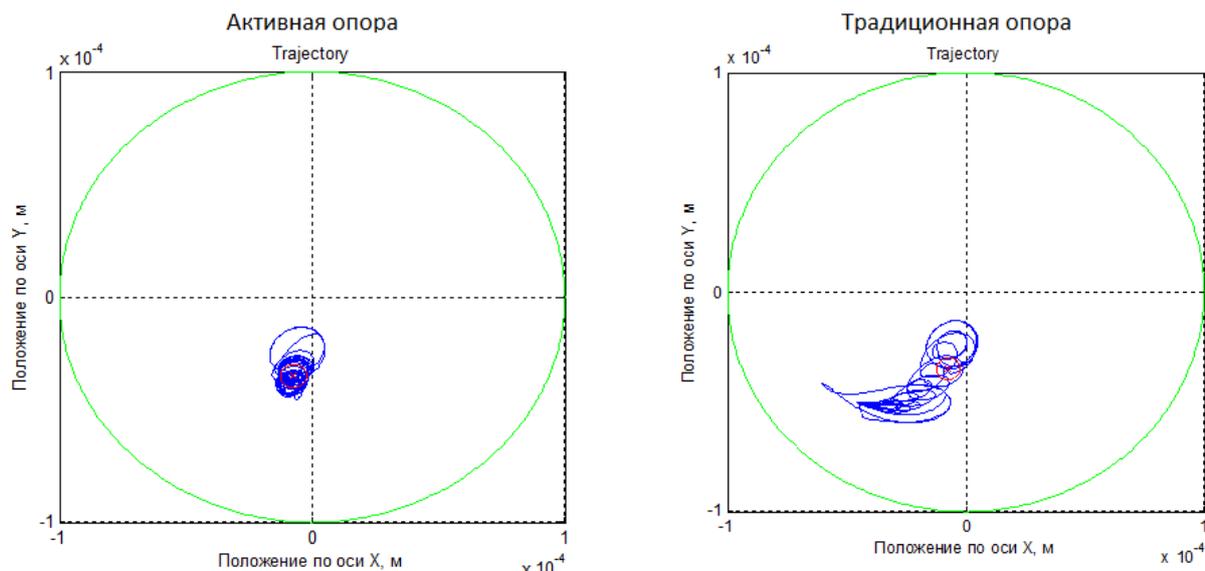


Рисунок 4 - Траектории движения центра цапфы ротора в активном и пассивном гибридном подшипниках

Потери мощности можно значительно снизить путем варьирования коэффициента усиления системы управления, что показано в [11]. На рисунке 5 можно отметить, что с

увеличением коэффициента усиления наблюдается уменьшение потерь мощности.

Задача совершенствования роторных машин и агрегатов тесно связана с разработкой новых видов опорных узлов. Значительным потенциалом в этой области обладают активные подшипники жидкостного трения. При относительной простоте конструкции и эксплуатации они позволяют реализовывать активное управление перемещениями ротора в опоре. Современные средства активного управления позволяют в режиме реального времени корректировать траектории движения ротора с целью обеспечения наилучшей энергоэффективности процесса его вращения. В первую очередь

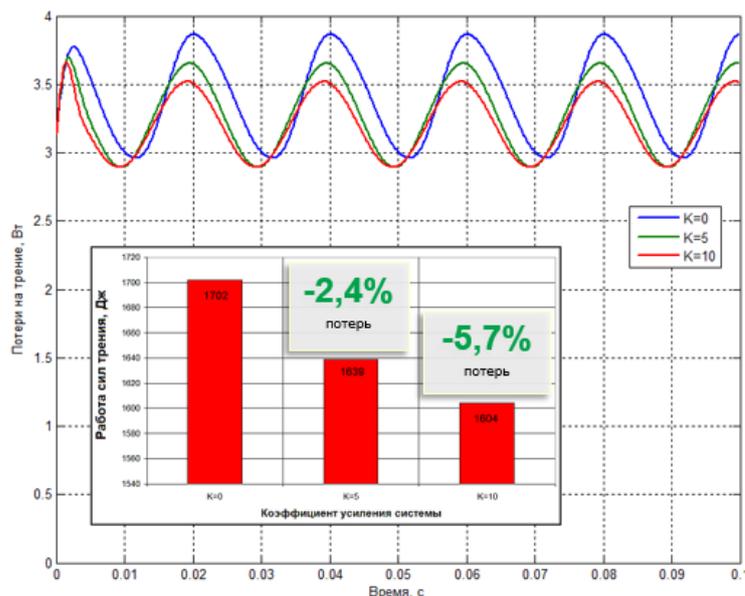


Рисунок 5 – Влияние коэффициента усиления системы управления на потери мощности

это обеспечивается минимизацией потерь на трение. При этом определение энергоэффективных траекторий является серьезной вычислительной задачей. Таким образом, объединение аппаратов, обеспечивающих расчет оптимальных траекторий движения ротора, и реализующих функции управления его положением в подшипниках жидкостного трения позволит создавать новые поколения опорных узлов, которые превосходят по характеристикам энергоэффективности имеющиеся на сегодняшний день решения.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траекторий движения роторов мехатронных модулей в средах сложной реологии».

Список литературы

1. P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann - Application of Feedforward-Disturbance-Compensation and Input-Shaping to a Machinez-Axis in Active Hydrostatic Bearings, The 9th International Conference on Motion and Vibration Control, 2000;
2. G. Aguirre, F. Al-Bender, H. Van Brussel - Dynamic stiffness compensation with active aerostatic thrust bearings, Active vibration control and smart structures - PROCEEDINGS OF ISMA 2008;
3. M. Fillon, M. Wodtke, M. Wasilczuk - Effect of presence of lifting pocket on the THD performance of a large tilting-pad thrust bearing, Friction 3(4): 266–274, 2015
4. H. Urreta, Z. Leicht - Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids, 11th Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, 2009;
5. Савин Л.А., Соломин О.В. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения. - М.: Машиностроение-1, 2006;
6. Пугачев А.О., Савин Л.А., Соломин О.В. Динамика разгона ротора на подшипниках жидкостного трения. - Известия вузов. Машиностроение. - 2006, № 4.
7. Соломин О.В., Майоров С.В., Морозов А.А. Уравнения конечно-элементного анализа динамики пространственного движения ротора // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2007, № 3;
8. Y. Yan - A thermal hydrodynamic Lubrication model of Pivoted plane-pad thrust bearings – M.S. thesis, The Pennsylvania State University, 2011;
9. A.M. Haugaard - On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings, Ph.D. thesis, Technical University of Denmark, 2011;

10. Savin L.A., Mayorov S.V., Shutin D.V., Babin A.Y. Rotor trajectories in fluid-film bearings, adjustment of them and energy efficiency parameters, Proceedings of ICMR 2016;

11. Шутин Д.В. Совершенствование гидростатодинамических подшипников посредством регулирования параметров подачи смазочного материала: дис. канд. тех. наук: 05.02.02 / Денис Владимирович Шутин; Приокский гос. ун-т. – Орёл, 2015 – 192 с.

Бабин Александр Юрьевич - аспирант, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева; e-mail: alex.mech.espc@gmail.com, тел.: +79290606012

Савин Леонид Алексеевич - д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Мехатроника и международный инжиниринг» Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева; e-mail: savin@ostu.ru, тел.: +79107483766

Шутин Денис Владимирович - канд. техн. наук, научный сотрудник Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева; e-mail: rover.ru@gmail.com, тел.: +79192057380

INCREASING ENERGY CHARACTERISTICS OF ROTOR MACHINES BY MEANS OF APPLYING ACTIVE BEARINGS

Babin A.Y., Savin L.A., Shutin D.V.

Russia, Oryol, Orel State University named after I.S. Turgenev

Abstract. The papers covers the problems of increasing the energy efficiency of rotor machines by means of using active fluid-film bearings, where by adjusting the feeding pressure of a lubricant the control of rotor's position is implemented. The use of intellectual technologies in traditional rotor machines is dictated by both strict requirements of manufacturing precision and mechanical treatment of the machine parts, and high standards of efficiency. It is obvious, that introduction of the efficiency criteria with regards to the trajectories of rotors requires development of mathematical means of modeling different types of forces on rotor lifted by the reaction forces of a bearing as well as study of various means of enhancing the bearings' characteristics. In the present report a means of trajectory analysis is suggested based on the criteria of efficiency and the modeling results of an active bearing are shown, which prove the possibility to significantly decrease power losses due to friction and amplitudes of rotor's oscillations in the bearing.

Key words: active fluid-film bearings, rotor dynamics, rotor system parameters, energy efficiency, mechatronics, friction power losses

Bibliography

1. P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann - Application of Feedforward-Disturbance-Compensation and Input-Shaping to a Machinez-Axis in Active Hydrostatic Bearings, The 9th International Conference on Motion and Vibration Control, 2000;
2. G. Aguirre, F. Al-Bender, H. Van Brussel - Dynamic stiffness compensation with active aerostatic thrust bearings, Active vibration control and smart structures - PROCEEDINGS OF ISMA 2008;
3. M. Fillon, M. Wodtke, M. Wasilczuk - Effect of presence of lifting pocket on the THD performance of a large tilting-pad thrust bearing, Friction 3(4): 266–274, 2015
4. H. Urreta, Z. Leicht - Hydrodynamic bearing lubricated with magnetic fluids, 11th Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, 2009;
5. Savin L.A., Solomin O.V. Modeling of rotor systems with oil film bearings. - M.: Engineering 1, 2006;
6. Pugachev S.A., Savin L.A., Solomin O.V. The dynamics of acceleration of the rotor to the fluid friction bearings. - Proceedings of the universities. Mechanical Engineering. - 2006, № 4.
7. Solomin O.V., Mayorov S.V., Morozov A.A. The equations of finite element analysis of the dynamics of the spatial movement of the rotor // Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science. - 2007, № 3;
8. Y. Yan - A thermal hydrodynamic Lubrication model of Pivoted plane-pad thrust bearings – M.S. thesis, The Pennsylvania State University, 2011;
9. A.M. Haugaard - On Controllable Elastohydrodynamic Fluid Film Bearings, Ph.D. thesis, Technical University of Denmark, 2011;
10. Savin L.A., Mayorov S.V., Shutin D.V., Babin A.Y. Rotor trajectories in fluid-film bearings, adjustment of them and energy efficiency parameters, Proceedings of ICMR 2016;
11. DV Shutin Improving gidrostatodinamicheskikh bearings by adjusting the parameters of the lubricant supply: dis. cand. tech.sc. Sciences: 05.02.02 / Denis Shutin; Prioksky state. Univ. - Oryol, 2015 - 192 p.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С УЧЕТОМ МИКРООТКЛОНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Кольцов А.Ю., Просекова А.В., Родичева А.Ю.

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

Рассмотрена совокупность факторов, влияющих на потери мощности на трение в смазочном слое. Сформированы количественные предпосылки расчета полей давлений и моментов трения в радиальном гидростатодинамическом подшипнике с щелевым дросселированием. Представлены результаты вычислительного эксперимента по влиянию факторов на энергетические характеристики учетом шероховатости поверхности.

Ключевые слова: потери мощности на трение и прокачку, коэффициент полезного действия, поле давлений, гидростатодинамический подшипник с щелевым дросселированием

Гидростатодинамические подшипники представляют собой комбинацию гидродинамического и гидростатического подшипников. В них несущая способность формируется как на основе создания гидродинамических реакций смазочного слоя, так и посредством внешнего давления. Для работы гидростатодинамического подшипника с щелевым дросселированием обеспечивается подача смазочного материала под давлением с торцевой стороны подшипника, что обеспечивает сдвигово-напорные течения в канале. В зависимости от назначения машины, опоры скольжения используемые в ней, могут работать в трех основных режимах трения в зависимости от величины смазочного слоя: жидкостном, полужидкостном и граничном трении [1,2]. При жидкостном режиме трения опорные поверхности полностью разделены смазочным материалом, при полужидкостном – неровности опорных поверхностей перекрыты тонким слоем смазки, граничном режиме трения наблюдается прорывы смазочного слоя и контакт неровностей опорных поверхностей. При дальнейшем уменьшении количества смазки происходит контакт неровностей опорных поверхностей, что приводит к резкому увеличению коэффициента трения и ускоренному износу. Трение в механических узлах является ключевым фактором влияющим на энергетические затраты необходимые для нормального функционирования машины. Общие энергетические потери в подшипниках скольжения складываются из потерь на вязкое трение и из затрат необходимых на перекачивание смазочного материала через подшипник, определяется по формуле[3]:

$$N = N_{mp} + N_{np}, \quad (1)$$

где N_{mp} - потери мощности на вязкое трение в подшипнике скольжения, который определяется по формуле:

$$N_{mp} = \omega \frac{D}{2} \int_0^L \int_0^D \left[\frac{h}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{U\mu}{h} \right] \cdot dx dz, \quad (2)$$

где ω - угловая скорость вращения цапфы;

L, D – геометрические параметры подшипника скольжения, длина и диаметр соответственно;

h – функция радиального зазора

U – скорость движения центра цапфы ротора;

μ - вязкость смазочного материала;

$\frac{\partial p}{\partial x}$ - скорость изменения давления в смазочном слое

N_{np} - потери мощности на прокачку смазочного материала через подшипник.

Исходя из сказанного ранее, можно сделать вывод, что существенное влияние на работу подшипника скольжения оказывает радиальный зазор между цапфой ротора

и втулкой подшипника. Математически функцию радиального зазора можно записать в следующем виде (рис. 1)[4]:

$$h(x, z) = h_{ид}(x, z) + h_{перекоса}(x, z) + h_{микро}(x, z) \quad (3)$$

где $h_{ид}(x, z)$ - величина радиального зазора идеального опорного узла;

$h_{перекоса}(x, z)$ - поправка, учитывающая перекос оси цапфы в подшипнике;

$h_{микро}(x, z)$ - поправка, учитывающая микронеровности (шероховатость) опорных поверхностей

Учет микронеровностей опорной поверхности, основан на анализе вида поверхности после обработки. Основу микронеровностей составляют риски, оставленные в результате прохода режущего инструмента по поверхности. Для описания микронеровностей, модель которых в достаточной степени отражает форму микронеровностей реальных опорных поверхностей ПС, используем следующую функцию:

$$h_{микро}(x, z) = A_1 \sin(2\pi / k_1 z - sx) + A_2 \sin(k_2 x) \quad (4)$$

Давление в смазочном слое гидростатодинамического подшипника с щелевым дросселированием (рис. 1) определяется на основании математической модели процессов, происходящих внутри опорного узла, и работы самого подшипника. Для математического описания данного вида подшипника, работающего в режиме жидкостного трения, используется модифицированное уравнение Рейнольдса в изотермической постановке, которое имеет вид [5]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right] = 6\mu \frac{\partial}{\partial x} (Uh) - 12\mu V, \quad (5)$$

где U и V – скорости движения центра и поверхности цапфы ротора соответственно, которые определяются из соотношений:

$$U = \omega R + \dot{X} \cos \alpha - \dot{Y} \sin \alpha; \quad V = \dot{X} \sin \alpha + \dot{Y} \cos \alpha \quad (6)$$

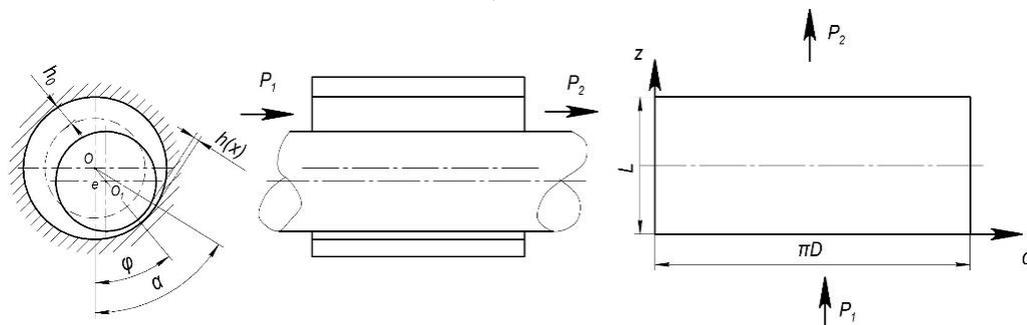


Рисунок 1 – Расчетная схема ГСДП подшипника с щелевым дросселированием

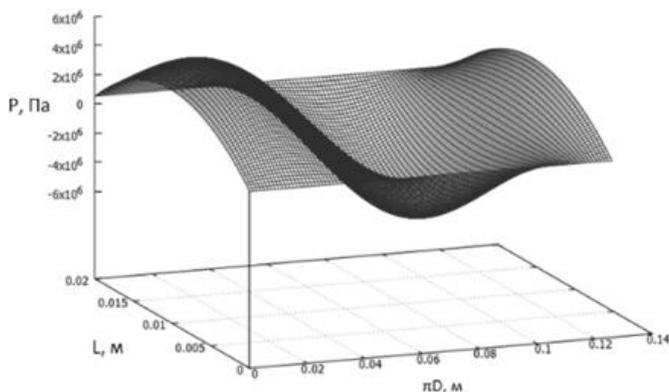


Рисунок 2 – Распределение давлений в смазочном слое ГСДП с щелевым дросселированием

Численное значение давления в смазочном слое и его распределение находим путем совместного решения уравнений (2-4) методом конечных разностей. Характерное решение для подшипника с щелевым дросселированием приведено на рисунке 2. Из графика видно, что максимум и минимум давлений достигаются в диаметрально противоположных направлениях поперечного сечения ГСДП с щелевым дросселированием. Причем максимальное давление соответствует минимальной величине радиального зазора, минимальная величина давления

соответствует расширяющейся части зазора. Значительное понижение давления в щели препятствует смазке вытекать из подшипника и постоянно вовлекает ее в зону низкого давления. При недостаточной подаче смазки смазочном слое могут наблюдаться эффекты кавитации, что объясняет появление отрицательных значений при расчете полей давлений.

В результате интегрирования полученных полей давлений для ГСДП с щелевым дросселированием были получены следующие графики зависимостей потерь мощности на вязкое трение от относительного эксцентриситета при различных параметрах высоты и шага микронеровностей опорных поверхностей (рис. 3).

Из графиков видно, что с увеличением эксцентриситета потери мощности на трение увеличиваются, что объясняется сближением трущихся шероховатых поверхностей. С увеличением высоты микронеровностей потери мощности на трение возрастают. Увеличение шага микронеровностей не всегда приводит к увеличению потерь мощности на трение, так как увеличение шага микронеровностей приводит к увеличению площади смазочных микроравнин на поверхности подшипника, в результате чего смазка из них может быть использована в процессе работы подшипника как источник дополнительной смазки и восстанавливать истонченную пленку смазочного слоя в зоне минимального зазора.

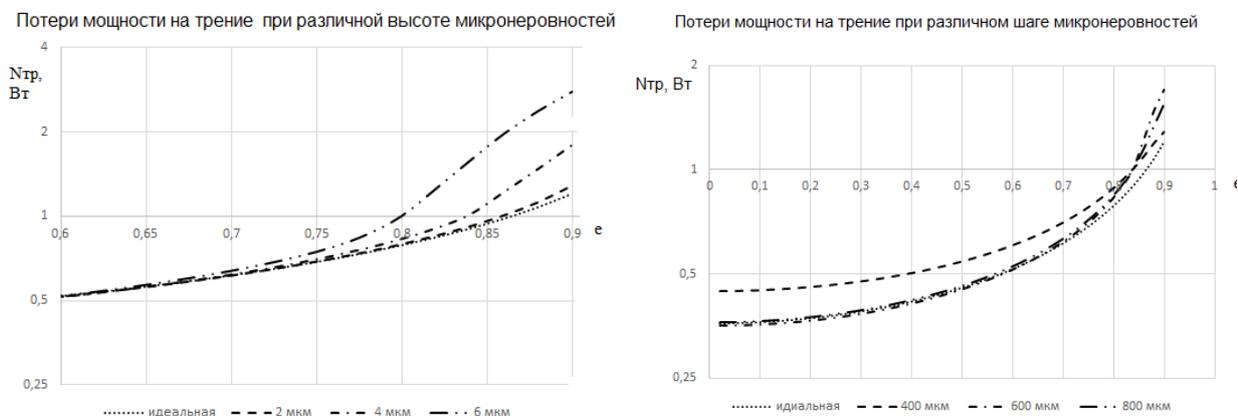


Рисунок 3 – Влияние параметров шероховатости на потери мощности на трение

Потери мощности на прокачку смазочного материала через подшипник определяются по формуле:

$$N_{ГП} = Q_V P_0 \quad (6)$$

где Q_V - расход смазочного материала, определяемый следующим интегральным соотношением:

$$Q_V = - \int_0^{\pi D} \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial z} dx. \quad (7)$$

В результате расчетов получен следующий график рис. 4. Расчеты показали, что потери мощности на трение имеют значительно меньшие значения по сравнению с потерями мощности на прокачку. Это может быть объяснено тем, что при работе ГСДП с щелевым дросселированием происходит частичное перекрытие зазора микронеровностями, а также наличием перекоса цапфы ротора в подшипнике. Это создает значительное сопротивление течению смазочного материала в подшипнике.

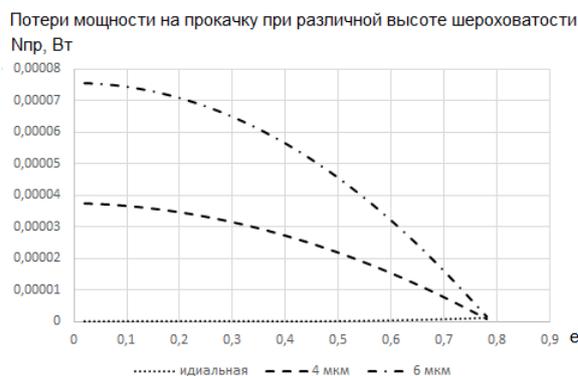


Рисунок 4 – Влияние параметров шероховатости опорных поверхностей на потери мощности на прокачку

Для оценки эффективности применения гидростатодинамических подшипников с щелевым дросселированием с различными параметрами шероховатости опорной поверхности используем КПД, который определим по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{N}{N_{np}} \quad (8)$$

где N_{np} - мощность привода, примем ее равной мощности электродвигателя, так как рассматриваем вращение вала без рабочих органов в подшипниках скольжения, получаем следующие результаты (рис. 5)

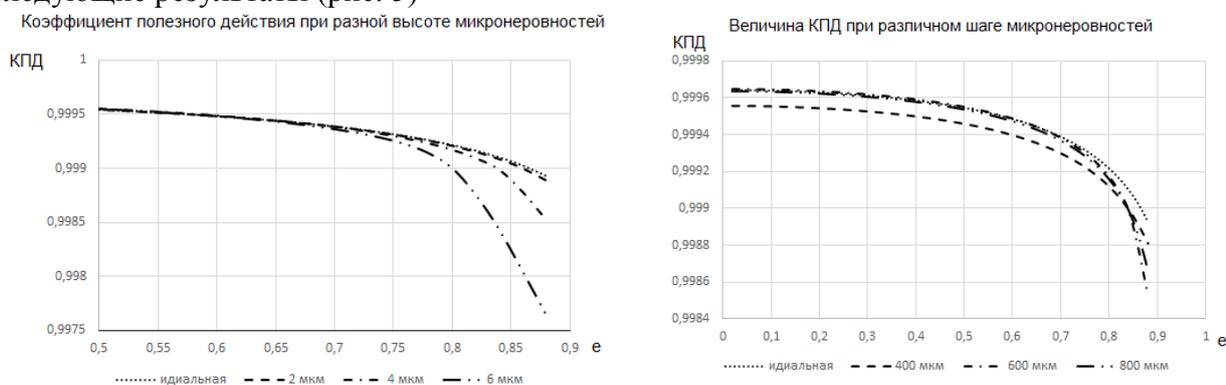


Рисунок 5 – Исследование влияние параметров микронеровностей опорных поверхностей на КПД ГСДП с щелевым дросселированием

С увеличением эксцентриситета КПД ГСДП с щелевым дросселированием уменьшается, что объясняется увеличением потерь мощности на трение, вследствие сближения трущихся шероховатых поверхностей. С увеличением высоты микронеровностей КПД снижается. Увеличение шага микронеровностей не дает однозначного вклинения на КПД подшипникового узла.

По результатам исследования энергетических параметров ГСДП с щелевым дросселированием с учетом микронеровностей опорных поверхностей работающие в жидкостном режиме трения обладают высоким КПД. Для минимизации энергетических потерь в подшипниковом узле рекомендуется использовать подшипники с наименьшей высотой микронеровностей.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №16-19-00186 «Планирование оптимальных по расходу энергии траекторий движения роторов в мехатронных модулях в средах сложной реологии»

Список литературы

1. Савин Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / л.а. Савин, о.в. Соломин. – м.: машиностроение-1, 2006. – 444с.
2. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения, м. Машиностроение, 1959, 186 с.
3. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для вузов / с.а. Чернавский, г.а. Снесарев, б.с. Козинцов и др.. – 5-е изд., перераб. И доп. – м.: машиностроение, 1984. – 560 с., ил.
4. Просекова А.В., Кольцов А.Ю. Моделирование рабочих поверхностей роторно-опорных узлов с учетом макро- и микронеровностей // а.в. Просекова, а.ю. Кольцов // известия госуниверситет-унипк. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – №5 (307). – Орёл: госуниверситет-унипк, 2014. – с.39-43
5. Просекова А.В., Родичев А.Ю., Савин Л.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик биметаллических подшипников скольжения // научно-методический электронный журнал «концепт». – 2016. – т. 11. – с. 3426–3430. – url: <http://e-koncept.ru/2016/86722.htm>

Кольцов Александр Юрьевич - инженер ПНИЛ «МГМС» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
адрес : 302026 г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95, тел. 419885; e-mail: alexkolzov@yandex.ru
Просекова Анастасия Владимировна – ст. препод. кафедры «МиМИ» ФГБОУ ВО «ОГУ имени
И.С. Тургенева»; адрес : 302026 г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95, тел. 419885; e-mail:
Prosekova.anastasia@yandex.ru
Родичев Алексей Юрьевич канд. техн. наук с.н.с. ПНИЛ «МГМС» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.
Тургенева» адрес : 302026 г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95, тел. 419885;; e-mail: rodfox@yandex.ru

THE ENERGY CHARACTERISTICS OF LIQUID-FRICTION BEARINGS IN VIEW OF MICRODEVIATION SURFACE

Kol'tsov A.Y., Prosekova A.V., Rodichev A.Y.

Russian Federation, Orel, FSBE HE "Orel State university by name I.S. Turgeneva"

In this article is considered the totality of the factors influencing the power losses due to friction in the lubricating layer. Authors are formed quantitative prerequisites for calculating pressure fields and friction points in a radial bearing with slotted gidrostatodinamieskom throttling. The results of numerical experiments to study the influence of factors on the energy characteristics, taking into account the surface roughness are shown in the article

Keywords: power losses due to friction and pumping, coefficient of efficiency, the pressure field, gidrostatodinamic bearing with split throttling

Bibliography

1. Savin LA Modeling of rotor systems with fluid friction bearings: monograph / LA Savin, OV Solomin. - М.: Engineering 1, 2006. - 444s.
2. Korovchinsky MV Theoretical basics of sliding bearings, M. Mechanical Engineering, 1959, 186 p.
3. Mechanical Transmission: Training and Reference Guide for Technical Schools / SA Chernavskii, GA Snesarev, BS Kozinets et al .. - 5 th ed., Revised. and ext. - М.: Engineering, 1984. - 560 with silt..
4. Prosekova AV Koltsov AY Simulation of the working surfaces of rotor-bearing units with a view of the macro and microscopic irregularities // AV Prosekova, AY Koltsov News // State University-ESPC. Fundamental and applied problems of engineering and technology.- №5 (307). - Orel: State University-ESPC, 2014 - S.39-43
5. Prosekova AV, Rodichev A., Savin LA Technological security performance of bimetallic friction bearings // Scientific and methodical electronic journal "Concept". - 2016. - V. 11. - P. 3426-3430. - URL: <http://e-koncept.ru/2016/86722.htm>

Kol'tsov Alexandr Yur'evich

FSBEE HE "Orel State university by name I.S. Turgeneva", Engineer, Phone: (4862) 49-98-85, e-mail: alexkolzov@yandex.ru

Prosekova Anastasia Vladimirovna

FSBEE HE "Orel State university by name I.S. Turgeneva", The lecturer of chair "Mechatronics and the international engineering", Phone. (4862) 49--98-85, e-mail: prosekova.anastasia@yandex.ru

Rodichev Alexey Yur'evich

FSBEE HE "Orel State university by name I.S. Turgeneva", Ph.D., the post-graduate student of chair "Mechatronics and the international engineering", Phone. (4862) 49--98-85, e-mail: rodfox@yandex.ru



Компания ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС является одним из российских лидеров в области разработки и производства силовых полупроводниковых приборов.

Широкий ассортимент продукции компании включает:

- тиристоры и диоды в таблеточном исполнении;
- тиристоры и диоды в штыревом исполнении
- тиристорные и диодные модули
- сварочные диоды
- силовые сборки
- IGBT модули



За 20-летнюю историю деятельности компания добилась огромных высот в своей отрасли и заручилась доверием множества клиентов как на территории России, так и за рубежом. Постоянно расширяющаяся дистрибьюторская сеть позволяет все более оперативно и качественно обслуживать потребителей в России, Украине, Беларуси, Эстонии, Германии, Китае, Японии, Южной Корее, Индии и в других странах.



На сегодняшний день ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС - это:

- Широко известный европейский бренд
- Более 400 квалифицированных кадров
- Более 20 000 м² производственных площадей
- Более 1000 постоянных клиентов по всему миру
- Более 400 000 единиц выпускаемой продукции в год

Адрес компании:

302027, Россия, г. Орёл, ул. Лескова, 19
 Тел.: +7 (4862) 44-04-11; факс +7 (4862) 44-04-08
 E-mail: inbox@proton-electrotex.com;
 Сайт: www.proton-electrotex.com

Содержание

СЕКЦИЯ № 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.....	7
Музалевская Г.Н., Музалевский А.А. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ	7
Боярков Д.А., Богатырев А.И., Овечкина Ю.А. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	12
Шиховцова Н.Н., Мезенцева А.В. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	15
СЕКЦИЯ № 2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЕ ИХ РАЗВИТИЯ	18
Голощанов А.А., Глинкин Е.И. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	18
Гамова Л.Г., Глинкин Е.И. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	21
Шпиганович А.Н., Бойчевский А.В. ЗАЩИТА ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ОТ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	25
Мигалёв И.Е., Титов Е.В. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ	26
Титов Е.В., Мигалёв И.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНЫХ УРОВНЕЙ ЭМИ ВБЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	29
Сошников А.А., Титов Е.В., Мигалёв И.Е. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭМИ	33
Никольский О.К., Воробьев Н.П. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	36
Сошников А.А., Компанец Б.С., Каменев А.О. ИНФОРМАТИВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ 0,38 кВ	46
Королева Т.Г., Мишин М.М. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	51
Королева Т.Г., Понкратов К.В., Хомяков И.В. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕЛИНЕЙНОЙ И РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ.....	55

Дробязко О.Н., Никольский О.К. МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА РИСКОВ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЧЕЛОВЕКОМАШИННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ.....	58
Широкоступова М.С. РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО ВЕЛИЧИНЕ УДЕЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ НЕДООТПУСКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОЖИДАЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ.....	65
Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Чаленко В.В. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	70
Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ.....	73
Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я. ПРИМЕНЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ ПО АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	76
Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КАСКАДНО-ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	78
Горелов В.П., Горелов С.В., Левчишин О.Н., Манчук Г.Р., Ратников В.И. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ	82
Горелов С.В., Горелов В.С., Левчишин О.Н., Байдек В.С., Манчук Г.Р., Тыщенко И.В., Хлыстова К.А. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	88
Клеутин В.И., Руппель А.А., Мочалин К.С. ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СУДНА ОТ БЕРЕГОВОЙ СЕТИ.....	96
Лизалек Н.Н., Васильев В.В., Аржанников С.Г., Бородин Д.Н., Мочалин К.С., Тоньшев В.Ф. АЛГОРИТМ ВЫБОРА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ	100
Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Шарапов Н.А. БЕЗОТКАЗНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	113
Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Шарапов Н.А. БЕЗОТКАЗНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	119
Жилин Б.В., Логачев Н.А. ОБОСНОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РМ	125
СЕКЦИЯ № 3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ	128
Птицына Е.В., Птицын Д.В., Кувалдин А.Б., Кислов А.П. ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ СВЕТЛЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ	128
Шахматов С.Н., Горелов М.В., Баранова М.П., Иванов А.Н. РАЗРАБОТКА СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ	

СЕМЯН И СУШКИ ШИШЕК ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ.....	133
Макаров А.Н., Галичева М.К., Окунева В.В. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КПД ДУГ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ЛОМА И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ.....	139
Макаров А.Н., Галичева М.К., Кузнецов А.В. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КПД ДУГ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ.....	142
Макаров А.Н., Галичева М.К., Окунева В.В. ЭНЕРГОБАЛАНСЫ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ ЛОМА И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ.....	144
Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р., Лепешкин С.А. МЕТОД НАГРЕВА И ЗАКАЛКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ВРАЩЕНИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	147
Качанов А.Н., Гладышев А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПЛОСКОЙ ЗАГРУЗКЕ.....	151
Генералов И.М. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С КУСКОВОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЗАГРУЗКОЙ.....	154
 СЕКЦИЯ № 4. ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ.....	158
 Черкасова Н.И. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	158
Мигалёв И.Е., Титов Е.В. АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОПТИМИЗАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАРТИНЫ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	161
Халина Т.М., Дорош А.Б. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АПК.....	164
Дробязко О.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	172
Грибанов А. А., Мартко Е.О. МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ИХ СОСТОЯНИЯ.....	175
Нефёдов С.Ф. УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	181
Багаев А.А., Чернусь Р.С. ВЫХОДНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ.....	185
Никольский О.К., Воробьев Н.П. ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК.....	191
Халин М.В., Халина Т.М., Часовщиков Д.Г. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДОГРЕВОМ ЗЕРНА.....	200
Чебодаев А.В., Бастрон А.В., Урсегов В.Н., Дебрин А.С., Смелова С.А.	

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРЕСТЬЯНСКО-ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ.....	204
СЕКЦИЯ № 5. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	211
Мезенцева А.В. РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	211
Степанова Е.Ю. РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ЦЕН НА УГЛЕВОДОРОДЫ.....	214
Жилин Б.В., Казаков Р.С. ВЫЯВЛЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ 6-10 КВ.....	219
СЕКЦИЯ № 6. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ	222
Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. НЕЛИНЕЙНОСТЬ ДИФФУЗИИ ЯЧЕЙКИ.....	222
Глинкин Е.И., Одиноква А.А. АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ СВЁРТЫВАНИЯ КРОВИ.....	226
Глинкин Е.И., Швырева К.Е., Сулова Ю.В. МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТОВ ПО ГРАНИЦАМ ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТОЛИЧЕСКОГО И СРЕДНЕГО АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ.....	229
Студенников А.С., Цырлов А.М., Головкин Н.В., Турин В.О. КОМПАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО МОП-ТРАНЗИСТОРА С ДВОЙНОЙ ДИФФУЗИЕЙ НА VERILOG-A В САПР SUMICA	232
Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Баженова А.В. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД С УЧЕТОМ МИКРОТВЕРДОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ.....	236
Турин В.О., Рахматов Б.А., Ким Ч.Х., Инигез Б. КОМПАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКА СТОКА ОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С КОРРЕКТНЫМ УЧЁТОМ НЕНУЛЕВОЙ ВЫХОДНОЙ ПРОВОДИМОСТИ В РЕЖИМЕ НАСЫЩЕНИЯ	239
Мещерякова О.В., Шишлин Д.И., Мещеряков В.Н. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТАХ.....	243
Горелов С.В., Горелов В.С., Базавлук А.А. Калинин Б.Е., Хлыстова К.А., Юрьев М.Ю. АККУМУЛЯТОРЫ И СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	245
СЕКЦИЯ № 7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ.....	253
Фашиленко В.Н., Решетняк С.Н. ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ НАСТРОЙКИ PID РЕГУЛЯТОРА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЖИМ	253

Коробов А.А., Глинкин Е.И. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	258
Захаров М.Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ	262
Захаров М.Г. ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРИБОСИСТЕМ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ.....	264
Бабин А.Ю., Савин Л.А., Шутин Д.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНЫХ МАШИН ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	266
Кольцов А.Ю., Просекова А.В., Родичев А.Ю. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С УЧЕТОМ МИКРООТКЛОНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	272
Компания ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС	277
Содержание.....	278

Научное издание

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**МАТЕРИАЛЫ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ИНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦИИ**

15 марта – 30 июня 2016 г., г. Орёл

Материалы конференции печатаются в авторской редакции

Компьютерная верстка и оригинал-макет Коренков Д.А.

Электронный адрес размещения:

<http://oreluniver.ru/science/confs/2016/ee/publ>

Подписано в печать 28.07.2016 Формат 60x84 1/8
Печать ризография. Бумага офсетная. Гарнитура Times
33,5 Усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 291

Лицензия ПД № 8-0023 от 25.09.2000 г.
Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО Полиграфическая фирма «Картуш»
г. Орел, ул. 2-я Посадская, 26. Тел./факс (4862) 44-51-46
E-mail: kartush@orel.ru www.kartush-orel.ru