

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Орловский региональный центр энергосбережения



"ГОСУНИИВЕРСИТЕТ - УНПК" – 60 лет

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ —
XXI ВЕК**

15 март – 30 июня 2014 г., г. Орёл

**ENERGY AND RESOURCES SAVING
XXI CENTURY**

15th March – 30th June 2014, Oryol

Орёл 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРАВИТЕЛЬСТВО ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АДМИНИСТРАЦИЯ г. ОРЛА
ПАДЕРБОРНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (г. Падерборн)
ФГБОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК» (г. Орёл)
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. ПОЛЗУНОВА» (г. Барнаул)
ГУ «ОРЛОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»
ОАО «ОРЁЛОБЛЭНЕРГО»
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ОРЁЛНАНО»
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»
(«Госуниверситет – УНПК, г. Орёл»)

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**Материалы XII международной
научно-практической интернет-конференции
15 марта – 30 июня 2014 г., г. Орёл**

Орёл 2014

УДК: 620.92 (063)
ББК 31.15Я 431
Э65

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. – 187 с.

ISBN 978-5-93932-761-9

В сборник материалов двенадцатой 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 сервере ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» (www.gu-unprk.ru) с 15 марта по 30 июня 2014 года:

1. Стратегия энергосбережения в ЖКХ.
2. Проблемы энергоресурсосбережения и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и городских территорий.
3. Энергоэффективность систем электроснабжения и направления их развития.
4. Энергосберегающие электротехнологические процессы и установки.
5. Энергосберегающие машиностроительные технологии и оборудование.
6. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
7. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
8. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
9. 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 ВПО «Госуниверситет – УНПК»

УДК: 620.92 (063)
ББК 31.15Я 431
Э65

ISBN 978-5-93932-761-9

© ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК, 2014
© ГУ «ОрёлРЦЭ», 2014
© Коллектив авторов

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРАВИТЕЛЬСТВО ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АДМИНИСТРАЦИЯ г. ОРЛА
ПАДЕРБОРНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (г. Падерборн)
ФГБОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ - УНПК» (г. Орёл)
ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. ПОЛЗУНОВА» (г. Барнаул)
ГУ «ОРЛОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»
ОАО «ОРЁЛОБЛЭНЕРГО»
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ОРЁЛНАНО»
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»
(«Государственный университет – УНПК, г. Орёл»)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
ORYOL REGIONAL ADMINISTRATION
ACADEMY OF ELECTRICAL AND TECHNICAL SCIENCE OF RUSSIAN
FEDERATION
UNIVERSITY OF PADERBORN (Paderborn)
«STATE UNIVERSITY – EDUCATION SCIENCE PRODUCTION COMPLEX FOR
SCIENTIFIC WORK» (Oryol)
«ALTAIC STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY
NAMED BY I.I. POLZUNOVA» (Barnaul)
GY «ORYOL REGIONAL ENERGY SAVING CENTER»
JOINT-STOCK COMPANY «ORELOBLENERGO»
SCIENCE EDUCATION CENTER «ORELNANO»
«ELECTRICAL EQUIPMENT AND ENERGY SAVING» DEPARTMENT
(State University – Education Science Production
Complex for Scientific Work, Oryol)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

1. Злобин Николай Васильевич - председатель программного комитета, заместитель Губернатора и Председателя Правительства Орловской области.
2. Демидович Виктор Болеславович, д-р техн. наук, профессор кафедры электротехнологической и преобразовательной техники ЛЭТИ им. В.И. Ульянова, академик-секретарь научно-отраслевого отделения №6 АЭН РФ.
3. Иньков Юрий Моисеевич - заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН РФ, главный ученый секретарь АЭН РФ.
4. Клименко Сергей Анатольевич - д-р техн. наук, профессор, зам директора по НР Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля Национальной академии наук Украины.
5. 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 Госуниверситет – УНПК.
6. Хейфиц Михаил Львович - д-р техн. наук, профессор, заместитель академика – секретаря Отделения физико-технических наук Национальной академии наук Белоруссии.
7. Dahlsveen Trond (Норвегия) - M. Sc., президент Energy Saving International AS
8. Jiří Kožený (Чехия) - Prof., Dr.-Ing., Westbomische Universitat Plzeň, Elek-trotechnische Fakultät
9. Li Qingling (Китай) - Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering
10. Andrzej Buchacz (Польша), Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice, POLAND.
11. Pahl Manfred H. (Германия) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
12. Sawicki Antoni (Польша) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii
13. Schulze Dietmar (Германия) - Prof., Dr. habil., Technische Universitat Ilmenau, Fachgebiet Elektrotermische Energiewandlung.
14. Коренков Дмитрий Андреевич - технический секретарь программного комитета, аспирант каф. ЭиЭ ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Пилипенко Ольга Васильевна – председатель оргкомитета, д-р техн. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».
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. «Электроснабжения промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ».
4. Голенков Вячеслав Александрович – д-р техн. наук, профессор, лауреат Государственных премий РФ, президент ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 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 ВПО «Госуниверситет – УНПК».
7. Кувалдин Александр Борисович – заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, академик АЭН РФ, ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ».
8. Радченко Сергей Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».
9. Тимохин Вячеслав Александрович – Главный инженер ОАО «Орелоблэнерго», доктор электротехники, заслуженный энергетик РФ.
10. Карнаухова Любовь Николаевна – технический секретарь оргкомитета, ведущий инженер ГУ «Орловский региональный центр энергосбережения».

PROGRAM COMMITTEE

1. Zlobin Nikolai Vasilyevich – Chairman of the Program Committee, Deputy Governor and Deputy Chairman of Orel Regional Administration.
2. Demidovich Viktor Boleslavovich – Full Professor, Department of Power Engineering and Transformative Technology, St. Petersburg Electrotechnical University n.a. V.I. Ulyanov (LETI), Academician-Secretary of the Scientific and Industry Department Nr.6 of the Russian Federation Academy of Electrotechnical Sciences.
3. Inkov Yurii Moiseevich – Honored Worker of Science, Full Professor, Academician of the Russian Federation Academy of Electrotechnical Sciences, Chief Scientific Secretary of AETS of the Russian Federation.
4. Klimenko Sergey Anatolievich – Full Professor, Deputy Director for Scientific Research at the Institute for Superhard Material s.n.a. V.N. Bakul, Ukraine National Academy of Science.
5. Stepanov Yuri Sergeevich – Deputy Chairman of the Program Committee, Honored Worker of Science, Full Professor, President and Government Prize-winner of the Russian Federation, Director of the Research Educational Center of Nanotechnologies, “State University - ESPC”.
6. Kheifits Michael L’vovich – Full Professor, Deputy Academician-Secretary of the Department of Technical Sciences, National Academy of Sciences of Belarus.
7. Dahlsveen Trond (Norway) – M.Sc., President of the Energy Saving International AS.
8. Jiří Kožený (Czech Republic) – Prof., Dr.-Ing., University of West Bohemia in Plzeň, Elektrotechnical Faculty.
9. Li Qingling (China) – Prof., Dipl.-Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering.
10. Andrzej Buchacz (Poland) – Doc. Sc., Eng. Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice.
11. Pahl Manfred H. (Germany) – Prof., Dr.-Ing. Dr.h.c, Institute of Energy and Process Engineering Mechanical and Environmental Process.
12. Sawicki Antoni (Poland) – Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zakład Elektrotechnologii.
13. Schulze Dietmar (Germany) – Prof., Dr. habil., Technical University Ilmenau, Department of Elektrothermal Energy transformation.
14. Korenkov Dmitri Andreevich – Technical Secretary of the Program Committee, Postgraduate student at the Department "Electrical Equipment and Energy -Saving", "State University -ESPC".

ORGANIZING COMMITTEE

1. Pilipenko Olga Vasilievna – Chairman of the Organizing Committee, Full Professor, Rector of "State University - Education Science Production Complex" (Orel).
2. Vakulko Anatoly Georgievich – Ph. D., Associate Professor, State Prize-winner of RF, Director STRCETT, National Research University "MEI".
3. Gamazin Stanislav Ivanovich – Full Professor of the Department "The Electricity Supply in Industry", National Research University "MEI".
4. Golenkov Vyacheslav Alexandrovich – Full Professor, State Prize-winner in Science and Engineering of RF, President of “State University – Education Science Production Complex”, Director of SI “Orel Regional Center of Energy-saving”.
5. Zenyutich Evgeny Arkadievich – Ph.D., Associate Professor, Russian Government Prize-winner, Director of the Research Institute of Energy Efficient Technologies, "Nizhny Novgorod State Technical University n.a.R.E.Alekseev".
6. Kachanov Alexander Nikolaevich – Deputy Chairman of the Organizing Committee, Full Professor, Academician of the Russian Federation Academy of Electrotechnical Sciences, Head of Department "Electrical Equipment and Energy -Saving" at the "State University -ESPC".
7. Kuvaldin Alexander Borisovich – Honored Worker of Science, Full Professor, Academician of the Russian Federation Academy of Electrotechnical Sciences, National Research University "MEI".
8. Radchenko Sergey Yurievich – Full Professor, Vice-Rector for Scientific Research of "State University -ESPC".
9. Timokhin Vyacheslav Alexandrovich – Chief Engineer of JSC "Oreloblenergo" Doctor of Electrical Engineering, Honored Power Engineering Specialist.
10. Karnaukhova Lubov Nikolaevna – Technical Secretary of the Organizing Committee, the Chief Engineer at the SI “Orel Regional Center of Energy-saving”, “State University–ESPC”.

PROGRAMMAUSSCHUß

1. Zlobin Nikolaj Wasilijewitsch - Vorsitzende des Programmausschußes, Stellvertreter des Gouverneurs und Regierungsvorsitzendes des Orjoler Gebiets.
2. Demidowitsch Wiktor Boleslawowitsch - Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls für Elektrotechnologien und Umwandlungstechnik an der Sankt-Petersburger staatlichen elektrotechnischen Universität (LETI), Akademiemitglied und Sekretär der wissenschaftlichen Abteilung Nr. 6 der AEW RF.
3. Inkow Jurij Moisejewitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der AEW RF, der wissenschaftliche Sekretär der AEW RF.
4. Klimenko Sergej Anatolijewitsch - Dr.-Ing., Prof., stellvertretender Direktor für wissenschaftliche Arbeit am Institut für überharte Stoffe der Nationalwissenschaftsakademie der Ukraine.
5. Stepanow Jury Sergejewitsch – stellvertretender Vorsitzende des Programmausschußes, verdienter Gelehrter der Wissenschaft der RF, Dr.-Ing., Prof., President- und Regierungspreisträger der RF, Direktor des Wissenschafts- und Bildungszentrums für Nanotechnologien (Staatliche Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex, Orjol).
6. Hejphitz Michail Lwowitsch – Dr.-Ing., Prof., stellvertretender Akademiemitglied und Sekretär der Abteilung für physikalisch-technische Wissenschaften der Nationalwissenschaftsakademie Weißrußlands.
7. Dahlsveen Trond (Norway) – M. Sc., President of Energy Saving International AS.
8. Jiří Kožený (Czech Republic) – Prof., Dr.-Ing., Westböhmisches Universität Plzeň, Elektrotechnische Fakultät.
9. Li Qingling (China) - Prof., Dipl.- Ing., Qingdao University of Chemical Technology, Department of Mechanical Engineering.
10. Andrzej Buchacz (Poland) – Doc. Sc., Eng, Prof. PhD Silesian University of Technology, Institute of Engineering Processes of Automation and Integrated Manufacturing Systems, Gliwice.
11. Pahl Manfred H. (Deutschland) - Prof., Dr.-Ing. Dr. h.c., Universität Paderborn, Fachgebiet Mechanische Verfahrenstechnik und Umweltverfahrenstechnik.
12. Sawicki Antoni (Poland) - Prof., Dr., Politechnika Częstochows, Samodzielny Zaklad Elektrotechnologii.
13. Schulze Dietmar (Deutschland) - Prof., Dr. habil., Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektrotechnische Energiewandlung.
14. Korenkow Dmitrij Andrejewitsch - technischer Sekretär des Programmausschußes, Aspirant des Lehrstuhls für die Elektroausrüstung und Energieaufbewahrung (FGBOU WPO „Staatliche Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex“, Orjol).

ORGANISATIONSAUSSCHUß

1. Pilipenko Olga Wasilijewna - Vorsitzende des Organisationsausschußes, Dr.-Ing., Prof., Rektorin der Staatlichen Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex (Orjol).
2. Wakulko Anatolij Georgiewitsch – Kandidat der technischen Wissenschaften, Dozent, Staatspreisträger der RF, Direktor des Wissenschaftlich-technisches Innovationszentrum für Energiesparende Technologien und Technik, Nationale Forschungsuniversität „MEI“.
3. Gamasin Stanislaw Iwanowitsch - Dr.-Ing., Prof. des Lehrstuhls für Stromversorgung der Industriebetriebe der Nationalen Forschungsuniversität „MEI“.
4. Golenkow Wjatscheslaw Alexandrowitsch - Dr.-Ing., Prof., Staatspreisträger der RF, Präsident der Staatlichen Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex (Orjol), Direktor der staatlichen Institution (SI) „Orjoler Energieaufbewahrungszentrum“.
5. Zenjutitsch Ewgenij Arkadijewitsch - Kandidat der technischen Wissenschaften, Dozent, Preisträger der Regierung RF, Direktor des Forschungsinstitutes für energiesparende Technologien an der Nishnij Nowgorod Staatlichen Technischen Universität n.a. 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 (Staatliche Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex, Orjol).
7. Kuwaldin Alexander Borisowitsch - Verdienter Wissenschaftler der RF, Dr.-Ing., Prof., Akademiemitglied der AEW RF, Nationale Forschungsuniversität „MEI“.
8. Radtschenko Sergej Jurijewitsch - Dr.-Ing., Prof., Prorektor für Forschungsarbeit an der Staatlichen Universität – Ausbildungs-Forschungs- und Betriebskomplex (Orjol).
9. Timochin Wjatscheslaw Alexandrowitsch – Chefingenieur der OAG „Orjoloblenergo“, Dr. für Elektrotechnik, verdienter Energetiker der RF.
10. Karnaukhova Ljubov Nikolajewna - technische Sekretärin des Organisationsausschußes, Ingenieurin der SI „Orjoler Regionalenergieaufbewahrungszentrum“.

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

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

SCIENTIFIC LINES

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

FORSCHUNGSRICHTUNGEN

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

СЕКЦИЯ №1. СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЖКХ

Руководители:

Верижников Михаил Павлович, заместитель председателя Орловского городского Совета народных депутатов;

Шумарин Валерий Федорович, доктор электротехники, исполнительный директор Орловского регионального отделения АЭН Российской Федерации.

УДК 621.184 : 001.891.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА

Качанов А.Н., Коренков Д.А.

Россия, г. Орёл, ФБГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Худокормов Н.Н.

Россия, г. Курск, ЗАО «РЭС»

В статье приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на выявление влияния параметров работы акустической форсунки на изменение звукового давления и величины температуры уходящих дымовых газов на выходе из котла. Полученные результаты использованы для оптимизации режима работы акустической форсунки как генератора акустических колебаний.

Ключевые слова: параметры работы акустической форсунки, звуковое давление, температура уходящих газов, изотермический стенд.

The results of experiments to identify the influence of parameters of acoustic jets to change the sound pressure and the amount of change in temperature flue gases leaving the boiler. The results allowed to specify rules work you acoustic nozzle as a generator of acoustic oscillations.

Keyword: parameters of work of an acoustic nozzle, sound pressure, temperature of leaving gases, the isothermal stand.

Для изучения влияния параметров работы акустической форсунки на формирование акустической энергии и энергоэффективность работы котла были проведены экспериментальные исследования на изотермическом стенде [1] и на опытно-промышленной установке [2, 4], изготовленной на базе котла типа ДЕ-16-14 ГМ.

Основная задача исследования – выявление оптимальных характеристик работы акустической форсунки на основе акустических характеристик – направленности излучения и величины звукового давления.

Для определения акустических характеристик в измерительный комплекс экспериментальной установки была включена механическая часть, представляющая собой подвижное шарнирное устройство с закрепленным на нем микрофоном. Устройство позволило перемещать микрофон по дуге от 15 до 150 угловых градусов с его фиксацией через каждые 10 угловых градусов [2].

В качестве анализирующего устройства для определения звукового давления использовался шумомер-анализатор спектра «Октава-110А» (рис. 1), производства г. Москва. Диапазон измерения 22÷139 дБ, уровень от 31,5 до 16000 Гц и от 25 Гц до 20000 Гц. Погрешность при измерении звукового давления составляла $\pm 0,7$ дБ. Результаты проведенных исследований на изотермическом стенде по определению влияния параметров работы акустической форсунки на формирование акустической энергии приведены на рисунке 2б. Кривые, представленные на этом графике иллюстрируют изменение звукового давления ($P_{зв.}$) с учетом расстояния от излучателя до точки измерения (R) и давления генерирующей среды на входе в генератор (акустическая форсунка).

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования акустических характеристик акустического генератора

1 – акустическая форсунка; 2 – расходомер для измерения расхода воздуха; 3 – расходомер для измерения расхода жидкости; 4 – манометр; 5 – штатив; 6 – термометры; 7 – конденсаторный микрофон; 8 – осциллограф; 9 – частотомер; 10 – анализатор спектра; 11 – шумомер

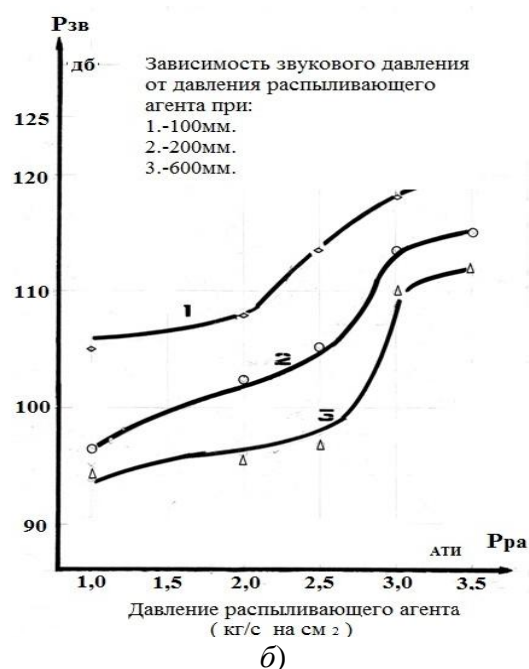
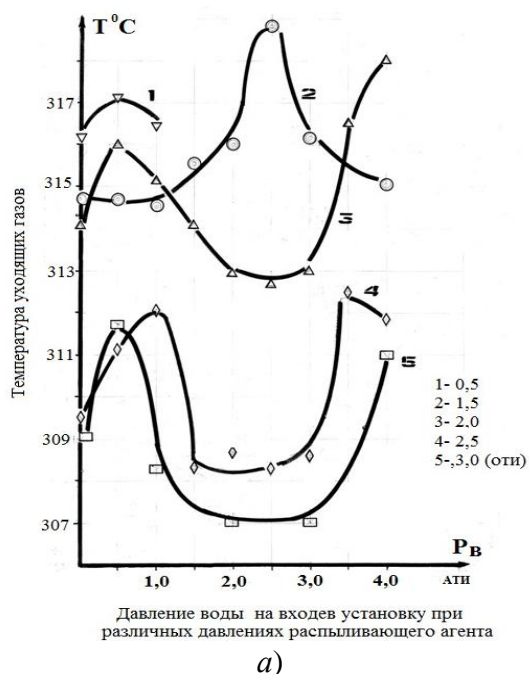
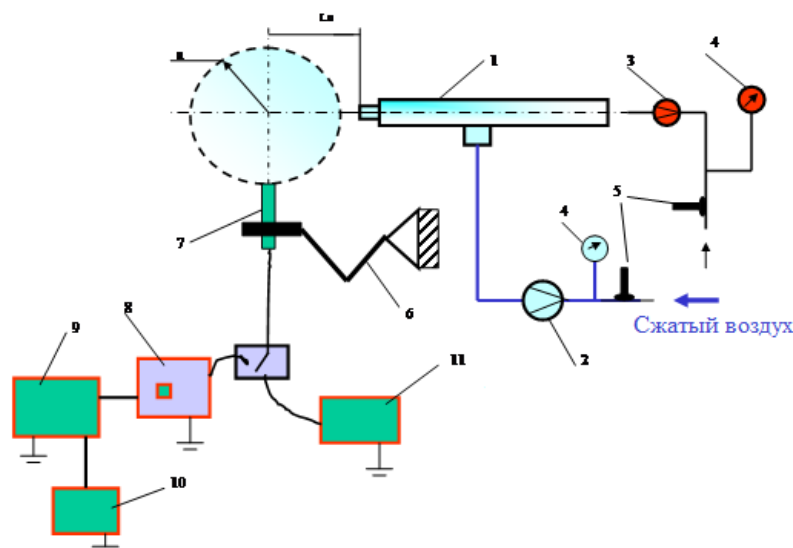


Рисунок 2 – Изменение температуры уходящих дымовых газов (а), Изменение величины звукового давления (б) в зависимости от давления распыливающего агента

Представленные кривые (1, 2 и 3), полученные при давлении генерирующей среды (сжатого воздуха) от, 0,1 мПа до 0,3 мПа, имеют одинаковый характер изменения. Из графика следует, что величина звукового давления зависит от расстояния и убывает по мере удаления от генератора (акустической форсунки) при этом можно выделить три характерные зоны:

- при изменении давления от 0,1 до 0,25 мПа имеет место пологое увеличение давления;
- при давлении от 0,25 мПа до 0,3 мПа происходит быстрый рост звукового давления;
- при дальнейшем увеличении давления генерирующей среды, имеет место плавное увеличение звукового давления. Так при расстоянии 100 мм звуковое давление равно 115 дБ, при 200 мм – до 110 дБ, при 600 мм – до 107 дБ.

Следует также отметить, что чем дальше исследуемая точка от генератора колебаний, тем более круто растущей становится рассматриваемая зависимость: кривая 3 – с 97 дБ до 108 дБ, кривая 2 с 102 дБ до 112 дБ;

Для оценки энергоэффективности были проведены исследования на опытно-промышленной установке на базе котла типа ДЕ-16-14 ГМ. В качестве критерия оценки использовано значение температуры дымовых газов на выходе из котла. Коэффициент избытка воздуха на выходе из котла при проведении серии опытов был постоянным [3].

На рисунке 2а приведены результаты, полученные при изменении величины температуры уходящих дымовых газов в зависимости от параметров распыливающего агента и параметров жидкости подаваемой в акустический многосопловый распылитель-генератор акустических колебаний.

На первом этапе при подаче только воды идёт снижение температуры отходящих дымовых газов с 320 °С до 318 °С при давлении воды 0,5 ати, 314 °С при давлении воды 2,0 ати, и 310 °С и 309 °С соответственно при давлении воды 2,5 ати и 3,0 ати. Дальнейшее увеличение давления распыливающего агента до 0,5 ати ведет к увеличению температуры от 1 °С (кривая 1) до 3 °С (кривая 5). Дальнейшее увеличение давления распыливающего агента ведет к уменьшению температуры уходящих дымовых газов и при давлении 2,0 ÷ 3,0 ати, данное изменение носит одинаковый характер у кривых 3, 4, 5 с давлением жидкой фазы соответственно 2,0 , 2,5 и 3 ати. Дальнейшее увеличение давления распыливающего агента вызывает рост температуры уходящих дымовых газов. Сопоставляя результаты с кривыми изменения звукового давления (рис. 2б) можно оптимизировать технологические параметры работы системы впрыска влаги в зону горения при воздействии колебаний.

Выводы:

Сопоставление кривых, приведенных на графиках (рис. 2а и рис. 2б) позволило выявить наиболее эффективные диапазоны параметров работы акустического генератора, а именно:

- давление распыливающего агента на входе в форсунку должно быть в пределах 2,5 – 3 ати;
- при указанных параметрах работы акустического генератора (акустической форсунки) наблюдается максимальное снижение температуры уходящих дымовых газов на выходе из котла – до 10 °С при наибольших значениях звукового давления;
- изменение звукового давления в зависимости от величины распыливающего агента носит нелинейный характер. Резкий рост звукового давления наблюдается при величине давления распыливающего агента в диапазоне от 0,2 до 0,3 МПа.

Список литературы

1. Худокормов, Н.Н. Использование активаторов горения для повышения эффективности работы котлов малой и средней мощности [Текст] / Н.Н. Худокормов, А.Н. Качанов // Энерго-и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов VIII –ой Международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: «Издательский дом «Орлик» и К», 2010. – С. 19-23.
2. Худокормов, Н.Н. Концепция комплексного подхода к решению проблемы повышения экологической и энергетической безопасности на основе использования энергосберегающих альтернативных топлив при производстве тепловой энергии [Текст] / Н.Н. Худокормов, Б.М. Кривоногов, А.В. Теньков // Энерго-и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов V–ой Международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: «Издательский дом «Орлик» и К», 2007. – С. 65-71.
3. Равич, М.Б. Эффективность использования топлива [Текст] / М.Б. Равич. – Изд-во «Наука», 1977. – с 344: ил.
4. Худокормов, Н.Н. К вопросу о новом способе повышения эффективности и качества сжигания топлива [Текст] / Н.Н. Худокормов, Б.М. Кривоногов, А.В. Теньков, А.Н. Качанов //

Энерго- и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов V-ой Международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: «Издательский дом «Орлик» и К», 2007. – С. 60-64.

Качанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», e-mail: kan@ostu.ru.

Коренков Дмитрий Андреевич, аспирант каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК».

Худокормов Николай Николаевич, вед. специалист ЗАО «РЭС», г. Курск.

УДК 627.1.03

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГOKBAPТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В Г.ОРЛЕ

Музалевская Г.Н., Музалевский А.А.

Россия, г. Орёл, ФБГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Повышение энергоэффективности и внедрение энергосберегающих технологий в настоящее время является одним из важнейших направлений перевода экономики на путь интенсивного развития и рационального природопользования. Таким образом, основными направлениями экономии энергоресурсов являются: совершенствование технологических процессов, совершенствование оборудования, снижение прямых потерь топливно-энергетических ресурсов, структурные изменения в технологии производства, структурные изменения в производимой продукции, улучшения качества топлива и энергии, организационно-технические мероприятия. Проведения таких мероприятий вызывается не только острой необходимостью экономии энергетических ресурсов, но и важностью учета вопросов охраны окружающей среды при решении энергетических проблем.

Ключевые слова: энергоэффективность, отопление, энергоресурсы, энергосбережение

The last time there are a lot of critical opinions about central heat supplying. The main defects are – the big losses of warm in tubes, deteriorations quality of heat supplying, because of absent on temperature graphic and necessities pressures. The main directions in increasing reliability of system is correct using of heat carrying agent and quality of works, doing on all periods – since period of marking project till technical supervision.

Key words: Energy efficiency, heating technology, energy resources, energy saving

Для повышения энергоэффективности при модернизации систем теплоснабжения, необходимо внедрять разработку научных основ технических решений и опытно-конструкторской документации с использованием комплексного автоматического регулирования параметров теплоносителя в здании, и адекватную этим задачам конструкцию системы отопления, обеспечивающих точность и стабильность комфортных условий и экономичный расход тепла.

В целом в настоящее время здания стареют гораздо более быстрыми темпами, чем темпы строительства новых жилых зданий и проведения капитального ремонта, модернизации, реконструкции и сноса ветхого и аварийного жилья. Особо важная проблема – это обновление жилых зданий построенных по типовым проектам в период 60-70-х годов. Особенно много нареканий жителей возникает в крупнопанельных домах с ненадежной гидро- и теплоизоляцией крыш и наружных стен и окон, которые приводит к протечкам и промерзаниям. Весьма остро стоит для большинства российских зданий избыточная инфильтрация из-за плохого состояния деревянных оконных и дверных блоков и особенно в местах общего пользования. В большинстве зданий система отопления является зависимой, то есть теплоноситель, подаваемый из системы районного теплоснабжения, поступает непосредственно к радиаторам, расположенным в квартирах, что не позволяет установку оборудования для системы отопления, позволяющего автоматически регулировать потребление тепла в зависимости от температуры наружного воздуха, температуры воздуха в квартирах, освещенности фасадов и ветровой нагрузки. Неустойчивый гидравлический режим теплопотребления.

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 тепло - и электроснабжающих организаций на предприятиях городов убедительно показывают, что энергосберегающим эффектом обладает компьютеризация расчетов с потребителями энергии. В значительной степени это связано с дисциплинирующим фактором, сопровождающим взаимоотношения поставщика и потребителя, возникающим в процессе компьютеризации учета. Внедрения новых ресурсосберегающих технологий, приборов учета и регулирования расхода энергоресурсов и воды, средств автоматизации систем жизнеобеспечения, замены устаревшего оборудования на энергосберегающее, а также комплексное автоматическое регулирование параметров теплоносителя в ИТП и в здании, с установкой балансировочных и запорных вентилей в ИТП, на разливах и стояках с расчетной настройкой и регулировкой установленного оборудования.

При модернизации систем в звене распределения между потребителями жилого дома внедрение технологии полностью автоматизированного количественно-качественного регулирования в индивидуальных тепловых пунктах, обеспечит качество и количество тепловой энергии в точном соответствии с погодными условиями, без непотопов осенью и перетопов весной и использование для насосов частотно-регулируемого электропривода. Использование таких технологий должно быть закреплено нормативными требованиями для нового строительства и постепенной замены при реконструкции существующих зданий.

Необходимо законодательно закрепить экономический механизм, заинтересованности коммунальных и эксплуатационных служб различных форм собственности и потребителей во внедрении такой технологии, в том числе путем льготного кредитования и налогообложения и экономического стимулирования.

На выбор стратегии реконструкции зданий большое внимание оказывают инженерное оборудование. Их технические параметры, физический износ, мощность и пропускная способность, определяют реконструкцию или полную модернизацию объектов с полной или частичной заменой сетей. Основная сложность проведения реконструктивных мероприятий заключается в значительной изношенности сетей и сооружений инженерных систем в городах и населенных пунктах, а также отставание мощностей и пропускной способности от потребностей.

Реконструкция возможна после обследования конструкций зданий и всех инженерных коммуникаций. Вместе с тем и сама система инженерного обеспечения нуждается в развитии и совершенствовании. Необходимость в реконструкции возникает в следующих случаях:

- при проведении ремонтно- восстановительных работ на сетях или сооружениях с применением новых материалов, энергосберегающих технологий и нового оборудования;
- при изменении характера предоставляемых услуг населению;
- при изменении функционального состава застройки территории и, как следствие новых требований к инженерному обеспечению;
- при строительстве объектов или сооружений, а также реконструкции имеющихся с изменением объемов или требуемого качества инженерного обеспечения.

При обследовании инженерных коммуникаций необходимо, чтобы заказчики предоставляли достаточную исходную информацию по существующим сетям теплоснабжения, газоснабжения, водоснабжения и канализации, электроснабжения, связи и радио, электрическим сетям, наружному электроосвещению, силовому оборудованию.

Для этого необходимо получить новые технические условия на соответствующие инженерные коммуникации. Путем анализа и расчета устанавливается технический уровень здания, для которого необходим капитальный ремонт с модернизацией:

- качество функционирования, состоящее из способности поддержания заданных параметров теплоносителей, надежности, безопасности, экологической безопасности, удобства пользования, а в последнее время и ограничение по расходу энергоресурсов;

- ресурсоемкость в сфере демонтажа и монтажа, эксплуатации.

После технического обследования основные рекомендации для модернизации должны включать следующие направления:

- применение более энергоэкономичных технических решений на основе последних достижений науки и техники;
- повышения тепловой защиты зданий;
- организация технологических процессов, в которых энергопотребляющее и энергопреобразующее оборудование эксплуатируется в оптимальных режимах;
- снижение постоянных составляющих энергозатрат, не связанных непосредственно с производством продукции и услуг;
- обеспечение качественных ремонтов и обслуживания энергопотребляющего оборудования и систем, поддержание его в исправном состоянии;
- обеспечение перехода на энергосберегающие и экологически чистые технологии.

Для модернизации индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) целесообразны следующие варианты:

- установка инжекторных насосов с переменным диаметром сопла, что обеспечивает возможность оперативной ручной настройки параметров теплоносителя в системе отопления;
- установка теплообменника отопления и системы автоматического управления параметрами теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха;
- установка теплообменника горячего водоснабжения и системы автоматического поддержания температуры горячей воды.

Для улучшения работы существующих тепловых сетей в г. Орле необходимо провести следующие мероприятия:

- энергоаудит систем теплоснабжения;
- диагностику источников теплоты;
- диагностику наружных строительных ограждений и систем отопления абонентов;
- диагностику состояния труб и изоляции магистральных и распределительных сетей со сбором данных для математического моделирования сети;
- расчет на математической модели гидравлического режима сети;
- разработку проекта производства работ по реконструкции тепловых сетей с учетом антикоррозийной защиты;
- проведение ремонтных и наладочных работ с увязкой гидравлических систем;
- инвентаризацию и амортизацию тепловых сетей с созданием базы данных оборудования, технологических узлов, сопутствующих элементов сети.

Список литературы

1. Богуславский, Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирование воздуха [Текст]: справочное пособие / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского, В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 620 с.
2. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети. – Введ. 2003-09-01. - М.: ГПЦПП, 2004. – 38 с.

Музалевская Галина Николаевна, Госуниверситет-УНПК, доцент кафедры «ГСиХ».

Музалевский Александр Александрович, студент АСИ Госуниверситет-УНПК; тел.: 8(0862)778419, 8(910)2665337; e-mail: myz99@mail.ru.

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНОГО БЛОКА В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Пичугин И.Л.

Россия, Москва, НИУ ВПО МГСУ

В статье рассматриваются вопросы социальной составляющей теплоснабжения. Использовались социологические методы исследования, произведена оценка текущей ситуации и выявлен вектор развития социального блока систем теплоснабжения.

Ключевые слова: учет, теплоснабжение, социальный блок, социологическое исследование, энергосбережение.

The article considers the questions of the social component of a heat supply. There are the sociological methods used in the article. The current situation has been assessed by the sociological survey. At conclusion was identified the vector of potential development of the social part of the heat supply systems.

Key words: metering, heat supply, energy saving, social sector, sociological survey.

Теплоснабжение является стратегически важной отраслью национальной экономики, в связи с чем ей следует уделять повышенное внимание. Весь процесс теплоснабжения можно представить в виде схемы: производитель энергии - транспортировка - потребитель энергии. Сложно переоценить степень социальной значимости отрасли, тепло в условиях климата наших широт является необходимым условием для комфортного существования и даже для сохранения жизни. У каждого участника процесса теплоснабжения свои интересы, если производитель энергии заинтересован прежде всего в получении прибыли от своей деятельности, т.е. поставить больше энергии по более высокой цене, сократив при этом себестоимость продукции; то потребитель энергии заинтересован в получении тепла по наименьшей цене наилучшего качества. В современных условиях со стороны государства уделяется значительное внимание данной отрасли, происходит это в связи с накопившимся количеством проблем, интенсивный рост тарифов, не соответствующий росту тарифов уровень качества тепла, колоссальные тепловые потери, низкий КПД систем теплоснабжения и многие другие. Частные компании, берущие в аренду производственные мощности, не заинтересованы в инвестиционных вливаниях, что сказывается на потребителе тепловой энергии. Государственные инициативы зачастую оторваны от реальной ситуации на рынке теплоснабжения, в связи с чем потребитель не получает реального эффекта от программ. Как следствие повышения тарифных ставок и несопоставимого изменения качества тепловой энергии возникает социальная напряженность населения, растет количество неплательщиков, что, в свою очередь, невыгодно для производителей и не позволяет инвестировать средства в модернизацию и ремонт основных фондов системы.

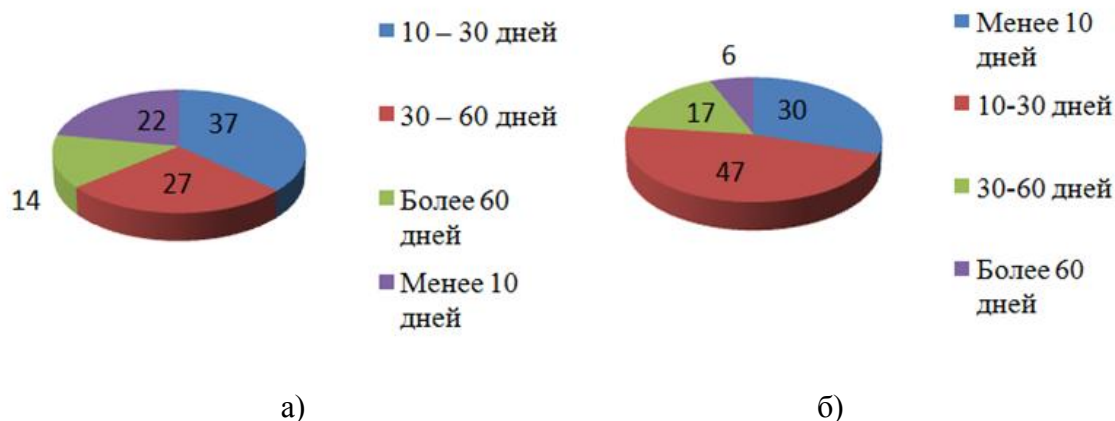


Рисунок 1 – Социологический анализ перетопов и недоотопливаемости жилья

Для эффективного функционирования системы теплоснабжения необходим баланс интересов всех участников. В качестве метода исследования интересов потребителей и мониторинга степени удовлетворенности потребителей текущей ситуацией в системе был выбран метод социологического анкетирования [1]. В качестве базы исследования были отобраны вопросы оценки текущего качества и развития системы теплоснабжения, целевой аудиторией являлись потребители, достигшие совершеннолетия, с приоритетом возрастной категории старше двадцати пяти лет. Опрос проводился в сети интернет, с помощью одной из платформ для проведения анкетирования. Всего участие приняли сто человек.

На рисунке 1 а) изображены ответы респондентов по поводу перетопов. У 37 процентов температура в жилом помещении превышает комфортную в течение промежутка 10-30 дней. У 27 процентов в жилище перетопы на протяжении месяца-двух. Что касается недоотопливаемости помещений, картина такова, что почти у половины респондентов две-четыре недели в жилище холодно. Налицо явный дисбаланс и нерациональное использование ресурсов. Устранив перетопы, возможно изыскать дополнительные средства на отопление в моменты, того требующие.

Опрос жителей города Орла показал, что у большинства жилище не оборудовано приборами учета тепла (75 процентов), у 72 процентов респондентов отсутствует возможность регулировки температуры теплоносителя.



Рисунок 3 – Оценка потенциальной возможности изменений системы оплаты услуг

В вопросе исследования потенциала развития социального блока системы теплоснабжения были получены следующие результаты. Большинство респондентов заинтересовано в индивидуальном подходе к оплате услуг теплоснабжения, 47 процентов опрошенных считает, что оплата должна зависеть не только от количества, но и от качества предоставленных ресурсов и услуг. Еще 35 процентов респондентов

уверенны в необходимости зависимости оплаты от количества потребленных ресурсов, независимо от качества услуг. Одиннадцать процентов считает, что уровень оплаты напрямую должен быть связан с качеством предоставленных услуг. И лишь семь процентов опрошенных устраивает существующая система оплаты. Значительным потенциалом обладает использование современных технологий как просто в системах теплоснабжения, в их технических и технологических составляющих, так и в системе управления отраслью. [2]

Выводы:

- 1) Нехватка приборов учета, переплаты, отсутствие мотивации экономить
- 2) Отсутствие возможно регулировки подачи тепла приводит к перерасходу ресурсов, перетопам и недотапливанию, резерв экономии и вектор развития - оснащение приборами учета и возможностью регулировки потребителей
- 3) Достаточно большое количество неудовлетворенных системой теплоснабжения, значительные промежутки времени в помещениях температура либо превышает комфортную, либо ниже её
- 4) Анкетирование выявило несовершенства в работе коммунальных служб, значительная часть опрошенных не слишком довольны их функционированием, отчасти в связи с недостаточно оперативным исправлением неполадок.
- 5) Потенциал развития социального блока в теплоснабжении в развитии цивилизованных отношений и переносе платежей в онлайн. Большинство высказалось именно за возможность оплаты услуг из дома, вместо потерь времени в очередях.

б) Снятию социальной напряженности и повышению уровня удовлетворенности поспособствует учет количественных и качественных показателей услуг теплоснабжения. Подобного рода система способна принести существенную экономию ресурсов, повысить платежеспособность населения через возможность контроля потребления и мотивации экономии ресурсов.

Список литературы

1. Лукинов, В.А., Региональная модель энергоменеджмента [Текст] / В.А. Лукинов, И.Л. Пичугин // Недвижимость: экономика, управление.– №1.– Москва. – 2013. – С. 73-76.

Пичугин Игорь Леонидович, ассистент кафедры Экономической теории НИУ ВПО МГСУ, Москва, Ярославское шоссе 26; тел.: 8(985)1856199; e-mail: ilpichugin@yandex.ru.

УДК: 621.3

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Саженкова Н.В., Усов В.В.

Россия, Москва, ФГБОУ ВПО НИУ «МЭИ»

В работе приведен способ оценки энергоэффективности городского хозяйства с помощью программного комплекса, который позволяет для вновь строящихся и реконструирующихся зданий и предприятий производить: расчет потерь напряжения силовых, осветительных, нагревательных и сварочных установок, расчет токов короткого замыкания. Основные задачи - повышение (оценка) энергоэффективности городского хозяйства и электробезопасности жителей и работников ЖКХ.

Ключевые слова: энергоэффективность, электробезопасность, городское хозяйство.

The energy efficiency assessment of municipal economy is conducted in this work, by means of program complex, that permits to make: short circuit calculation, voltage drop calculation of power, lighting, heating and welding equipment for new and reconstructed buildings and enterprises. The main tasks are: increase (assessment) of municipal economy energy efficiency and electrical safety of inhabitants as well as of housing and communal services workers.

Keywords: energy efficiency, electrical safety, municipal economy.

Одним из приоритетных направлений социального и экономического развития городов является повышение уровня комфортности проживания жителей, который обеспечивается бесперебойной работой систем жизнеобеспечения городского хозяйства: транспорта, систем тепло-, газо-, водо- и электроснабжения жилищного фонда, наружного освещения улиц и магистралей города.

Основным условием функционирования систем жизнеобеспечения городского хозяйства является их надежное, электробезопасное, энергоэффективное и бесперебойное электроснабжение.

В связи с ростом электротравматизма в жилых зданиях и производственных помещениях с 621 чел./год в 1952 г. в СССР до 4557 чел./год в 1996 г. в России проблема электробезопасности является актуальной и требует скорейшего решения [1].

Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определяет необходимость экономии ресурсов в стране.

Программный комплекс позволяет для вновь строящихся и реконструируемых зданий и предприятий, а также при энергоаудите производить:

- Расчет потерь напряжения [2] (рис. 1) силовых, осветительных, нагревательных и сварочных установок (потери на любом участке и/или суммарные потери на всем протяжении линии от источника до потребителя), которые могут иметь разветвленную

структуру, что свойственно жилищным, торговым и производственным строениям. Это позволяет не только спроектировать качественное освещение, а качество освещения напрямую влияет на здоровье человека, но и снизить потери энергетических ресурсов при их передаче. Поэтому расчет потерь напрямую связан с понятием энергоэффективности;

- Расчет токов короткого замыкания [3] (рис. 1, однофазного дугового и трехфазного металлического – ОДКЗ и ТМКЗ). Данный расчет позволит нам:

1. Оценить время автоматического отключения питания аппаратами защиты - это показатель, относящийся к электробезопасности людей (персонала, жителей и т.п.) при косвенном прикосновении к токоведущим частям электроустановок согласно ПУЭ (7 издание).

2. От токов КЗ отстраиваются аппараты защиты, для обеспечения селективного отключения аварийного участка. Отказ одного элемента не должен приводить к прекращению работоспособности всей системы, что может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, дисбаланс сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Следовательно, расчет токов КЗ является неотъемлемой частью при оценке электробезопасности и надежности системы электроснабжения.

Основные задачи - повышение (оценка) энергоэффективности городского хозяйства и электробезопасности жителей, работников и т.п. Объект исследования – системы электроснабжения объектов и малых предприятий городов Российской Федерации (ЖКХ, магазины, рынки и т.д.).

Методика расчета, заложенная в программу, основана на следующих документах: «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ), издания 6 и 7; ГОСТ 16442-80 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией»; ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ»; ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения», Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Ввод исходных данных для расчета

Наименование объекта:

Параметры системы

Ток КЗ на стороне ВН тр-ра, кА: U ном со стороны ВН, кВ: U ном. со стороны НН, кВ:

Параметры трансформатора

☐ Ввод параметров из БД ☒ Ввод параметров вручную

Номин. мощность, кВА: Схема соединений: Номинальный ток, А:

Потери КЗ, кВт: Напряжение КЗ, %: Вводной аппарат ГРЩ:

Параметры кабелей и аппаратов защиты

№ линии	Марка кабеля	Кол-во жил	Сечение, мм²	Длина, м	Кол-во кабелей	Аппараты защиты				Uном, В	Iрас, А	COSφ	Способ прокладки	Токр., °C	Редактировать
						In1, А	In2, А	Число фаз							
№ 1 <input checked="" type="checkbox"/>	ВБбШнг	5	5x150	50	2	600	600	3		380	500	0,9	в воздухе	20	
№ 2 <input type="checkbox"/>															
№ 3 <input type="checkbox"/>															
№ 4 <input type="checkbox"/>															

РЕЗУЛЬТАТЫ: Линия 1

 Iсз/Iмткз: кА

ΔU: В %

Рисунок 1 – Главное окно программы

Полученные результаты:

- повышение эффективности использования энергетических ресурсов в жилищном фонде, в системах коммунальной инфраструктуры, за счет сокращения потерь энергетических ресурсов при их передаче;
- сокращение расходов бюджетов на обеспечение энергетическими ресурсами государственных учреждений, муниципальных учреждений, органов государственной власти, органов местного самоуправления, а также расходов бюджетов на предоставление субсидий организациям коммунального комплекса на приобретение топлива, субсидий гражданам на внесение платы за коммунальные услуги с учетом изменений объема использования энергетических ресурсов;
- повышение уровня электробезопасности, за счет защиты от прикосновения к токоведущим частям электроустановок.

Программа предназначена для широкого применения различными организациями:

- проектирование вновь строящихся объектов городского хозяйства;
- реконструкция старых сооружений;
- проведение энергоаудита, в том числе проведение энергоаудита специальными малыми предприятиями при ВУЗах.

Разработанный программный комплекс «Расчет потерь напряжения в распределительных сетях до 1 кВ» был отмечен дипломом третьей степени по итогам Конкурса Юго-Восточного административного округа города Москвы на лучшую студенческую инновационную работу в 2010 году по направлению «Городское хозяйство».

Список литературы

1. Саженкова, Н.В. Разработка методики проверки эффективности работы защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1 кВ на этапе проектирования систем электроснабжения Н.В. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Наталья Викторовна Саженкова. – Москва: МЭИ, 2006.
2. Справочник по расчету проводов и кабелей [Текст] : 3-е издание, переработанное и дополнено. – М.: «ЭНЕРГИЯ», 1969.
3. Беляев, А.В. Выбор аппаратуры защит и кабелей в сетях 0,4 кВ [Текст] / А.В. Беляев. – Ленинград, «ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ», 1988.
4. Руководство по устройству электроустановок [Текст]: Schneider Electric, 2010.

Наталья Викторовна Саженкова, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭПП «НИУ «МЭИ»; адрес: 111397, г. Москва, Зелёный проспект, д.26, кв. 41; тел.: 8 (916) 144-1685; e-mail: ragoutkina@yandex.ru.

Владислав Вячеславович Усов, аспирант ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»; 140030, Московская обл., г. Раменское, ул. Гурьева, д. 1, корп. «Г», кв. 112; тел.: 8 (910) 4418601; e-mail: threatman@pochta.ru.

СЕКЦИЯ №2. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Руководители:

Турков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры СКИМ, ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орёл.

УДК 697.34(0.75)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СЕТЕВЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОТЕЛЬНЫХ

Горшенин В.П.

Россия, Орёл, ФГБОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ-УНПК»

В основу модели положены четыре уравнения: уравнение теплового потока, отдаваемого паром и его конденсатом в обеих ступенях установки, уравнение теплового потока, отдаваемого паром во второй ступени установки и уравнения тепловых потоков, воспринимаемых нагреваемой водой как во второй, так и в первой ступенях установки. Решение модели позволяет определить расход пара (конденсата), температуру нагреваемой воды на входе во вторую ступень установки и тепловые мощности ступеней установки.

Ключевые слова: котельная, водоподогревательная установка, сетевая (нагреваемая) вода, насыщенный пар, конденсат, расход, температура, энтальпия, тепловой поток, уравнение теплового потока, математическая модель.

The model is based on four equations: equation of heat-flow rejected by steam and its condensate at both stages of the unit; equation of heat-flow rejected by steam at the second stage of the unit and equations of heat-flows perceived by the heated water at the first and the second stages of the unit. Model solution allows determining of steam flow rate (condensate), temperature of water at input into the second unit stage and heating capacities of unit stages.

Key-words: boiler station, water heating unit, network heated water, saturated steam, condensate, flow rate, temperature, enthalpy, heat flow, heat-flow equation, mathematical model.

Как известно, сетевые водоподогревательные установки (ВПУ), размещаемые в котельных, выполняются обычно двухступенчатыми. В этих установках в качестве второй (верхней) ступени находят применение паровые водоподогреватели, а в качестве первой (нижней) ступени используются водяные водоподогреватели (охладители конденсата).

Соответственно, в верхнюю ступень сетевой ВПУ в качестве греющего теплоносителя поступает насыщенный пар низкого давления, а в нижнюю – его конденсат.

Содержанием данного исследования является разработка и решение математической модели теплового режима двухступенчатых сетевых ВПУ котельных. Величины, полученные в результате решения модели, находят применение в качестве исходных данных в тепловом расчете этих установок.

Исходные предпосылки, обеспечивающие разработку модели, обозначены в рамках анализа существующей методики теплового расчета сетевых ВПУ [1 - 4]. Согласно [3, 4], температура τ_{2k1} греющего теплоносителя (конденсата) на выходе из охладителей конденсата (из первой ступени ВПУ) определяется по выражению:

$$\tau_{2k1} = \tau_{1d1} + (5...10),^{\circ}C, \quad (1)$$

где τ_{1d1} – температура нагреваемой (обратной сетевой) воды на входе в первую ступень ВПУ.

Из-за наличия теплообмена между пленкой конденсата и наружной поверхностью трубок паровых водоподогревателей температура τ_{k2} конденсата понижается и становится несколько меньше температуры t_s насыщения. Учет понижения температуры τ_{k2} конденсата

приводит к некоторому росту мощности Q_{d2} верхней ступени (паровых водоподогревателей) сетевой ВПУ.

Соответственно, температура $\tau_{2k2}(\tau_{1k1})$ конденсата на выходе из паровых водоподогревателей (на входе в охладители конденсата) предварительно определяется следующим образом:

$$\tau_{2k2} = t_s - \Delta t_{k2}, \quad (2)$$

где t_s - температура насыщения, соответствующая давлению p_s насыщенного пара, поступающего в паровые водоподогреватели, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_{k2} - температурная поправка, учитывающая понижение температуры пленки конденсата на наружной поверхности трубок водоподогревателя; как показывают расчеты, предварительно может быть принято: $\Delta t_{k2} = (10...20)^{\circ}\text{C}$.

Одна из особенностей теплового расчета двухступенчатых сетевых ВПУ – это необходимость распределения их тепловой мощности по их ступеням. Отмеченная задача решается в результате решения математической модели теплового режима установок. Данная модель представляет собой следующую систему уравнений:

$$Q_d = D_n \cdot (i_s - i_{2k1}) \quad (D_n = G_k); \quad (3)$$

$$Q_{d2} = D_n \cdot (i_s - i_{2k2}); \quad (4)$$

$$Q_{d2} = c \cdot G_d \cdot (\tau_{2d2} - \tau_{1d2}); \quad (5)$$

$$Q_{d1} = c \cdot G_d \cdot (\tau_{2d1} - \tau_{1d1}), \quad (6)$$

где Q_d - тепловой поток, отданный конденсирующимся паром и его конденсатом, соответственно, в первой и во второй ступенях ВПУ, Вт; Q_{d2} - тепловой поток, отданный конденсирующимся паром и воспринятый нагреваемой (сетевой) водой во второй ступени ВПУ, Вт; Q_{d1} - тепловой поток, воспринятый нагреваемой (сетевой) водой в первой ступени ВПУ, Вт; D_n, G_k - расходы пара и конденсата, соответственно, через верхнюю (вторую) и нижнюю (первую) ступени ВПУ, кг/с; G_d - расход сетевой воды, циркулирующей через ВПУ, кг/с; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг $^{\circ}\text{C}$); i_s, i_{2k2} - энтальпии, соответственно, насыщенного пара при его температуре t_s (давлении p_s) насыщения и конденсата при его температуре τ_{2k2} , Дж/кг; τ_{2k2} - тоже, что и по выражению (2); i_{2k1} - энтальпия конденсата при его температуре τ_{2k1} , Дж/кг; τ_{2k1} - тоже, что и по выражению (1); τ_{1d2}, τ_{2d2} - температуры нагреваемой (сетевой) воды, соответственно, на входе и выходе из верхней (второй) ступени сетевой ВПУ, $^{\circ}\text{C}$; τ_{1d1} - тоже, что и в выражении (1); τ_{2d1} - температура нагреваемой (сетевой) воды на выходе из нижней (первой) ступени ВПУ, $^{\circ}\text{C}$.

Решением уравнения (3) является расход D_n насыщенного пара, поступающего в верхнюю (вторую) ступень сетевой ВПУ (расход G_k конденсата через её первую ступень).

По уравнению (4) находится тепловая мощность Q_{d2} верхней (второй) ступени сетевой ВПУ.

В результате решения уравнения (5) находится температура τ_{1d2} (τ_{2d1}) нагреваемой (сетевой) воды на входе в верхнюю (вторую) ступень (на выходе из нижней (первой) ступени) сетевой ВПУ.

Уравнение (6) служит для определения тепловой мощности Q_{d1} нижней (первой) ступени сетевой ВПУ.

Список литературы

1. Сафонов, А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям [Текст]: Учебное пособие для вузов / А.П. Сафонов. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
2. Соловьев, Ю.П. Проектирование теплоснабжающих установок для промышленных предприятий [Текст] / Ю.П. Соловьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 192 с.
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: Учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 8-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.
4. Козин В.Е. Теплоснабжение [Текст]: Учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.

Горшенин Владимир Петрович, канд. техн. наук, с.н.с., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл; тел.: 8(4862) 432630; 8(960)6434741.

УДК 697.34(0.75)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Горшенин В.П.

Россия, Орёл, ФГБОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ-УНПК»

В основу модели положены семь уравнений. Первые три уравнения - это уравнения тепловых потоков, воспринимаемых нагреваемой водой в целом в ВПУ ГВС, а также по отдельности в ее двух ступенях. Остальные четыре уравнения – это уравнения тепловых потоков, отдаваемых греющей водой в целом в тепловом пункте и по отдельности в теплообменниках ГВС и отопления. Решение модели позволяет определить расходы нагреваемой и греющей воды, тепловые мощности ступеней ВПУ ГВС, температуры греющей воды на выходе из второй ступени ВПУ ГВС, системы отопления, первой ступени ВПУ ГВС.

Ключевые слова: тепловой пункт, водоподогревательная установка, нагреваемая вода, греющая (сетевая) вода, расход, температура, тепловой поток, уравнение теплового потока, математическая модель.

The model is based on seven equations. The first three equations are the equations of heat flows perceived by the heated water in whole in Water Warming Plant (WWP) of Hot Water Supply (HWS), and also separately at its stages. The rest four equations are the equations of heat flows rejected by water in whole at heat supply station and separately in heat exchange unit of Hot Water Supply and heating. Model solution allows determining of heated and heating water rate, heating capacities of the stages of WWP of HWS, heating water temperature at output at the second stage of WWP of HWS, heating system, the first stage of WWP of HWS.

Key-words: heat supply station, water heating unit, heated water, heating (network) water, flow rate, heat flow, heat-flow equation, mathematical model.

Содержанием данного исследования является совершенствование математической модели теплового режима последовательных двухступенчатых водоподогревательных установок (ВПУ) горячего водоснабжения (ГВС) систем централизованного теплоснабжения (СЦТ). Величины, полученные в результате решения модели, находят применение в качестве исходных данных в тепловом расчете этих установок.

Исходные предпосылки, обеспечивающие разработку модели, обозначены в рамках анализа существующих методик теплового расчета ВПУ ГВС. Согласно [1, 2], при выполнении теплового расчета ВПУ ГВС в качестве расчетного значения температуры наружного воздуха принимается ее значение в точке излома температурного графика ($t_{ни}$) или в начале (конце) отопительного периода ($t_{нн}$), если излом графика отсутствует. В этом случае значение температуры $\tau_{1h2и}$ греющей (сетевой) воды на входе во вторую (верхнюю) ступень ВПУ ГВС принимается следующим образом:

$$\tau_{1h2и} = \tau_{1пи} \text{ или } \tau_{1h2и} = \tau_{1ои},$$

где τ_{1nu} , τ_{1ou} – температуры прямой сетевой воды в точке излома, соответственно, повышенного и отопительно-бытового температурного графиков (при $t_n=t_{nu}$), °C.

Значение расчетного теплового потока Q_{hs} на горячее водоснабжение в тепловых расчетах ВПУ ГВС принимается в зависимости от такого фактора как наличие в СЦТ баков-аккумуляторов горячей воды. При наличии отмеченных баков в качестве расчетного принимается средний тепловой поток Q_{hm} , а при их отсутствии – максимальный тепловой поток Q_{hmax} на горячее водоснабжение [1, 2].

Одна из исходных предпосылок, принятых при разработке модели состоит в том, что основу теплового расчета последовательных ВПУ ГВС составляют традиционные уравнения теплового баланса и теплопередачи. Отмеченная предпосылка принята с учетом исследований, выполненных в [3, 4]. При этом, например, в [2] в основу теплового расчета всех видов ВПУ ГВС вместо уравнения теплопередачи положено их уравнение характеристики.

Математическая модель теплового режима двухступенчатых последовательных ВПУ ГВС может быть представлена как система следующих уравнений:

$$Q_{hs} = c \cdot G_{hs} \cdot (\tau_{hs} - \tau_c); \quad (1)$$

$$Q_{h1s} = c \cdot G_{hs} \cdot (\tau_{h1u} - \tau_c); \quad (2)$$

$$Q_{h2s} = c \cdot G_{hs} \cdot (\tau_{hs} - \tau_{h1u}); \quad (3)$$

$$Q_{ou} + Q_{hs} = c \cdot G_{ds} \cdot (\tau_{1h2u} - \tau_{2h1u}); \quad (4)$$

$$Q_{h2s} = c \cdot G_{ds} \cdot (\tau_{1h2u} - \tau_{2h2u}); \quad (5)$$

$$Q_{ou} = c \cdot G_{ds} \cdot (\tau_{1ouf} - \tau_{2ouf}); \quad (6)$$

$$Q_{h1s} = c \cdot G_{ds} \cdot (\tau_{1h1u} - \tau_{2h1u}), \quad (7)$$

где Q_{hs} – расчетный тепловой поток на горячее водоснабжение; Q_{h1s} и Q_{h2s} – расчетные тепловые потоки, воспринимаемые нагреваемой водой и отдаваемые греющей (сетевой) водой, соответственно, в первой и во второй ступенях ВПУ; Q_{ou} – тепловой поток на отопление в точке излома отопительно-бытового температурного графика (при $t_n=t_{nu}$); c – удельная теплоемкость воды; G_{hs} – расчетный расход нагреваемой воды; G_{ds} – расчетный расход сетевой (греющей) воды на тепловой пункт; τ_c , τ_{h1u} , τ_{hs} , – расчетные температуры нагреваемой воды, соответственно, на входе и на выходе из первой ступени ВПУ, на выходе из ее второй ступени, °C; τ_{1h2u} , τ_{2h2u} – расчетные температуры греющей (сетевой) воды, соответственно, на входе и выходе из второй (верхней) ступени ВПУ, °C; τ_{1ouf} , τ_{2ouf} – температуры греющей (сетевой) воды, соответственно, на входе и выходе из системы водяного отопления; τ_{1h1u} , τ_{2h1u} – расчетные температуры греющей (сетевой) воды, соответственно, на входе и выходе из первой (нижней) ступени ВПУ, °C.

Значение температуры τ_{2h1u} (τ_{2u}) греющей воды после первой (нижней) ступени ВПУ ГВС (на выходе из теплового пункта) принимается как технически целесообразное значение.

Решением уравнения (1) является расчетный расход G_{hs} нагреваемой воды.

С помощью уравнений (2) и (3) находятся тепловые потоки Q_{h1s} и Q_{h2s} , передаваемые от греющей к нагреваемой воде, соответственно, в первой (нижней) и во второй (верхней) ступенях ВПУ ГВС (их тепловые мощности).

Решением уравнения (4) является расчетный расход G_{ds} сетевой воды через тепловой пункт.

Уравнение (5) решается относительно температуры τ_{2h2u} (τ_{1ouf}) греющей (сетевой) воды на выходе из второй (верхней) ступени ВПУ ГВС (на входе в теплообменное устройство систем водяного отопления).

Из уравнения (6) находится температура τ_{2ouf} (τ_{1h1u}) греющей (сетевой) воды на выходе из систем водяного отопления (на входе в первую ступень ВПУ).

Из уравнения (7) находится температура τ_{2h1u} (τ_{2u}) греющей (сетевой) воды на выходе из первой (нижней) ступени ВПУ ГВС (на выходе из теплового пункта) и в результате чего проверяется правильность предыдущих вычислений.

В инженерной практике температура τ_{h1u} нагреваемой воды после первой (нижней) ступени ВПУ в точке излома отопительно-бытового температурного графика вычисляется обычно с использованием соотношения [2]:

$$\tau_{h1u} = \tau_{1h1u} - \Delta\tau_{h1u}, \quad (8)$$

где τ_{1h1u} – тоже, что и в уравнении (7); $\tau_{1h1u} = \tau_{2ou}$; τ_{2ou} – температура обратной сетевой воды в точке излома отопительно-бытового температурного графика, °С; $\Delta\tau_{h1u}$ – недогрев нагреваемой воды после первой (нижней) ступени ВПУ до температуры τ_{1h1u} сетевой (греющей) воды, поступающей в эту ступень после систем водяного отопления и второй (верхней) ступени ВПУ, °С; технически целесообразное значение величины $\Delta\tau_{h1u}$ составляет [2]: $\Delta\tau_{h1u} = (5 \dots 10)^\circ\text{C}$.

Следует отметить, что температуру τ_{h1u} , входящую в уравнения (2) и (3), с использованием выражения (8) в рамках решаемой задачи определить не представляется возможным. Это связано с тем, что температура τ_{1h1u} (τ_{2ouf}) в уравнении (6) является неизвестной величиной.

Как отмечено в [4], при $Q_{h1s} = Q_{h2s}$: $\tau_{h1u} = 0,5 \cdot (\tau_{hs} + \tau_c)$. В этом случае значение температуры τ_{h1u} в среднем получается, как показывают расчеты, несколько меньше, чем ее значение по выражению (8).

В конечном счете, расчетное значение температуры τ_{h1u} определяется следующим образом:

$$\tau_{h1u} = 0,5 \cdot (\tau_{hs} + \tau_c) + \delta\tau_{h1u}, \quad (9)$$

где τ_{hs} , τ_c – тоже, что и в уравнении (1); $\delta\tau_{h1u}$ – температурная надбавка, °С.

В выражении (9) предварительно принимается, что: $\delta\tau_{h1u} = 3 \dots 7^\circ\text{C}$ и затем, если не выполняется соотношение (8), значение величины $\delta\tau_{h1u}$ уточняется.

Список литературы

1. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов [Текст].
2. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 8-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.
3. Горшенин, В.П. Анализ методов решения задачи центрального качественного регулирования отпуска теплоты в водяных системах централизованного теплоснабжения [Текст] / В.П. Горшенин // Строительство и реконструкция, 2011. – №5. – С. 8 – 14.
4. Горшенин, В.П. Новый подход к решению задачи центрального регулирования совмещенной нагрузки отопления и горячего водоснабжения в водяных системах централизованного теплоснабжения [Текст] / В.П. Горшенин // Строительство и реконструкция, 2012. – №5. – С. 39 – 49.

Горшенин Владимир Петрович, канд. техн. наук, с.н.с., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл; тел. 8(4862)432630; 8(960)6434741.

УДК: 621.31.002.5

АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ

Дробязко О.Н. , Сошников А.А.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ им. И.И. Ползунова

В статье приведены результаты анализа видов техногенной опасности электроустановок зданий в качестве методологической основы для создания комплексных систем обеспечения безопасности.

Ключевые слова: электроустановка, опасность, безопасность, электропоражение, пожар, короткое замыкание, перегрузка, электромагнитное излучение, система безопасности.

ANALYSIS OF TECHNOGENIC DANGERS ELECTRICAL INSTALLATIONS OF BUILDINGS

O.N. Drobyazko, A.A. Soshnikov

The article presents the results of analysis of species technogenic danger electrical installations buildings as a methodological basis for the development of comprehensive system ensure the safety.

Keywords: electrical installation, danger, safety, electrical shock, fire, short circuit, overload, electromagnetic radiation, security system.

Электроустановки зданий являются одним из самых распространенных источников техногенной опасности. С этими техническими устройствами человек взаимодействует ежедневно в различных сферах своей жизнедеятельности.

Опасность таких электроустановок имеет несколько видов, каждый из которых характеризуется собственными физическими процессами и особенностями физиологического воздействия на человека. Некоторые виды опасности в теоретическом и прикладном аспектах рассматриваются в рамках отдельных научных и инженерных дисциплин, таких как «Электробезопасность» и «Пожаробезопасность». При этом уделяется внимание и вопросам построения систем защиты человека.

Наличие нескольких разновидностей опасности электроустановок предопределяет необходимость их комплексного рассмотрения.

Полный спектр известных в настоящее время опасностей представлен в рамках дисциплин «Безопасность жизнедеятельности» и «Ноксология». Однако в этих дисциплинах не рассматривается совокупность видов опасности для определенных технических устройств. В связи с этим возникает необходимость в формировании интегрирующего научного направления (научной дисциплины) «Комплексная безопасность электроустановок зданий».

Целесообразность формирования такого направления обусловлена: 1) большим количеством источников техногенной опасности и интенсивным взаимодействием людей с этими источниками, 2) необходимостью рассмотрения одновременно всех видов опасности электроустановок (как для специалистов, так и для широких слоев населения), 3) появлением относительно нового аспекта опасности электроустановок, обусловленного влиянием на человека электромагнитных полей промышленной частоты, генерируемых электроустановками, 4) сходством первопричин различных опасностей электроустановок, 5) использованием единых технических решений для предотвращения опасностей электроустановок.

Междисциплинарное научное и инженерное направление «Комплексная безопасность электроустановок зданий» должно иметь две части, включающих анализ техногенной опасности электроустановок и разработку технических систем, обеспечивающих комплексную безопасность рассматриваемых электроустановок.

При проведении анализа техногенной опасности электроустановок необходимо, прежде всего, опираться на научные положения, содержащиеся в теории безопасности и научной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» [1].

Особого внимания требует вопрос определения понятий «опасность» и «безопасность». Как указано в специальном терминологическом исследовании [2], эти базовые понятия до настоящего времени окончательно не определены.

Важным результатом этого исследования является положение о том, что безопасность представляет собой системную характеристику взаимодействия двух специальным образом взаимодействующих объектов. Изучение опасности электроустановок зданий целесообразно осуществлять именно на этой основе с учетом специфики процессов предметной области. При описании опасности электроустановок системную «концепцию двух объектов» целесообразно расширить до «концепции трех объектов», введя в рассмотрение дополнительный объект, функцией которого является защита одного объекта

от воздействий другого объекта (объекта опасности от источника опасности). Введение третьего объекта позволяет продуктивно использовать «сопряженный» термин «безопасность» и описывать на его основе «понятийное поле» систем обеспечения безопасности.

Важным вопросом разрабатываемого междисциплинарного направления является описание источников опасности. Очевидно, что в роли таких источников выступают электроустановки зданий. Вместе с тем существует большое количество вариантов выделения электроустановок, находящихся в пределах помещения. Нами предлагается конструктивно-функциональное описание источника опасности, базирующееся на понятии «сгруппированная электроустановка». Такая электроустановка включает всю систему электроснабжения помещения и все находящиеся в нем электроприемники.

После описания источника опасности в помещении необходимо выявить перечень объектов (объектов опасности), по отношению к которым электроустановки играют роль источников опасности. При таком выявлении одновременно можно осуществлять и выделение видов опасности электроустановок.

В перечень указанных объектов, прежде всего, входит человек. На него электроустановкой может быть оказано несколько различных видов воздействий. Одно из них определяется возможностью протекания тока через тело человека. В результате такого воздействия может возникнуть электрический удар и электрический шок, которые могут привести к смертельному электропоражению [3]. Рассмотренное воздействие определяет первый вид опасности электроустановок зданий.

Вторым возможным видом является воздействие на человека электромагнитного поля, создаваемого электроустановкой [4]. В общем случае на человека могут оказывать влияние как электрическая, так и магнитная составляющие поля. Поля, создаваемые электроустановками, могут иметь различную частоту. Таким образом, электроустановки являются источником второго вида опасности - электромагнитной.

К одной из разновидностей опасности электроустановок, выделенной в [5], относится материальный ущерб, вызываемый пожаром из-за различных «электротехнических» причин. Такими причинами обычно являются аварийные режимы – короткие замыкания и перегрузки. Эти режимы создают условия для возникновения источников зажигания, вызывающих пожар.

Уничтожение объектов в зоне пожара, приводит к тому, что собственнику объекта наносится прямой или косвенный материальный ущерб. Таким образом, в качестве объекта опасности рассматриваются некоторые объекты, оказывающиеся в зоне пожара. При этом оценивается только экономический аспект от их повреждения. Рассмотренные явления определяют третий вид опасности электроустановок зданий.

Вместе с тем возможно возникновение пожара, объектами которого являются сами электроустановки или их части. Так, например, возможно загорание изоляции на участке электропроводки. Повреждение электроустановки по указанной причине также приводит к прямому или косвенному материальному ущербу ее собственника. Будем в связи с этим выделять четвертый вид опасности электроустановок, связанный с возможностью их «самоповреждения» вследствие пожара.

На практике возможны ситуации, когда пожар по электрическим причинам, возникший в помещении, вызывает воздействие пожароопасных факторов на людей, оказавшихся в рассматриваемом помещении. В этом случае нужно говорить об опосредованном опасном воздействии электроустановок на организм человека, осуществляемом через явление пожара. Объектом опасности в данном случае опять становится человек. Процесс опасного воздействия электроустановки на человека становится многостадийным. Будем связывать с рассмотренным явлением пятый вид опасности.

В сельскохозяйственных помещениях может быть выделен вид еще одной опасности, обусловленный снижением продуктивности или гибели животных вследствие неисправности электроустановок.

Таким образом, нами выделены шесть видов техногенной опасности электроустановок зданий. Этот перечень предопределяет функции, которыми должны обладать комплексные системы защиты таких электроустановок.

Научные исследования по созданию многофункциональных систем защиты электроустановок с различными наборами защитных функций в течение нескольких десятилетий ведутся в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова [6]. Представленный материал определяет направление формирования новой научной дисциплины, позволяющей строить полнофункциональные системы защиты.

Список литературы

1. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды [Текст] : учебник / С. В. Белов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2011. – 680 с.
2. Гражданкин, А. И. Опасность и безопасность [Текст] / А.И. Гражданкин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 9. – С. 41-43.
3. Маньков, В.Д. Обеспечение безопасности при работе с ПЭВМ [Текст] : Практическое руководство / В.Д. Маньков . – СПб.: Политехника, 2004. – 277 с.
4. Карякин, Р.Н. Основы электромагнитной совместимости [Текст] : учебник для вузов / Р.Н. Карякин, Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Н.Т. Герцен, Т.В. Еремина, А.А. Зайцев; под ред. Р.Н. Карякина. – Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Изд. 2-е, перераб.- Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 470 с.
5. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.– Введен. 2000-01-01. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ervist.ru/info/normbase/gost12304798.pdf>.
6. Никольский, О.К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации [Текст] / О.К. Никольский, А.А. Сошников, О.Н. Дробязко, Т.В. Еремина, С.А. Сошников, Ю.С. Лукьянов, С.Н. Серов, Б.С. Компанеев, С.Ф. Нефедов, О.В. Полухин; под ред. А.А. Сошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 112 с.

Дробязко Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; Почтовый адрес: 656064, г. Барнаул, ул. Павловский тракт, д.62, кв. 75; e-mail: drolnik@List.ru; тел.: 8 (385-2) 36-71-29.

Сошников Александр Андреевич, д-р технических наук, профессор кафедры «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова; Почтовый адрес: - 656002, г. Барнаул, Проезд 9 мая, д. 9, кв. 29; e-mail: elnis@inbox.ru; тел.: 8 (385-2) 36-71-29.

УДК 621.184 : 001.891.5

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Качанов А.Н., Коренков Д.А.

Россия, г. Орёл, ФБГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Худокормов Н.Н.

Россия, г. Курск, ЗАО «РЭС»

Пал М.

Германия, г. Падерборн, Университет «Падерборн»

В статье приведены результаты исследования по применению технологий интегрально-комплексного подхода в котле типа КВГМ 100 при работе на природном газе. Доказана энергетическая и экологическая эффективность применения предложенной технологии интегрально-комплексного подхода на котле типа КВГМ 100.

The article presents the results of a study on the application of integrated technology-integrated approach in the boiler KVGM 100 for natural gas. Proved energy and environmental effectiveness of the proposed technology-integrated comprehensive approach to the boiler KVGM 100.

Проведенный анализ существующих конструкций котлов малой и средней мощности позволил четко определить наиболее рациональные схемы применения технологий интегрально-комплексного подхода, в основе которых лежит применение акустических колебаний [1, 2].

Применительно для котла типа КВГМ 100 данные технологии основываются на использовании многозонного сжигания совместно с впрыском влаги в пространство горящего факела в зоне действия акустических колебаний.

Организация многозонного сжигания в котле осуществлялась перераспределением воздуха на горелочные устройства за счет изменения положения их шиберов с пульта оператора.

Водогрейный котел типа КВГМ 100 был переоборудован под опытно-промышленную установку и оснащён всеми необходимыми точками пробоотбора. В качестве топлива использовался природный газ.

Анализ дымовых газов выполнялся на газоанализаторе типа ТЕСТО. Отбор пробы дымовых газов и замер температуры производился на выходе из котла перед дымососом из первого и второго газоходов.

Тепловая мощность котла в период проведения испытаний изменялась от 60 Гкал/час до 100 Гкал/час (69,77 МВт до 116,28 МВт).

КПД котла подсчитывали по прямому и обратному тепловым балансам по методике М.Б Равича [3].

В качестве отправных режимов, при которых были проведены балансовые испытания котла, были выбраны следующие значения тепловой мощности котла: 60 Гкал/час (69,77 МВт), 63 Гкал/час (73,26 МВт), 73 Гкал/час (84,88 МВт), 84 Гкал/час (97,67 МВт), 100 Гкал/час (116,28 МВт).

Перерывы между контрольными замерами для выполнения теплового баланса котла составляли (Авдеева): при изменении теплового режима – не менее 3-х часов, при изменении воздушного режима – не менее 30 мин.

Перед началом проведения испытаний котел отработал трое суток.

В начале была выполнена «фотография» котла, целью которой было определить базовые точки замера состава дымовых газов и параметров для подсчета теплового баланса котла на каждом выбранном тепловом режиме. Концентрация NO_x приводилась к коэффициенту избытка воздуха $\alpha = 1$.

Математическая обработка полученных данных позволила получить зависимости изменения концентрации окислов азота в зависимости от применяемого метода снижения выбросов оксидов азота и изменение КПД. Ограничением при проведении испытаний принималось концентрация $\text{CO} = 0 - 1 \text{ ppm}$.

В качестве турбулизатора использовалась акустическая форсунка, в основе конструкции которой использован генератор Гартмана. В качестве рабочей среды использовался сухой насыщенный пар.

Испытания котла проводились в объеме балансовых испытаний с обязательным измерением выбросов вредных веществ.

Изменение концентрации оксидов азота имеет ярко выраженную нелинейную зависимость (рис.1). Так при 63 % тепловой нагрузке максимальное значение оксидов азота, приведенное к коэффициенту избытка воздуха 1, составляет 200 мг/м^3 . Перераспределение воздуха позволяет снизить концентрацию оксидов азота до 165 мг/м^3 , впрыск влаги в зону горения позволяет снизить выбросы оксидов азота до 145 мг/м^3 . При комбинированном воздействии впрыска влаги в зоне действия акустических колебаний и перераспределения

воздуха по грелочным устройствам достигается снижение выбросов оксидов азота до 95 мг/м³. Применение комбинированного метода позволяет повысить КПД котла на 2,9 %.

Дальнейшее увеличение тепловой мощности котла влечет за собой увеличение концентрации оксидов азота, причем тенденция снижения выбросов сохраняется. При максимальной тепловой мощности котла концентрации оксидов азота в начальной стадии составляет 240 мг/м³, в режиме перераспределения воздуха – 208 мг/м³, впрыск влаги – 180 мг/м³, при комбинированном воздействии на факел – 110 мг/м³.

Таблица 1 – Изменение окислов азота и КПД котла в зависимости от применяемого метода

Наименование величин	Значение величин			
	Тепловая мощность котла, Гкал /час			
	62,7	72,9	83,8	99,8
Исходная концентрация окислов азота, мг/м ³	199	208	221	239
Концентрация окислов азота, мг/м ³ (ступенчатое сжигание)	163	165	196	209
Концентрация окислов азота, мг/м ³ (впрыск влаги в зону горения при воздействии акустических колебаний)	151	155	166	181
Концентрация окислов азота, мг/м ³ (впрыск влаги в зону горения при воздействии акустических колебаний + ступенчатое сжигание)	93,1	94,2	101,9	109,9
Процент снижения окислов азота, %	53,2	54,7	53,9	54
Увеличение КПД, %	+ 2,9	+2,8	+2,5	2,2

КПД при увеличении тепловой мощности котла изменяется следующим образом: при 63 % происходит увеличение КПД по сравнению с базовым вариантом на 3 %, при 73 % увеличение составляет 2,8 %, при 84 % увеличение КПД составляет 2,5 %, при 100 % нагрузке - 2,4 %.

На рис. 1 показаны графики изменения концентрации оксидов азота при применении различных методов понижения выбросов оксидов азота. Кривая 1 соответствует изменению динамики концентрации оксидов азота в исходном состоянии работы котла в зависимости от тепловой мощности котла. Кривая 2 соответствует изменению динамики концентрации оксидов азота в режимах ступенчатого сжигания природного газа при работе котла в зависимости от тепловой мощности котла. Кривая 3 соответствует изменению динамики концентрации оксидов азота в режимах впрыска влаги в зону горения в зоне действия акустических колебаний

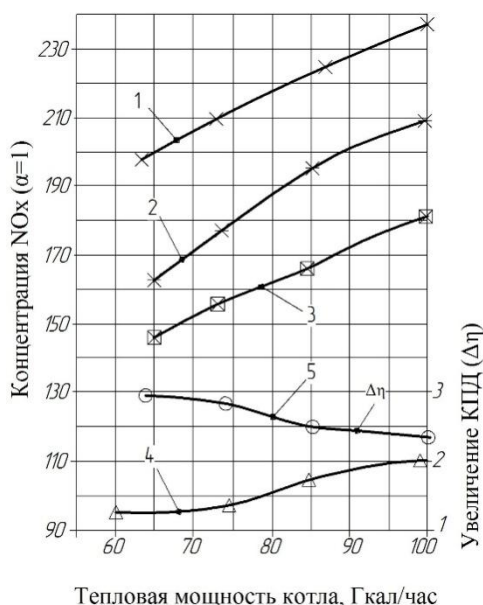


Рисунок 1 – Изменение концентраций окислов азота при применении различных методов понижения выбросов оксидов азота

1 - Концентрация окислов азота при работе котла без применения методов; 2 - Концентрация окислов азота при работе котла при много ступенчатом сжигании; 3 - Концентрация окислов азота при работе котла при впрыске влаги в зону горения в зоне действия акустических колебаний; 4 - Концентрация окислов азота при работе котла при многоступенчатом сжигании совместно с впрыском влаги в зону горения при воздействии акустических колебаний; 5 - Увеличение КПД котла при работе котла при многоступенчатом сжигании совместно с впрыском влаги в зону горения при воздействии акустических колебаний.

при работе котла в зависимости от тепловой мощности котла.

Кривая 4 соответствует изменению динамики концентрации окислов азота в режимах ступенчатого сжигания природного газа совместно с впрыском влаги в зону горения при работе котла в зависимости от тепловой мощности котла.

Выводы:

1. Наиболее перспективным методом применения схемы интегрально-комплексного подхода для котла типа КВГМ 100 является комбинированное использование перераспределения воздуха совместно с впрыском влаги в зону горения при воздействии акустических колебаний.

2. Увеличение КПД при применении указанных технологий имеет нелинейный характер и изменяется в пределах от 2,9 % при тепловой мощности котла 60 % и 2,2 % при 100 % тепловой мощности.

3. Максимальное снижение окислов азота составляет 53,2 % при тепловой мощности и 54 % при тепловой мощности 100 %.

Список литературы

1. Худокормов, Н.Н. Использование активаторов горения для повышения эффективности работы котлов малой и средней мощности [Текст] / Н.Н. Худокормов, А.Н. Качанов // Сб. Энерго- и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов VIII Международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: Издательский дом «ОРЛИКиК», 2010. – С. 159-163.

2. Худокормов, Н.Н. К вопросу о новом способе повышения эффективности и качества сжигания топлива [Текст] // Н.Н. Худокормов, Б.М. Кривоногов, А.В. Тиньков, А.Н. Качанов // Сб. Энерго- и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов V Международной научно-практической интернет-конференции. Орёл: Издательский дом «ОРЛИКиК», 2007. – С. 65-71.

3. Равич, М.Б. Эффективность использования топлива [Текст] / М.Б. Равич. – Изд-во «Наука», 1977. – 344 с.: ил.

Качанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», e-mail: kan@ostu.ru.

Коренков Дмитрий Андреевич, аспирант каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК».

Худокормов Николай Николаевич, вед. специалист ЗАО «РЭС», г. Курск.

Пал Манфред, доктор наук, профессор кафедры «Механическая перерабатывающая техника», университет «Падерборн».

УДК 621.184 : 001.891.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНО-КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА КОТЛЕ ТИПА ДЕ-16-14 ГМ ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Качанов А.Н., Коренков Д.А.

Россия, г. Орёл, ФБГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Худокормов Н.Н.

Россия, г. Курск, ЗАО «РЭС»

Пал М.

Германия, г. Падерборн, Университет «Падерборн»

В статье приведены результаты исследования применения интегрально-комплексной технологии в основе которой лежит впрыск влаги в область горения в зоне действия акустических колебаний. Показаны результаты увеличения КПД котельной установки и снижения выбросов окислов азота. Приведены данные влияния частоты колебаний на величину снижения выбросов окислов азота.

The article presents the results of a study of application of integrated-complex technology which is based on injection of moisture in the area of combustion in range of the acoustic oscillations. Shows the results of the increase in the efficiency of the boiler plant and reduce emissions of nitrogen oxides. Are given data on the effect of the oscillation frequency on the value of reducing emissions of nitrogen oxides.

Применение интегрально-комплексных технологий для котлов типа ДЕ основывается на технологии впрыска влаги в область горения газового топлива в зоне действия акустических колебаний [1, 2].

В задачу исследований, которые были проведены на котле типа ДЕ, входило:

- выявление эффективности воздействия впрыска влаги в область горения в зоне действия акустических колебаний;
- выявление максимально возможного содержания влаги без снижения КПД котла;
- определение частоты акустических колебаний, воздействующих на область горения, влияющей на процент снижения выбросов окислов азота.

Для решения указанных выше исследовательских задач была смонтирована опытно-промышленная установка на базе парового котла типа ДЕ 16-14 ГМ. В качестве генератора акустических колебаний использована акустическая форсунка, в основе конструкции которой был использован стержневой генератор акустических колебаний Гартмана. Акустическая форсунка была установлена на базу штатной форсунки в горелочном устройстве ГМ 7. Котел был оборудован всеми необходимыми приборами для проведения балансовых испытаний котла. Испытания котла проводились в объеме балансовых испытаний. На рис.1 приведены результаты испытаний, из которых видно четкое снижение выбросов оксидов азота. График изменения КПД показан на рис.2.

Анализ графиков (рис.1) показал, что при максимальной паропроизводительности в пересчете на нормальный пар в базовом режиме выброс составляет 660 мг/сек, в режиме работы интегрально-комплексного метода – 260 мг/сек. Тенденция изменения массового выброса оксидов азота имеет линейную характеристику и описывается линейным уравнением для базового режима:

$$M_{NOx} = -60 + 45 D_K, \quad (1)$$

при работе интегрально-комплексного метода:

$$M_{NOx} = -89,1429 + 21,2857 D_K. \quad (2)$$

Процент уменьшения выбросов окислов азота меняется от 80% при 37,5% нагрузки до 60,61 % при 100 % нагрузке котла.

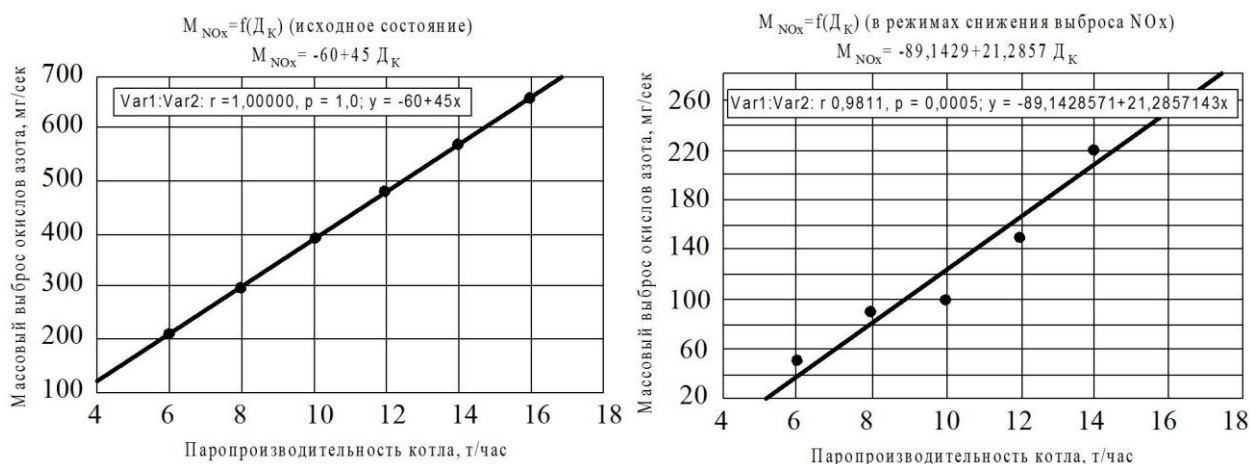


Рисунок 1 – Снижение выбросов окислов азота в базовом режиме и режиме подавления выбросов оксидов азота (Котел типа ДЕ-16-14 ГМ)

В числовом выражении данные показатели имеют следующие значения: при нагрузке котла 6 т/час (37,5 %) массовый выброс оксидов азота в базовом режиме составляет 200 мг/сек против 40 мг/сек при работе технологии интегрально-комплексного метода. При дальнейшем увеличении нагрузки на котле происходит рост массового выброса оксидов азота как в базовом режиме так и в режимах работы установки интегрально-комплексного метода. Тенденция снижения выбросов оксидов азота сохраняется.

Анализ графиков на рис. 2 позволяет сделать выводы об эффективности применяемого метода интегрально-комплексного подхода. Графики изменения КПД котла в зависимости от тепловой мощности котла в базовом режиме и в режиме работы интегрально-комплексного метода показаны на рис. 2. Кривая 1 соответствует КПД котла в базовом режиме, кривая 2 соответствует режиму работы котла при использовании интегрально-комплексного подхода. В среднем наблюдается четкое увеличение КПД котла от 0,4 % при режимной нагрузке 50 % от тепловой мощности до 2,4 % при 100 % нагрузке котла. Увеличение КПД носит нелинейный характер, и по мере увеличения тепловой мощности котла процент изменения КПД в сторону увеличения при работе котла по методу интегрально-комплексного подхода увеличивается по сравнению с его работой в базовом режиме.

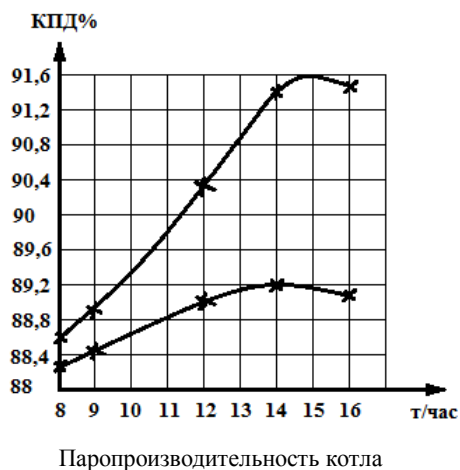


Рисунок 2 – Изменение кпд котла в зависимости от тепловой мощности

1- КПД котла в базовом режиме;
2- КПД котла при работе котла по методу интегрально-комплексному подходу

Для выявления максимально возможного процента снижения выбросов оксидов азота были проведены серии опытов по определению степени влияния величины водотопливного соотношения на процент снижения выбросов оксидов азота при применении акустических колебаний. Основная задача при проведении данных опытов – определить максимально возможное водотопливное соотношение при котором КПД котла не снижается. Результаты проведенных исследований приведены на рис.3.

Зависимость процентного снижения выбросов оксидов азота в зависимости от величины водотопливного соотношения имеет нелинейный характер и описывается квадратным уравнением (рис. 3):

$$\% \text{N}0_x = 55,607 - 75,1833 X + 1134,4444 X^2 \quad (3)$$

При значении водотопливного соотношения 0,1 снижение выбросов оксидов азота составляет 58 %. Дальнейшее увеличение водотопливного соотношения влечет за собой увеличение процента снижения выбросов оксидов азота и при значении 0,19 процент снижения выбросов оксидов азота составляет 83 %. Данная точка является критической с точки зрения изменения КПД котла. При данном значении величины водотопливного соотношения увеличение КПД котла равно 0. Дальнейшее увеличение водотопливного соотношения приводит к снижению КПД котла.

Для выявления максимальной величины подачи влаги в область горения в зоне действия акустических колебаний были проведены серии опытов, в которых было определено максимальное значение водяных паров, при котором процент увеличения КПД котла равен 0. Дальнейшее увеличение влаги приводит к снижению КПД котла и появлению химического недожога (рис. 4).

Максимальное количество влаги, которое впрыскивалось в газовый факел соответствовало 19 %, причем во всех тепловых режимах. Зависимость имеет параболический вид и описывается уравнением:

$$G_B = 13,3133 + 0,1517 \cdot G_T + 2,9095 \cdot 10^{-5} G_T^2. \quad (4)$$

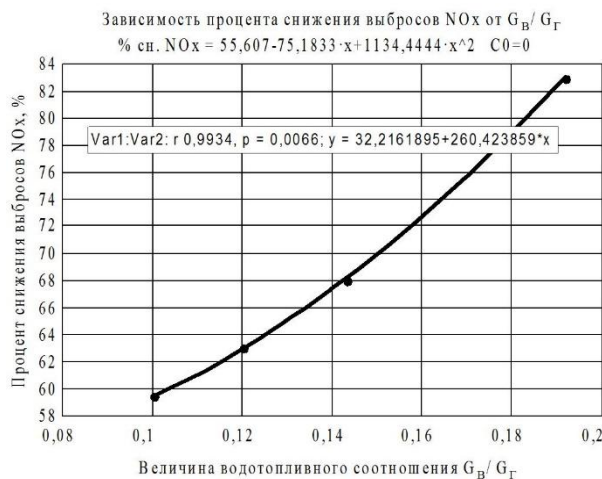


Рисунок 3 – Влияние величины водотопливного соотношения на величину процентного снижения выбросов NOx, %, без снижения КПД котла

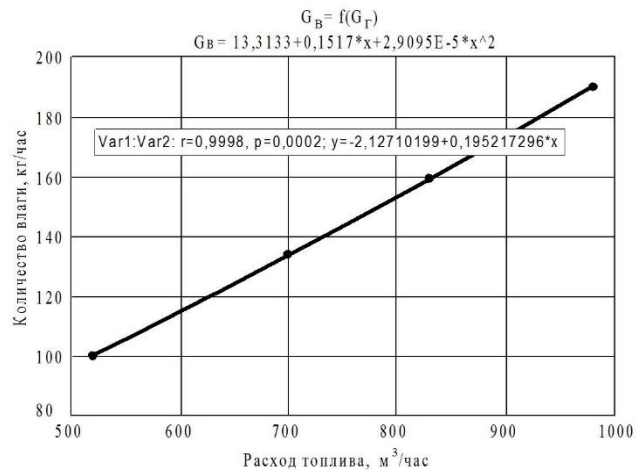


Рисунок 4 – Влияние расхода топлива на количество влаги впрыскиваемой в газовый факел

Для минимизации выбросов окислов азота необходимо уточнить частоту колебаний, воздействующих на факел, при применении системы впрыска влаги в область горения топлива.

Частота колебаний генератора регулировалась путем изменения размеров деталей и соотношения между элементами акустического генератора. Собранные акустические генераторы проверялись на холодном стенде, а затем – на реально действующем котле с определением выбросов оксидов азота. Методика приведена в литературе [3].

Из анализа кривой на рис. 5 следует, что наибольший эффект снижения выбросов оксидов азота достигается при воздействии колебаний на подготовку топливно-воздушной смеси и в дальнейшем при воздействии на факел сжигаемого топлива при частоте колебаний в диапазоне 12-13 кГц.

Выводы:

Проведенные исследования позволили определить следующие параметры технологии интегрально-комплексного подхода:

- процент уменьшения выбросов окислов азота меняется от 80% при 37,5% нагрузке до 60 % при 100 % нагрузке котла до 60,61 %;
- в среднем наблюдается четкое увеличение КПД котла от 0,4 % при режимной нагрузке 50 % от тепловой мощности до 2,4 % при 100 % нагрузке котла, увеличение КПД носит нелинейный характер;
- при значении водотопливного соотношения 0,1 снижение выбросов оксидов азота составляет 58 %, дальнейшее увеличение водотопливного соотношения влечет за собой увеличение процента снижения выбросов оксидов азота. При значении водотопливного соотношения 0,19 процент снижения выбросов

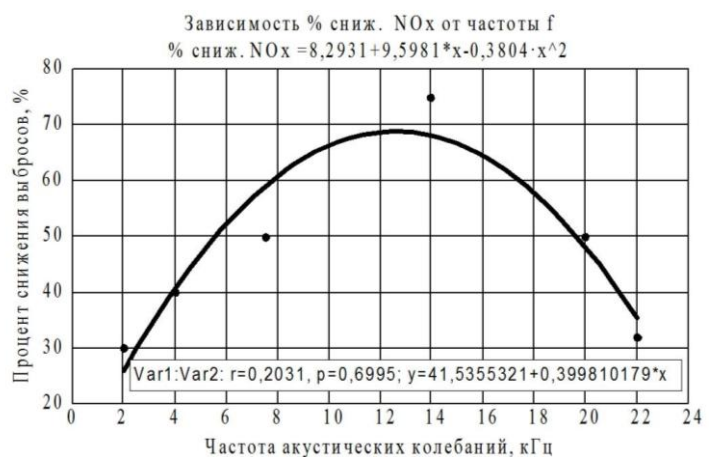


Рисунок 5 – Изменение характера подавления выбросов оксидов азота в зависимости от величины частоты накладываемых колебаний

оксидов азота составляет 83 %. Данная точка является критической, так дальнейшее увеличение водотопливного соотношения ведет к снижению КПД котла;

- наибольший эффект снижения окислов азота при сжигании газового топлива наблюдается при частоте накладываемых колебаний в диапазоне 12-13 кГц.

Список литературы

1. Худокормов, Н.Н. Использование активаторов горения для повышения эффективности работы котлов малой и средней мощности [Текст] / Н.Н.Худокормов, А.Н. Качанов // Сб. Энерго- и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов VIII Международной научно-практической интернет-конференции. – Орёл: Издательский дом «ОРЛИКиК», 2010. – С. 159-163.

2. Худокормов, Н.Н. К вопросу о новом способе повышения эффективности и качества сжигания топлива [Текст] // Н.Н. Худокормов, Б.М. Кривоногов, А.В. Тиньков, А.Н. Качанов // Сб. Энерго- и ресурсосбережение XXI век. Сборник материалов V Международной научно-практической интернет-конференции. Орёл: Издательский дом «ОРЛИКиК», 2007. – С. 65-71.

3. Шуркин, Е.Н. Исследование и разработка комбинированных горелок с акустическими излучателями [Текст] : Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Н. Шуркин. – Москва, 1980. – 20 с.

Качанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», e-mail: kan@ostu.ru.

Коренков Дмитрий Андреевич, аспирант каф. «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК».

Худокормов Николай Николаевич, вед. специалист ЗАО «РЭС», г. Курск.

Пал Манфред, доктор наук, профессор кафедры «Механическая перерабатывающая техника», университет «Падерборн».

УДК 537.8 : 631.17

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Титов Е.В.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

В статье рассмотрены вопросы реализации и оценки эффективности нового способа интегрированного контроля опасности электромагнитных излучений, а также определены перспективы его практического использования.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, источники электромагнитных излучений, компьютерное моделирование, интегрированный контроль электромагнитных излучений, картина опасности электромагнитных излучений.

In article questions of realization and an assessment of efficiency of a new way of the integrated control of danger of electromagnetic radiations are considered, and also prospects of its practical use are defined.

Keywords: electromagnetic situation, sources of electromagnetic radiations, the computer modeling, the integrated control of electromagnetic radiations, picture of danger of electromagnetic radiations.

Проблема обеспечения электромагнитной безопасности в современном мире приобретает все большую значимость из-за неблагоприятных последствий для здоровья людей, подверженных постоянному воздействию электромагнитных излучений (ЭМИ). Источники ЭМИ получают все более широкое распространение, как в производственных, так и в бытовых условиях, поэтому возникает необходимость контроля уровней электромагнитных полей (ЭМП) [1].

Для решения поставленной проблемы в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) разработан способ интегрированного контроля электромагнитных излучений, который может использоваться для оценки электромагнитной обстановки на объектах с несколькими источниками ЭМИ [2-3]. Состояние

электромагнитной обстановки на контролируемом объекте оценивается пространственной картиной электромагнитной опасности, представляющей собой карту допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства, получаемую в результате выявления наиболее опасных составляющих ЭМИ от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля.

Опасные составляющие электромагнитных излучений соответствуют наименьшему допустимому значению времени пребывания человека [3] в точках измерения напряженностей электрических, магнитных полей и плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитных радиочастотных (РЧ) полей вблизи источников излучения на частотах, регламентированных действующими нормативными документами.

Для оценки эффективности предложенного способа в АлтГТУ создана экспериментальная лабораторная установка на базе микроволновой печи «Dialog» (мощностью 900 Вт и рабочей частотой 2450 МГц), имитирующая технологический процесс предпосевной обработки семян в СВЧ-поле.

Измерения уровней напряженности электрического поля и плотности потока энергии производились на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры на частотах: 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц, 300 МГц и 2450 МГц с помощью приборов ПЗ-50, ПЗ-41. Результаты измерений приведены в таблице 1, где выделены значения, превышающие предельно-допустимый уровень (ПДУ).

По результатам исследований (таблица 1), напряженность электрического поля на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах: 50 Гц, 0,03 МГц, 3 МГц, 30 МГц и 50 МГц, соответственно, в 36, 42, 33, 35 и 46 раз. ППЭ электромагнитного СВЧ-поля на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах: 300 МГц, 2450 МГц, соответственно, в 46 и 48 раз. Безопасные уровни переменного электрического и сверхвысокочастотного полей достигаются на расстоянии более 2 м.

Таблица 1 – Результаты измерений напряженности электрического поля и плотности потока энергии на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность электрического поля, В/м					Плотность потока энергии, мкВт/см ²	
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи						
	ПЗ-50/ АП ЕЗ-50	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-1	ПЗ-41/ АП-1
	Контролируемая частота						
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц	2450 МГц
0,5	более 180000	1054,24	более 500	349,22	138,41	464,21	483,61
1,0	177000	723,45	388,07	339,09	116,24	205,34	343,82
1,5	17510	645,51	337,15	232,75	80,55	86,42	73,58
2,0	15340	599,02	310,83	212,80	73,89	54,32	52,81
	Предельно допустимый уровень						
	5000	25	15	10	3	10	10

По результатам сопоставления допустимого времени пребывания человека в электрическом и магнитном полях промышленной частоты, в электромагнитном поле РЧ и СВЧ диапазонов наиболее опасным по уровню ЭМИ является электромагнитное поле частотой 2450 МГц.

Измеренные значения ППЭ электромагнитного поля частотой 2450 МГц использовались для компьютерного моделирования ЭМИ, проводимого в среде COMSOL Multiphysics [4].

На рисунке 1 представлен результат преобразования модели распределения ППЭ электромагнитного СВЧ-поля в картину опасности ЭМИ по критерию допустимого времени. На этой картине показаны зоны допустимого времени пребывания людей при работе СВЧ-

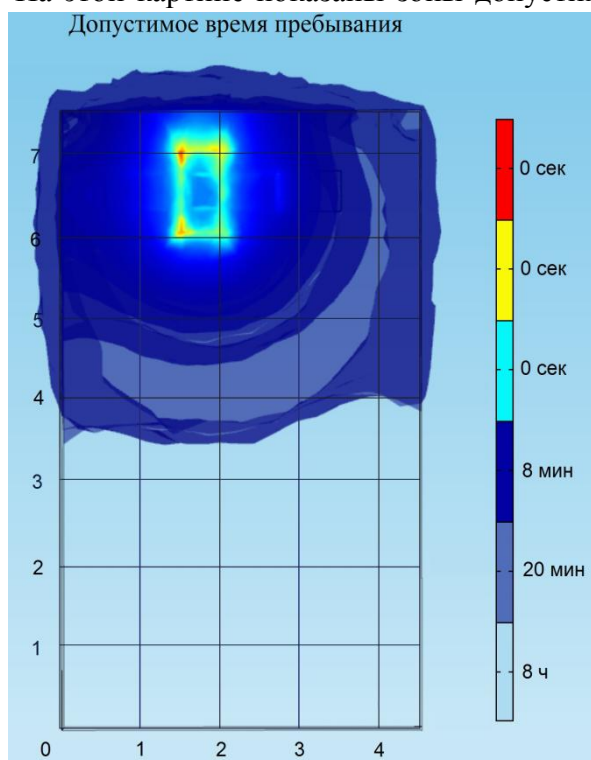


Рисунок 1 – Картина опасности электромагнитного излучения

установки в виде изоповерхностей, окрашенных в различные цвета в зависимости от числового значения допустимого времени.

В соответствии с картиной опасности приближение на расстояние менее 0,5 м к СВЧ-камере недопустимо. В зоне от 0,5 м до 1,5 м пребывание человека не должно превышать 8 мин, в зоне от 1,5 м до 3 м – 20 мин. На расстоянии более 3 м можно находиться в течение всей рабочей смены.

Таким образом, работа с СВЧ-установкой без применения защитных мероприятий должна быть запрещена.

Обоснованный выбор эффективных защитных мероприятий может быть произведен по результатам анализа полученной пространственной картины опасности электромагнитных излучений.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют рекомендовать предложенный способ интегрированного контроля ЭМИ для широкого практического использования. С этой целью предусмотрено

создание аппаратно-программного обеспечения на основе автоматизированного многочастотного измерителя параметров ЭМП, реализующего компьютерное представление картины опасности, как по результатам пространственного моделирования составляющих поля, так и с помощью карты допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства, получаемой в результате выявления наиболее опасных составляющих ЭМИ от различных источников в диапазоне исследуемых частот.

Список литературы

1. Электромагнитная безопасность [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее, 2009. – Режим доступа : http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb_bud.html, свободный. – Загл. с экрана.
2. Пат. 2476894. Российская федерация МПК⁷ G 01 R 29/08. Способ контроля электромагнитной безопасности [Текст] / Н.П. Воробьев, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Е.В. Титов / патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – № 2011113569/28; заявл. 07.04.2011; опубл. 27.02.2013.
3. 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.
4. Шмелев, В. Е. Femlab 2.3. // Центр компетенций MathWorks [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб., [2008]. – Режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/femlab/book1>, свободный. – Загл. с экрана.

Титов Евгений Владимирович, аспирант кафедры «Электрификация производства и быта» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; 656038, г. Барнаул, пр. Комсомольский, д. 71/2, к. 303; тел.: 8(923)6474787; e-mail: elnis@inbox.ru.

СЕКЦИЯ №3. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ

Руководители:

Гамазин Станислав Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры ЭПП, НИУ «МЭИ», г. Москва;

Качанов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, академик АЭН Российской Федерации, заведующий кафедрой ЭиЭ, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл.

УДК 621.311.001.57

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Широкоступова М.С.
Россия, г. Москва

Предложен подход, позволяющий оценить уровни надежности объединений электроэнергетических систем.

Ключевые слова: уровни надежности, электроэнергетические системы, объединения, расчеты надежности.

We propose an approach for assessing the reliability levels of interconnection of electric power systems.

Keywords: levels of reliability, power systems, interconnection, reliability calculations.

В качестве показателя надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) в нашей стране используется интегральная вероятность бездефицитной работы (уровень надежности H). При определении оптимального уровня надежности в ЭЭС с сильными связями (концентрированные ЭЭС) применяется формула $H = 1 - z^R / (T \cdot y)$, где z^R - удельные приведенные затраты в резервную мощность; y - удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии; T - расчетный период [1].

Для выбора оптимальных величин оперативных резервов активной мощности в объединении ЭЭС и пропускных способностей связей между ЭЭС (узлами) по условию взаиморезервирования в модели, основанной на минимизации целевой функции, в состав которой наряду с затратами на резерв мощности в узлах и увеличение пропускных способностей межсистемных связей входит и ущерб потребителей от перерывов электроснабжения, минимизируется целевая функция [2]

$$F_1 = \sum_{i=1}^n Z_i(R_i) + \sum_{j=1}^m Z_j(L_j) + Y(R_1, \dots, R_n, L_1, \dots, L_m), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{при } R_i^{\min} \leq R_i \leq R_i^{\max}, i = 1, 2, \dots, n; \\ L_j^{\min} \leq L_j \leq L_j^{\max}, j = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (2)$$

где $Z_i(R_i)$ - зависимость приведенных затрат на резерв в i -м узле от величины резерва R_i ; $Z_j(L_j)$ - зависимость приведенных затрат в j -ю связь от величины ее пропускной способности L_j ; $Y(R_1, \dots, R_n, L_1, \dots, L_m)$ - зависимость математического ожидания ущерба от величины резерва в узлах и пропускных способностей связей; n - число узлов сети; m - число связей; R_i^{\min}, R_i^{\max} - соответственно минимально и максимально допустимые величины

резервов в i -ом узле; L_j^{\min}, L_j^{\max} - соответственно минимально и максимально допустимые значения пропускной способности j -ой связи.

Оптимальные величины оперативных резервов активной мощности в узлах объединения ЭЭС в модели этого типа при одинаковых величинах удельных ущербов в узлах объединения, а также при распределении суммарного дефицита мощности в объединении между всеми узлами, потенциально готовыми принять дефицит мощности, при строгих неравенствах в условии (2), будут наблюдаться при уровнях надежности в узлах равных $H_i = 1 - z_i^R / (T \cdot y)$ [3], где z_i^R - удельные приведенные затраты в резервную мощность i -го узла. Уровень надежности всего объединения в оптимальном варианте в значительной мере зависит от схемы соединения узлов и затрат на усиление связей для взаиморезервирования. Для схемы соединения узлов в виде дерева без учета аварийности связей и при одинаковых значениях удельных затрат в резервную мощность в узлах уровень надежности объединения энергосистем $H_{об}$ в оптимальном варианте можно оценить по формуле

$$H_{об} = 1 - \left(z^R + \sum_{j=1}^{j=m} (z_j^L / 2) \right) / (T \cdot y), \quad (3)$$

где z_j^L - удельные приведенные затраты в j -ю связь (при $z_j^L > 2 \cdot z_i^R$ принимается $z_j^L = 2 \cdot z_i^R$).

Таким образом, при одинаковых удельных приведенных затратах в резервную мощность в узлах для схемы соединений в виде дерева и без учета аварийности связей уровень надежности объединения в оптимальном варианте ориентировочно уменьшается по сравнению с уровнем надежности этого объединения, представленного в виде концентрированного узла, на величину, прямо пропорциональную половине суммы удельных приведенных затрат в связи. Также добавление любой одной связи, которая не создает контура, с удельными приведенными затратами z_j^L в рассматриваемую схему уменьшает уровень надежности объединения при оптимальных величинах резервной мощности и пропускных способностей связей на величину $\Delta H_{об} = z_j^L / (2 \cdot T \cdot y)$. По формуле (3) можно также определить уровень надежности объединения и в схеме с контурами, если не учитывать для каждого контура удельные приведенные затраты той из связей, входящей в контур, которая имеет наибольшее значение удельных приведенных затрат. Причем, чем больше удельные приведенные затраты не учитываемой связи отличаются от удельных приведенных затрат остальных связей, входящих в рассматриваемый контур, тем более точную оценку уровня надежности объединения можно получить.

При удельных затратах в связи намного меньших, чем удельные затраты в резервную мощность, можно считать, что связи внутри объединенных энергосистем (ОЭС) имеют такие пропускные способности, что ОЭС можно рассматривать как концентрированные узлы. В настоящее время в связи со значительным ростом удельных затрат на увеличение пропускных способностей связей относительно удельных затрат в резервную мощность появляется необходимость рассматривать в расчетной схеме связи внутри ОЭС, поэтому количество рассматриваемых узлов в модели увеличивается в 4-10 раз. Даже, если рассматривать в качестве узлов концентрированные ОЭС, при современных соотношениях удельных затрат в связи и в резервную мощность при принятых уровнях надежности в ОЭС $H_i = 0,996$ ожидаемое число суток, в течение которых будет наблюдаться дефицит мощности в объединении будет более 25 суток в году или 250 суток в 10 лет. Если рассматривать схему с большим количеством узлов, то в оптимальном варианте ожидаемое количество суток, в течение которых будет наблюдаться дефицит в объединении, будет значительно больше. Для сравнения, в объединении PJM¹

¹ Объединение PJM это региональная передающая организация в США. Установленная мощность, которая находится в управлении PJM, по величине сопоставима с установленной мощностью ЭЭС России.

ожидаемое число суток, в течение которых будет наблюдаться дефицит мощности в объединении, не превышает одних суток в 10 лет.

Учитывая неопределенность информации в части величины удельного ущерба, а также необходимость принимать во внимание при расчетах надежности объединенной энергосистемы не только технико-экономические, но и социальные аспекты, желательно, по-видимому, определиться, какой уровень надежности в целом по объединению предпочтителен. То есть, нормирование уровня надежности вести не по узлам как прежде, а в целом по объединению. А затем по модели (1) провести технико-экономические расчеты, с целью определения уровней надежности узлов, а также требуемых величин оперативных резервов активной мощности в узлах и пропускных способностей связей по условию взаиморезервирования.

При одинаковых величинах удельного ущерба во всех узлах и распределении дефицитов мощности между всеми узлами, потенциально принимающими дефицит, можно предложить следующий подход к решению вопроса адекватности ресурсов в объединении. Исходя из практики, социальных и политических условий задается требуемый уровень надежности всего объединения $H_{об}^H$. Затем для любого выбранного значения удельного ущерба находятся требуемые величины оперативных резервов активной мощности в узлах и пропускных способностей связей по условию взаиморезервирования, и соответствующий этим величинам уровень надежности объединения ЭЭС ($H_{об}$). Далее определяются эквивалентные удельные приведенные затраты в объединении по формуле $z_{экр} = (1 - H_{об}) \cdot T \cdot y$. По эквивалентным удельным приведенным затратам в объединении рассчитывается соответствующая требуемому уровню надежности объединения $H_{об}$ величина удельного ущерба (y_c) по формуле $y_c = z_{экр} / (T \cdot (1 - H_{об}^H))$ и в соответствии с этой величиной удельного ущерба определяются требуемые величины оперативных резервов мощности в узлах и пропускных способностей связей по условию взаиморезервирования между узлами. При этом уровни надежности узлов (H_i^R) при строгих неравенствах в условии (2) будут равны $H_i^R = 1 - z_i^R \cdot (1 - H_{об}^H) / z_{экр}$. Эта схема расчета надежности приемлема при оптимизации требуемых величин оперативного резерва активной мощности и пропускных способностей связей по целевой функции (1) для любой конфигурации связей, без учета и с учетом аварийности связей, при одинаковых и различающихся между собой значениях удельных приведенных затрат в резервную мощность в узлах.

Список литературы

1. Волков, Г.А. Оптимизация надежности электроэнергетических систем [Текст] - М.: Наука, 1986. – 117 с.
2. Волков, Г.А. Модели для расчетов надежности в объединениях электроэнергетических систем в условиях рыночных отношений в электроэнергетике [Текст] / Г.А. Волков, М.С. Широкоступова // Современные проблемы надежности систем энергетики: модели, рыночные отношения, управление реконструкцией и развитием. - М.: Изд-во “Нефть и газ”, 2000. – С.45 - 56.
3. 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.

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

ИНТЕРВАЛЬНЫЙ СУПЕРПОЗИЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОНЕЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Блюмин С.Л., Сараев П.В.

Россия, Липецк, ЛГТУ

Представлены математические основы применения методов анализа конечных изменений, тесно связанного с интервальным анализом, к зависимостям суперпозиционной структуры. Рассмотрены простейшие примеры. Результаты могут быть перспективны в исследовании энергосистем.

Ключевые слова: анализ конечных изменений, интервальный анализ, суперпозиционные модели, исследование энергосистем.

Mathematical foundations are presented of application of finite fluctuations analysis methods, closely connected with interval analysis, to dependences of superposition structure. Simplest examples are considered. Results may be perspective in investigation of power systems.

Key words: finite fluctuations analysis, interval analysis, superposition models, investigation of power systems.

В работе [1] представлены основы применения методов анализа конечных изменений в исследовании чувствительности математических моделей энергосистем к изменениям входов и параметров. В основе этих методов, ориентированных на ситуации, когда изменения не малы, но конечны, лежит теорема Лагранжа из математического анализа [2], известная также как дифференциальная теорема о среднем значении и теорема о промежуточной точке. Промежуточная точка лежит в интервале изменения исследуемой величины. Этим определяется связь анализа конечных изменений с интервальным анализом [3]: именно на теореме о среднем основано систематически используемое в интервальном анализе MV-представление интервальных функций (от MV – mean value – среднее значение). При исследовании энергосистем, как и многих других технических объектов и технологических процессов, математические модели различных зависимостей имеют суперпозиционную структуру, когда итоговая величина является сложной функцией от первичной, зависит от неё через некоторую промежуточную величину. Систематическое исследование таких зависимостей проведено в работе [4] применительно к актуальной прикладной области – нейроструктурному моделированию; как указано в [5], такие модели могут служить перспективным математическим обеспечением автоматизированных систем управления энергосбережением (в [1] приведен простейший пример такой модели).

Цель данной работы – представить математические основы применения методов анализа конечных изменений к зависимостям суперпозиционной структуры.

Пусть зависимость моделируется функцией одного переменного $y = f(x)$. В соответствии с теоремой о промежуточной точке её приращение Δy , отвечающее приращению аргумента Δx , представляется в виде

$$\Delta y = f'(x + \alpha \Delta x) \Delta x, \alpha \in [0, 1], \quad (1)$$

где промежуточная точка $x + \alpha \Delta x$, вообще говоря не единственная, принадлежит интервалу $[x, x + \Delta x]$. Данная теорема не даёт в общем случае способа отыскания промежуточной точки или, что равносильно, значений параметра $\alpha \in [0, 1]$; однако во многих частных случаях (простейшие примеры приведены ниже) эти значения могут быть найдены путём решения относительно α , при заданных x и Δx , уравнения

$$f'(x + \alpha \Delta x) \Delta x = f(x + \Delta x) - f(x). \quad (2)$$

Пусть $z = g(y)$ – другая функция, пока не связанная с $y = f(x)$; подобно предыдущему

$$\Delta z = g'(y + \beta \Delta y) \Delta y, \beta \in [0,1]. \quad (3)$$

Пусть теперь функции связаны суперпозицией $z = g(f(x)) = h(x)$, так что z является сложной функцией от x ; для неё так же

$$\Delta z = h'(x + \gamma \Delta x) \Delta x, \gamma \in [0,1]. \quad (4)$$

Параметры α, β, γ , вообще говоря, различны, но определённым, устанавливаемым ниже образом, взаимосвязаны между собой.

В соответствии с цепным правилом дифференцирования сложной функции [2]

$$h'_x(x) = g'_y(f(x)) f'_x(x). \quad (5)$$

Это позволяет представить (4) в виде

$$\Delta z = g'_y(f(x + \gamma \Delta x)) f'_x(x + \gamma \Delta x) \Delta x. \quad (6)$$

С другой стороны, подстановка (1) в (3) приводит к представлению того же приращения Δz в виде

$$\Delta z = g'_y(f(x) + \beta f'_x(x + \alpha \Delta x) \Delta x) f'_x(x + \alpha \Delta x) \Delta x. \quad (7)$$

Сопоставление соотношений (6) и (7) с учётом того, что они должны выполняться при любых Δx , приводит к следующей взаимосвязи между значениями параметров α, β и γ :

$$g'_y(f(x) + \beta f'_x(x + \alpha \Delta x) \Delta x) f'_x(x + \alpha \Delta x) = g'_y(f(x + \gamma \Delta x)) f'_x(x + \gamma \Delta x). \quad (8)$$

При $\alpha = \beta = \gamma = 0$ левая и правая части этого соотношения совпадают с (5); при других значениях параметров они различаются. Иллюстрацией могут служить следующие простейшие примеры.

Пусть $y = f(x) = x^2$, так что $f'(x) = 2x$, $\Delta y = (x + \Delta x)^2 - x^2 = 2(x + \alpha \Delta x) \Delta x$, откуда $\alpha = 1/2$. Следует отметить, что в данном случае значение параметра α единственно и не зависит от x и Δx . Пусть $z = g(y) = y^2$; как и в предыдущем случае, $\beta = 1/2$. Пусть теперь $z = g(f(x)) = h(x) = (x^2)^2 = x^4$, так что $h'(x) = 4x^3$, $\Delta z = (x + \Delta x)^4 - x^4 = 4(x + \gamma \Delta x)^3 \Delta x$, откуда:

$$\gamma = \{\sqrt[3]{[(x + \Delta x)^4 - x^4] / 4 \Delta x} - x\} / \Delta x \text{ или } \gamma = \{\sqrt[3]{x^3 + (3/2)x^2 \Delta x + x(\Delta x)^2 + (1/4)(\Delta x)^3} - x\} / \Delta x,$$

в этом случае значение параметра γ уже зависит и от x , и от Δx . Соотношение (8) принимает вид:

$$2(x^2 + \beta \cdot 2(x + \alpha \Delta x) \Delta x) \cdot 2(x + \alpha \Delta x) = 2(x + \gamma \Delta x)^2 \cdot 2(x + \gamma \Delta x),$$

или, после преобразований:

$$x^2(x + \alpha \Delta x) + \beta \cdot 2(x + \alpha \Delta x)^2 \Delta x = (x + \gamma \Delta x)^3.$$

Подстановка значений $\alpha = \beta = 1/2$ приводит к выражению:

$$x^3 + (3/2)x^2 \Delta x + x(\Delta x)^2 + (1/4)(\Delta x)^3 = (x + \gamma \Delta x)^3,$$

из которого выше было получено значение γ , так что соотношение (8), связывающее значения параметров, выполняется.

Пусть $y = f(x) = e^x$, так что $f'(x) = e^x$, $\Delta y = e^{x+\Delta x} - e^x = e^{x+\alpha\Delta x}\Delta x$, откуда $\alpha = (1/\Delta x)\ln[(e^{\Delta x} - 1)/\Delta x]$. Следует отметить, что в данном случае значение параметра α зависит только от Δx и не зависит от x . Пусть $z = g(y) = \ln y$, так что $g'(y) = 1/y$, $\Delta z = \ln(y + \Delta y) - \ln y = [1/(y + \beta\Delta y)] \cdot \Delta y$, откуда $\beta = \{1/\ln[1 + (\Delta y/y)]\} - (y/\Delta y)$ и зависит как от y , так и от Δy . Пусть теперь $z = g(f(x)) = h(x) = \ln e^x = x$, так что $h'(x) = 1$, $\Delta z = (x + \Delta x) - x = \Delta x$, параметр γ не определён; параметр β при этом может быть представлен в виде $\beta = (e^{\Delta x} - 1 - \Delta x)/[\Delta x(e^{\Delta x} - 1)]$. Соотношение (8) принимает вид:

$$[1/(e^x + \beta e^{x+\alpha\Delta x}\Delta x)] \cdot e^{x+\alpha\Delta x} = [1/e^{x+\gamma\Delta x}] \cdot e^{x+\gamma\Delta x} = 1$$

и связывает только параметры α и β . Подстановка значения каждого из них приводит к выражению, из которого выше было получено значение другого, так что соотношение (8), связывающее значения параметров, выполняется.

Пусть $y = f(x) = \sqrt{x}$, так что $f'(x) = 1/(2\sqrt{x})$,

$$\Delta y = \sqrt{x + \Delta x} - \sqrt{x} = [1/(2\sqrt{x + \alpha\Delta x})] \cdot \Delta x, \quad \alpha = (2\sqrt{x(x + \Delta x)} + \Delta x - 2x)/(4\Delta x).$$

Пусть $z = g(y) = y^2$, $\beta = 1/2$. Пусть теперь $z = g(f(x)) = h(x) = (\sqrt{x})^2 = x$, как и в предыдущем примере. Соотношение (8) принимает вид:

$$2(\sqrt{x} + \beta \cdot [1/(2\sqrt{x + \alpha\Delta x})] \cdot \Delta x) \cdot [1/(2\sqrt{x + \alpha\Delta x})] = 1 \text{ или } 2\sqrt{x(x + \alpha\Delta x)} + \beta\Delta x = 2(x + \alpha\Delta x).$$

Его выполнение проверяется аналогично предыдущему.

Направлением дальнейших исследований является изучение перспективности применения изложенной методики к конкретным зависимостям, возникающим при исследовании энергосистем и имеющим суперпозиционную структуру.

Работа поддержана МОН РФ в рамках перечня НИР базовой части Госзадания в сфере научной деятельности, проект № 970.

Список литературы

1. Блюмин, С.Л. Чувствительность математических моделей энергосистем к конечным изменениям входов и параметров [Текст] / С.Л. Блюмин, А.К. Погодаев, П.В. Сараев // Энерго-и ресурсосбережение XXI век: Материалы XI Междунар. науч.-прак. Интернет-конф. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 86-89.
2. Ильин, В.А. Математический анализ [Текст] / В.А. Ильин, В.А. Садовничий, Б.Х. Сендов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 662 с.
3. Шарый, С.П. Конечномерный интервальный анализ [Текст] / С.П. Шарый. – Новосибирск: Изд-во XYZ, 2013. – 606 с.
4. Сараев, П.В. Суперпозиционное линейно-нелинейное нейроструктурное моделирование: дис. ... д-ра техн. наук [Текст] / П.В. Сараев. – Липецк. гос. техн. ун-т. – Липецк, 2013. – 280 с.
5. Блюмин, С.Л. Перспективное математическое обеспечение автоматизированных систем управления энергосбережением [Текст] / С.Л. Блюмин, А.К. Погодаев, П.В. Сараев // Энерго-и ресурсосбережение XXI век: Материалы IX Междунар. науч.-прак. Интернет-конф. – Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2011. – С. 262-265.

Блюмин Семен Львович, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры прикладной математики, Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30; тел.: 8(4742)307934; e-mail: slb@stu.lipetsk.ru.

Сараев Павел Викторович, д-р техн. наук, доц., зав.кафедрой автоматизированных систем управления, декан факультета автоматизации и информатики; Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30; тел.: 8(4742)328002; e-mail: psaraev@yandex.ru.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ НА МОЩНОСТЬ НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ ФАЗ В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ

Свидченко С.Ю.

Россия, г. Орёл, ФБГОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК»

В статье оценивается и анализируется степень влияния амплитудной и фазовой несимметрий на формирование мощности в трехфазной системе.

Ключевые слова: электрическая мощность, несимметрия токов, трехфазная система.

Estimate and analysis of degree for influence of amplitude and phase loads unbalances on power are considered for three-phase distribution system

Key-words: electricity power, load unbalances, three-phase distribution system.

Наиболее благоприятная эксплуатация трехфазных генераторов и приемников, наблюдающаяся при полной симметрии всех элементов [1], на практике может быть реализована не всегда. Энергоэффективность, надежность трехфазной системы при этом снижаются.

К неблагоприятным факторам, негативно влияющим на работу генераторов, относится появление в случае несимметрии колебаний мощности с удвоенной частотой генерируемого напряжения. Преобразуясь в момент на валу [2], эта мощность создает его материалу дополнительную колебательную нагрузку. Кроме того она вносит дополнительный вклад в вибрационное состояние генератора и отчасти сочлененной с ним турбины.

Если считать генерируемые напряжения симметричными :

$$\begin{aligned} u_A(t) &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t); \\ u_B(t) &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 2 \cdot \pi / 3); \\ u_C(t) &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + 2 \cdot \pi / 3), \end{aligned} \quad (1)$$

то причиной несимметрии трехфазной системы можно считать неравномерность фазных токов по величине (амплитудная несимметрия) ΔI и неоднородность типов нагрузки (фазная несимметрия) $\Delta \varphi$. Одним из вариантов учета этих параметров является задание фазных токов в виде:

$$\begin{aligned} i_a(t) &= I_m \cdot \sin(\omega \cdot t); \\ i_b(t) &= (I_m + \Delta I_m) \cdot \sin(\omega \cdot t - 2 \cdot \pi / 3 - \varphi - \Delta \varphi); \\ i_c(t) &= (I_m - \Delta I_m) \cdot \sin(\omega \cdot t + 2 \cdot \pi / 3 - \varphi + \Delta \varphi). \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда мощность трехфазной системы можно представить в виде суммы постоянной и переменной составляющих:

$$p_{3\varphi}(t) = P + p_{\approx}(t), \quad (3)$$

$$\text{где} \quad P = U \cdot I \cdot [\cos \varphi + (1 + \delta) \cdot \cos(\varphi + \Delta \varphi) + (1 - \delta) \cdot \cos(\varphi - \Delta \varphi)], \quad (4)$$

$$\begin{aligned} p_{\approx}(t) &= -U \cdot I \cdot [\cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi) + (1 + \delta) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi - 4 \cdot \pi / 3 - \Delta \varphi) + \\ &+ (1 - \delta) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi + 4 \cdot \pi / 3 + \Delta \varphi)]. \end{aligned} \quad (5)$$

В (4) и (5) $\delta = \Delta I_m / I_m$.

Согласно (4) неизменная мощность в принятом виде несимметричности не зависит от неравномерности δ любой величины, если в фазах соблюдается однородность нагрузки ($\Delta \varphi = 0$) и уменьшается по мере роста δ при $\Delta \varphi \neq 0$. Это обстоятельство иллюстрируют графики рисунка 1.

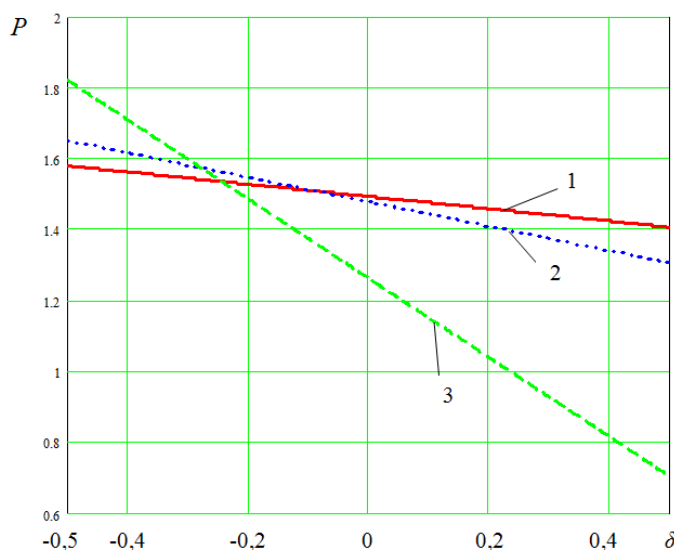


Рисунок 1 – Зависимости неизменной составляющей мощности от амплитудной несимметрии δ
 1 - $\Delta\varphi=0,1$; 2 - $\Delta\varphi=0,2$; 3 - $\Delta\varphi=0,7$

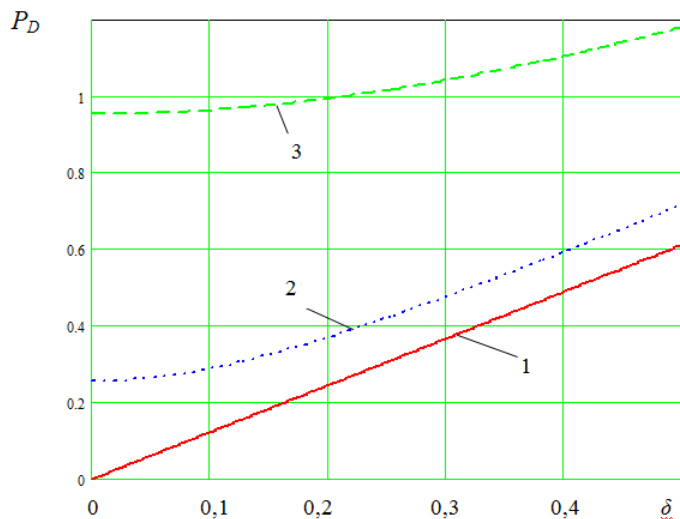


Рисунок 2 – Зависимости неизменной составляющей мощности от амплитудной несимметрии δ
 1 - $\Delta\varphi=0$; 2 - $\Delta\varphi=0,2$; 3 - $\Delta\varphi=0,7$

Обращает на себя внимание, что при определенных знаковых сочетаниях δ и $\Delta\varphi$ общая мощность трехфазной системы может превышать утроенное значение мощности одной фазы.

Для оценки негативного влияния переменной мощности на работу генераторов целесообразно брать ее действующее значение

$$P_D = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot \int_0^{\omega/(2 \cdot \pi)} p_{\approx}^2(t) \cdot dt} . \quad (6)$$

Его относительная величина представлена графиками рисунка 2 в зависимости от величины амплитудной δ и фазовой $\Delta\varphi$ несимметрии. Базовым значением мощности на рисунках бралось значение полной мощности одной фазы:

$U \cdot I$. Дополнительные расчеты показывают, что для других возможных знаковых сочетаний δ и $\Delta\varphi$ по отдельным фазам, отличающихся от представленного в (2), характер зависимостей рис. 2 сохраняется, но при более низких действующих значениях переменной мощности. Кроме того выяснено, что величина P_D (6) почти не зависит от сдвига по фазе между напряжением и током φ . Оба рисунка иллюстрируют расчеты для $\varphi=\pi/3$.

Таким образом видно, что несимметричность нагрузки не только приводит к снижению неизменной мощности трехфазной системы, но и формирует существенную по действующему значению переменную составляющую.

Список литературы

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст]: Учебник / Л.А.Бессонов. –10-е изд. –10-е изд. – М.: Гардарики, 2000. – 538 с.
2. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины [Текст]: в 2 т. Том 2. / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 520 с.

Свидченко Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» ФБГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»; тел.: 8(4862)419830; e-mail: electro@ostu.ru.

МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ МАЛЫХ РЕК

Загрядцкий В.И., Кобяков Е.Т.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

В статье рассмотрены некоторые вопросы освоения малых и самых малых рек для электроснабжения небольших потребителей.

Ключевые слова: энергия, генератор, турбина

In article some questions of development of the small and smallest rivers for an electrical supply of small consumers are considered.

Keywords: energy, generator, turbine

Микрогидроэлектростанции (МкГЭС) относятся к области малой гидроэнергетики. Они находят применение в качестве стационарных или мобильных автономных установок для получения электрической энергии в непосредственной близости от маломощных потребителей: мелких хозяйств, мастерских, коттеджей, дачных поселков и т.д. В настоящее время их разработке и применению уделяется большое внимание за рубежом и в меньшей степени в России. Однако недостаточно уделяется внимание МкГЭС для малых и самых малых рек с низкой скоростью течения воды.

По данным государственного гидрологического института в России насчитывается более 2,5 миллионов рек, в том числе 146697 малых рек и 281287 самых малых рек длиной от 0,5 до 10 км. Несмотря на то, что малые и самые малые реки обладают значительным потенциалом возобновляемой энергии, использование ее сталкивается со значительными трудностями.

В таблице 1 приведены данные по глубине и скорости течения некоторых рек России.

Таблица 1 – Глубины и скорости течения рек в России

Географическое место	Название реки	Ширина реки, м	Глубина реки, м	Скорость течения, м/с
Республика Марий Эл	Атлашка	1,2...12	0,3...0,6	0,14
Орловская обл.	Навля	6...15	0,5...2	0,2...0,5
Орловская обл.	Зуша (под Мценском)	40...80	2	0,5...0,8
Орловская обл.	Нерусса	15...45	1,5...2	0,4
Орловская обл.	Сосна	40...60	1...2	0,2...0,8
Московская обл.	Гжелка	6...31	0,8...3	0,06...0,14
Ленинградская обл.	Оредеж	15...40	0,5...2	0,1...0,6
Тульская обл.	Красивая Меча	40...100	0,5...3	0,2
Тульская обл.	Снежедь	1...40	0,2...5	0,3...0,5

Из таблицы следует, что указанные реки имеют небольшую глубину и малую скорость течения.

Приведенные данные относятся, в основном, к равнинным рекам. Небольшие полугорные реки имеют среднюю скорость течения 1 м/с, малые горные реки – 1,5 м/с. В период половодья скорости равнинных, полугорных и горных рек увеличиваются. Так средняя скорость равнинных рек возрастает до 1,5 м/с, а горных рек - до 5 м/с.

Трудности освоения энергетического потенциала вышеуказанных и подобных им водных источников связаны не только с низкими скоростями течения, но также со следующими негативными факторами:

- обмеление рек в засушливые годы;
- сезонные изменения стока;
- замерзание (вплоть до промерзания) рек зимой и т.п.

На ряде рек осуществляется малотоннажное судоходство. Указанные обстоятельства создают большие трудности в размещении МкГЭС в свободном потоке воды.

Рассмотрим в свете этих особенностей некоторые существующие или предлагаемые конструкции МкГЭС для малых и самых малых рек.

По пространственной ориентации МкГЭС бывают с вертикальной, горизонтальной и наклонной гидравлической турбиной.

МкГЭС с вертикальной гидравлической турбиной [1] - это установленное в русле сооружение, состоящее из фундаментной плиты, боковых стен и перекрытия на котором установлены мультипликатор и электрический генератор. Генератор расположен над местом установки рабочего колеса турбины.

Другой вариант вертикальной МкГЭС приведен в [2]. Генератор станции установлен на суше и приводится в движение турбиной посредством применения вертикального и горизонтального валов с использованием конической передачи.

Применение вертикальных МкГЭС для малых рек глубиной до 1... 2 м и особенно для самых малых рек с меньшей глубиной является проблематичным из-за их сравнительно больших аксиальных размеров, включающих длины турбины, мультипликатора (ременную или цепную передачи, валы и т.д.) и генератора.

МкГЭС с горизонтальной гидравлической турбиной делятся на две группы.

В первой группе ось [3] турбины располагается по ходу течения реки. Установка содержит генератор, расположенный ниже уровня воды в герметичном корпусе, и мультипликатор, связывающий вал генератора с горизонтальной осью вращения турбины.

Вторая группа выполняется с турбиной, ось вращения которой располагается перпендикулярно или под углом по отношению к течению реки. В погружной свободнопоточной МкГЭС [4] горизонтальная ось вращения турбины направлена поперек течения. Вал турбины непосредственно соединен с валом герметизированного низкоскоростного электрогенератора. Все устройство закреплено на неподвижной раме, установленной на дне реки.

В [5] предложена установка для использования энергии потока воды, установленная на заякоренном наплавном устройстве. Плоскодонный плавучий корпус содержит полости вдоль бортов, в которых на горизонтальных валах закреплены лопастные колеса, кинематически связанные с электрогенератором. Использование МкГЭС данной группы на малых реках может явиться помехой для малотоннажного судоходства.

Анализ известных и приведенных в статье конструкции бесплотинных свободнопоточных МкГЭС для рек со средним течением до 0,15...0,2 м/с позволяет сформулировать следующие для них требования:

- МкГЭС должна быть выполнена моноблочной удлиненной формы с малым наружным диаметром, который диктуется небольшой глубиной малых и самых малых рек. Малый диаметр способствует снижению потерь вращающихся частей станции о воду.
- ось турбины и, следовательно, станции, должна располагаться вдоль, а не поперек течения реки, с целью устранения помех для судоходства.
- МкГЭС должна располагаться непосредственно в реке без использования наплавных средств: плотов, лодок, катамаранов.
- МкГЭС должна работать круглогодично (в случае отсутствия полного промерзания реки).
- во время половодья станция должна поддерживать приемлемый уровень частоты и напряжения.
- конструкция МкГЭС должна быть полностью электробезопасной.

Главное требование, которое при проектировании накладывается на турбину и генератор МкГЭС - обеспечение необходимой частоты вращения. Она должна быть как можно большей. С увеличением частоты вращения габариты турбины и генератора уменьшаются. Для увеличения частоты вращения рабочего колеса турбины следует

стремиться к увеличению скорости потока жидкости, воздействующего на его лопасти. При выполнении генератора число пар полюсов целесообразно принимать возможно меньшим.

В [6] показано, что при скорости течения реки $1,8...3,5$ м/с тихоходный полупогруженный в реку герметичный генератор может быть выполнен на частоту вращения $93,75 \pm 2$ мин⁻¹. Генератор выполняется многополюсным, вал генератора соединяется с валом ортогональной турбины непосредственно.

Если скорость течения реки $0,15...0,5$ м/с, то выполнить электрический генератор с непосредственным соединением с тихоходной турбиной не представляется возможным. Стремление использовать высокооборотные и более дешевые генераторы, по мнению авторов, можно путем применения в конструкции станции мультипликатора с передаточным отношением $1:8...1:16$ между тихоходной турбиной и генератором. В этом случае генератор может быть выполнен на частоты вращения $250...500$ мин⁻¹.

На взгляд авторов наиболее перспективной конструкцией МкГЭС является конструкция моноблочной погружной станции с горизонтальной осью вращения пропеллерной турбины, расположенной по течению реки. В этом случае генератор располагается под уровнем воды. Выполнение генератора герметичным или в герметичной оболочке с сухой обмоткой является не вполне обоснованным. Он должен иметь надежные уплотнения от проникновения речной воды внутрь машины. Со временем уплотнения нарушаются, и вода может попасть внутрь генератора. Полумокрые генераторы имеют сухую обмотку, а внутренняя полость генератора с обмоткой герметично изолируется с помощью вставленной в расточку статора тонкостенной гильзы. Применение гильзы, из-за наличия в ней потерь, ухудшает показатели генератора.

В Орловском Государственном университете – УНПК ведутся работы по созданию моноблочной свободнопоточной МкГЭС для мелких рек с низкой скоростью течения. За основу взята горизонтальная конструктивная схема. В едином базовом корпусе агрегата размещены последовательно основные узлы МкГЭС: гидромеханический преобразователь, включающий подводную камеру; многоканальный направляющий аппарат и рабочее колесо гидравлической турбины пропеллерного типа, как наиболее быстроходной; мультипликатор, представляющий собой эпициклический планетарный механизм, составленный из зубчатых колес и трехфазный синхронный генератор.

Передача вращения от рабочего колеса гидротурбины к ротору электрогенератора осуществляется через средство мультипликатора, позволяющего достаточно просто увеличить частоту вращения ротора генератора до необходимого значения.

В МкГЭС применяется погружной водонаполненный синхронный генератор. Его основная конструктивная особенность – удлиненная форма при уменьшенном наружном диаметре, это диктуется малой глубиной водного источника.

Генератор выполняется обращенным цилиндрической конструкции. Обмотка якоря расположена в пазах неподвижного статора, а постоянные магниты – на внутренней поверхности вращающегося ротора. Для водонаполненного генератора необходима обмотка из специального провода, например ПВДП с двойной полиэтиленовой изоляцией.

Наличие механических примесей, загрязненность воды вызывает необходимость защиты его внутренней полости, поэтому она заполнена чистой водой. Генератор не боится попадания речной воды внутрь, т.к. плотность воды в реке и во внутренней полости генератора одинаковы и внешнее давление реки уравнивается давлением воды внутри генератора. Так как МкГЭС может работать в воде с различными химическими примесями, возникает необходимость принятия мер по уменьшению или устранению коррозии.

Проточная речная вода омывает наружную поверхность корпуса генератора, интенсивно его охлаждая.

Предложенная конструкция МкГЭС позволяет применять ее в водных потоках с относительно небольшой скоростью течения воды. Она отличается простотой конструкции, компактностью, надежностью и долговечностью. На ее базе могут быть созданы электроэнергетические агрегаты широкого назначения и различных типоразмеров.

Вывод: Необходима государственная программа по развитию малой гидроэнергетики, направленная на освоение энергетического потенциала низкоскоростных маловодных источников.

Список литературы

1. Пат. 2171910 Российской Федерации, МПК⁷ C1 F03B 13/00, F03B7/00 Гидроэлектростанция [Текст] / Толмачев В.Н., Боровиков С.Н., Савчук А.Д., Лесина. Заявитель: Военный инженерно-технический университет. Заявка: 21.02.2000. Опубликовано: 10.08.2001. – 5с.; ил.
2. Пат.2256092 Российской Федерации, МПК⁷ C2 F03B 13/00, 17/06 Гидроагрегат для преобразования кинетической энергии потока воды в электрическую [Текст]/ Хузин Р.Р., Закиев Г.З., Шаяхметов Ш.К., Шаяхметов А.Ш. Заявитель: ОАО «Иделойл» Заявка: 16.09.2003. Опубликовано: 10.07.2005. Бюл. №19. – 7с., ил.
3. Пат. 2324068, Российской Федерации, МПК C2 F03B 17/06, F03B 13/00 Автономная водопогруженная свободнопоточная микрогидроэлектростанция [Текст] / Улановский Я.Б., Карпов А.Б., Кашфразиев Ю.Ф. Заявитель: Общество «Стройинжинеринг» Заявка: 22.06.2006. Опубликовано: 10.05.2008 Бюл.№13 – 6с., ил.
4. Пат. 2247859 Российской Федерации, МПК⁷ C1 F03B 13/00 Погружная свободнопоточная микрогидроэлектростанция [Текст] // Головин М.П., Встовский А.П., Головина Л.Н. и др. Заявитель: Красноярский государственный технический университет. Заявка: 15.09.2003. Опубликовано: 10.03.2005. Бюл.№7. – 5с.; ил.
5. Пат. 1624198 SU A1 F03B 17/06, Установка для использования энергии потока воды «Тунгуска» [Текст] / Пикуль В.Н. 1987. Заявка: 28.09.88. Опубликовано: 30.01.91. – 2с.; ил.
6. Инновации бизнесу. Организация серийного производства возобновляемых источников электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ideasandmoney.ru/Ppt/Detail/297397>.

Загрядцкий Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрооборудование и энергосбережение» Государственный университет – УНПК; 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29.
Кобяков Евгений Тихонович, канд. техн. наук, профессор кафедры «Динамика и прочность машин» Государственный университет – УНПК; 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29.

УДК 621.316.935.1

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕТИ ПРИ ОЗЗ В СЕТЯХ С ДРГ ПРИ БОЛЬШИХ РАССТРОЙКАХ КОМПЕНСАЦИИ

Л. Аарон В.В., Рыжкова Е.Н.
Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Рассмотрены возможные состояния компенсированных сетей напряжением 6-35 кВ, переходные процессы, возникающие в при ОЗЗ с большими расстройками компенсации.

Ключевые слова: дугогасящий реактор, расстройка компенсации, однофазное замыкание, феррорезонанс.

Considered the possible states of compensated networks 6-35 kV, transients arising during one phase short circuits with large detuning compensation.

Keywords: arc suppression coil, the detuning compensation, single phase short circuit, ferroresonance.

Сети 6-35 кВ с компенсированной нейтралью согласно ПУЭ 7-ого издания [1] должны иметь резонансную настройку, когда индуктивный ток I_K дугогасящего реактора (ДГР) равен емкостному току I_C однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Допускается

расстройка не более 5%, причем предпочтительнее режим перекомпенсации ($I_K > I_C$), режим недокомпенсации ($I_C > I_K$) нежелателен из-за большей кратности дуговых перенапряжений.

Однако, поскольку большинство сетей в России оснащены в основном ступенчатыми ДГР с ручным переключением ответвлений типа ЗРОМ или РЗДСОМ [2], у которых принципиально острая резонансная настройка недостижима, то расстройки компенсации даже в условиях грамотной эксплуатации могут достигать значительно больших значений, чем это предписывается. Кроме того, при поисковых переключениях в режиме замыкания эта ситуация усугубляется.

В сетях, оснащенных плавнорегулируемыми плунжерными ДГР типа РЗДПОМ и их аналогами, теоретически всегда возможно поддержание резонансной настройки, если мощность реакторов соответствует потребностям сети. Однако на практике очень нередки случаи, когда в результате неисправности или преднамеренного отключения регуляторов возникают глубокие расстройки компенсации, в основном, недокомпенсация.

При этом исчезает всякий смысл применения компенсирующего устройства, основное назначение которого - гашение дуги однополюсного замыкания. В этом случае ток в дуге по-прежнему имеет емкостной характер (при резонансной настройке остаточный ток в месте замыкания чисто активный) и нередко превышает граничные значения, установленные [1].

При перемежающемся характере горения дуги возникновение дуговых перенапряжений, в том числе и в результате биений становится неизбежным. Появление опасного смещения нейтрали в таком режиме может привести также к развитию феррорезонансных процессов (ФРП), имеющих высокую кратность перенапряжений и длительность их воздействия на сеть.

Поэтому анализ переходных процессов в компенсированных сетях по-прежнему является актуальной задачей, и представляется целесообразным рассмотрение некоторых аспектов моделирования таких сетей для прогнозирования и предотвращения нежелательных последствий аварийных событий, связанных с глубокими расстройками.

В [3] приводятся расчеты кратностей перенапряжений по трем существующим теориям горения дуги при ОЗЗ, но при этом не учитываются такие факторы как наличие больших расстроек, мощность, выделяемая в дуге и другие характеристики.

Сеть с ДГР при ОЗЗ ведет себя как цепь RLC с высокой добротностью, переходная характеристика которой будет колебательной. Если собственная частота колебаний равна или близка к присущим гармоникам напряжения или тока системы, то могут возникнуть резонансные условия.

В сети с компенсированной нейтралью возможны четыре состояния RLC-контура.

Первое состояние - сеть находится в штатном режиме симметричном режиме.

Второе состояние соответствует устойчивому замыканию, напряжение на поврежденной фазе равно нулю, на здоровых - линейному, ток в месте замыкания определяется степенью расстройки.

Третье состояние - это дуговое замыкание на землю. В отличие от случая полной компенсации в данном случае из-за расстройки компенсации ликвидация дугового замыкания сопровождается процессом биений (наложением на установившееся напряжение промышленной частоты свободной составляющей близкой частоты).

Четвертое состояние - исчезновение однофазного замыкания на землю. При резонансной настройке, когда емкостное сопротивление равно индуктивному сопротивлению реактора, возникает ряд благоприятных условий протекания переходных

процессов: минимальный ток промышленной частоты в месте повреждения, минимальная скорость восстановления напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги, но при значительной недокомпенсации возможно развитие феррорезонансных процессов.

Для исследования состояний и процессов развития перенапряжений при дуговых ОЗЗ с дугогасящим реактором, учитывая ограниченные возможности проведения экспериментов в действующих электрических сетях, наиболее подходящим способом является математическое моделирование на ЭВМ, в данном случае использовался программный комплекс АТР/ЕМТР [4]. Результаты расчетов при вариации расстройки компенсации приведены на рисунке 1.

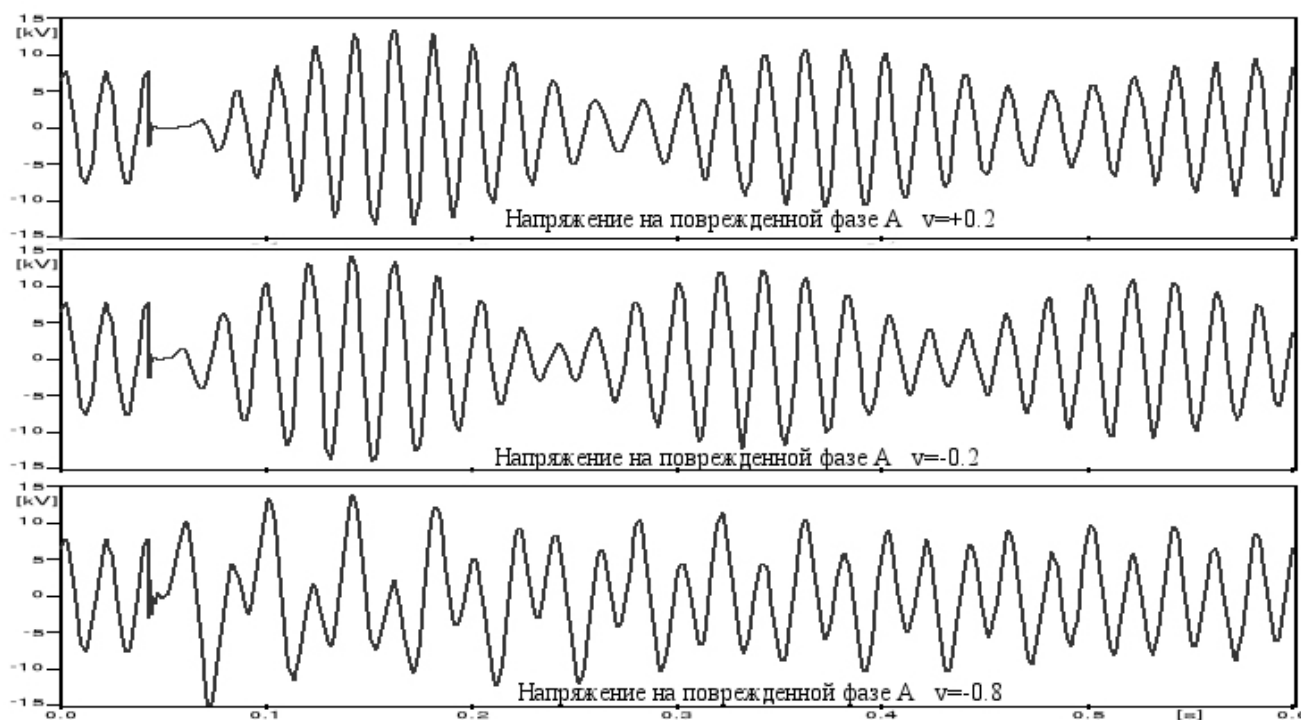


Рисунок 1– Результаты расчётов

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы 6-го и 7-го изданий с изм. и доп. по сост. на 01.01.2013. – М.: КноРус, 2013. – 487 с.: табл. – ISBN 978-5-406-02937-4.
2. Миронов, И.А. Автоматические устройства настройки компенсации емкостного тока замыкания на землю в сетях 6-35 кВ [Текст] / И.А.Миронов, В.А. Кричко //ЭЛЕКТРО-ИНФО. – 2005. – №4. – С.12-15.
3. Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов [Текст] / Ф.А. Лихачев. – М.: Энергия, 1971. – 152с.
4. Ariei, L. Shenkman. Transient analysis of electric power circuits handbook [Text].- Israel.: Springer.- 2005. -575 с.

Луис Аарон Вергара Валдес, аспирант НИУ «МЭИ», почтовый адрес: 111020, Москва, ул. 1-ая Синичкина, д. 3, к. 1; e-mail: mordenx@hotmail.com; тел.: 8(926)8365399.

Рыжкова Елена Николаевна, д-р. техн. наук, профессор НИУ «МЭИ», почтовый адрес: 140250, Московская обл. Воскресенский р-н, д. Цибино, пер. Школьный д. 11, кв. 12; e-mail: RyzhkovaYN@mpei.ru.

АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИЛОВЫХ СХЕМ УПРАВЛЯЕМОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ненахов А.И.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

В докладе описаны ключевые моменты математического моделирования устройств компенсации реактивной мощности на базе IGBT-ключей с целью определения их быстродействия и возможностей использования в сетях с резкопеременными нагрузками.

Ключевые слова: Компенсаторы реактивной мощности, подавление фликера, СтатКом.

The report describes the key points of mathematical modeling reactive power compensation devices based on IGBT to determine their performance and features use in networks with rapidly changing loads.

Keywords: Reactive power compensators, flicker suppression, StatCom.

Для систем электроснабжения промышленных предприятий в настоящее время широко распространенными и незаменимыми являются устройства СТК, выполняющие функции поддержания напряжения при резкопеременной нагрузке, разгрузки системы от реактивной мощности и улучшения качества электроэнергии на предприятии.

Однако, в настоящее время появляются новые разработки современных силовых установок, построенные на использовании IGBT-ключей и выполняющие те же функции. В первую очередь интерес представляют несколько типов устройств СтатКом.

СтатКом отличается от СТК иным устройством, увеличенным набором функций и улучшенными характеристиками. Он предназначен для регулирования реактивной мощности в широких пределах (плюс-минус 100% номинальной мощности).

Упрощенно, СтатКом, это преобразователь напряжения на управляемых силовых транзисторах. Принцип работы СтатКом идентичен принципу работы агрегатов бесперебойного питания: из напряжения источника постоянного тока за счет широтно-импульсной модуляции и использования фильтра гармоник формируется синусоидальное напряжения. СтатКом представляет собой 3-х фазный источник напряжения с регулируемой амплитудой и фазой отделенный от сети собственным реактансом. Главное свойство СтатКом – способность генерировать ток любой фазы относительно напряжения сети, причем не зависимо от уровня и качества напряжения сети.

СтатКом обладает высоким быстродействием, малым содержанием высших гармоник, малыми габаритами, может использоваться в любых электрических сетях. Считается, что сегодня это наиболее совершенное статическое устройство FACTS. Однако в настоящее время сфера его применения значительно ограничена в связи с дороговизной и сложностью устройств в сравнении с СТК.

Как известно СТК имеет 2 основных направления использования: это работа в электрических сетях с целью поддержания и регулирования напряжения, и работа в сетях промышленных предприятий непосредственно в сети питания резко переменных нагрузок, таких как дуговые сталеплавильные печи. Именно для второго направления замена СТК на СтатКом может принести значительное увеличение эффективности компенсации, так как новые устройства имеют значительно более широкие возможности работы в динамических режимах. Но на текущем этапе особенности использования в данной сфере мало изучены. Здесь появляется много вопросов как в отношении устройства силовой схемы, так и в выборе и построении алгоритмов управления.

Существует три основные схемы СтатКом, имеющие различное строение и количество ключей: D-СтатКом (мостовая схема с 6-ю ключами и общим для трех фаз конденсатором), NPC-СтатКом (обеспечивает 3 уровня выходного напряжения в каждой

фазе и 5 уровней линейного напряжения), и Н-СтатКом (многоуровневое модульное устройство, количество ступеней напряжения зависит от количества ячеек в фазе).

Последний тип устройства является наиболее сложным, но и дает наиболее близкое к синусоидальному напряжению и имеет самые высокие возможности регулирования. В силу последовательного соединения ячеек в одной фазе полная частота коммутаций в цепи значительно выше частоты переключений каждого из полупроводниковых приборов. Именно данная схема используется при математическом моделировании, задачей которого ставится выявление особенностей работы устройства в динамических режимах, свойственных для промышленных сетей.

В ходе исследования была построена математическая модель системы компенсации в программе Simulink пакета Matlab. Модель была рассчитана с фиксированным шагом дискретизации в 20 мкс. При частоте переключений одного ключа в 500 Гц этой дискретизации достаточно для получения достаточно точных результатов, хотя и не позволяет учесть времена задержек включения и отключения в ключах, которые составляют порядка 1 мкс.

Для рассмотрения в модели была выбрана система электроснабжения с напряжением 6 кВ. При таком напряжении потребовалось 6 ячеек в каждой фазе компенсатора, включающих в себя конденсаторы на постоянное напряжение 2 кВ. Расчетная мощность компенсатора составила 12 Мвар.

В модель были включены следующие основные части: модель энергосистемы, состоящая из источника питания, сопротивления системы, модели задания переменной нагрузки, силовой схемы компенсатора и выключателя компенсатора, и модель системы управления.

В качестве нагрузки были приняты токи, рассчитанные из мощностей двух однофазных печей в соответствии с данными одного из реальных объектов. Несимметричность нагрузки позволила также провести опыты с симметрированием активных токов.

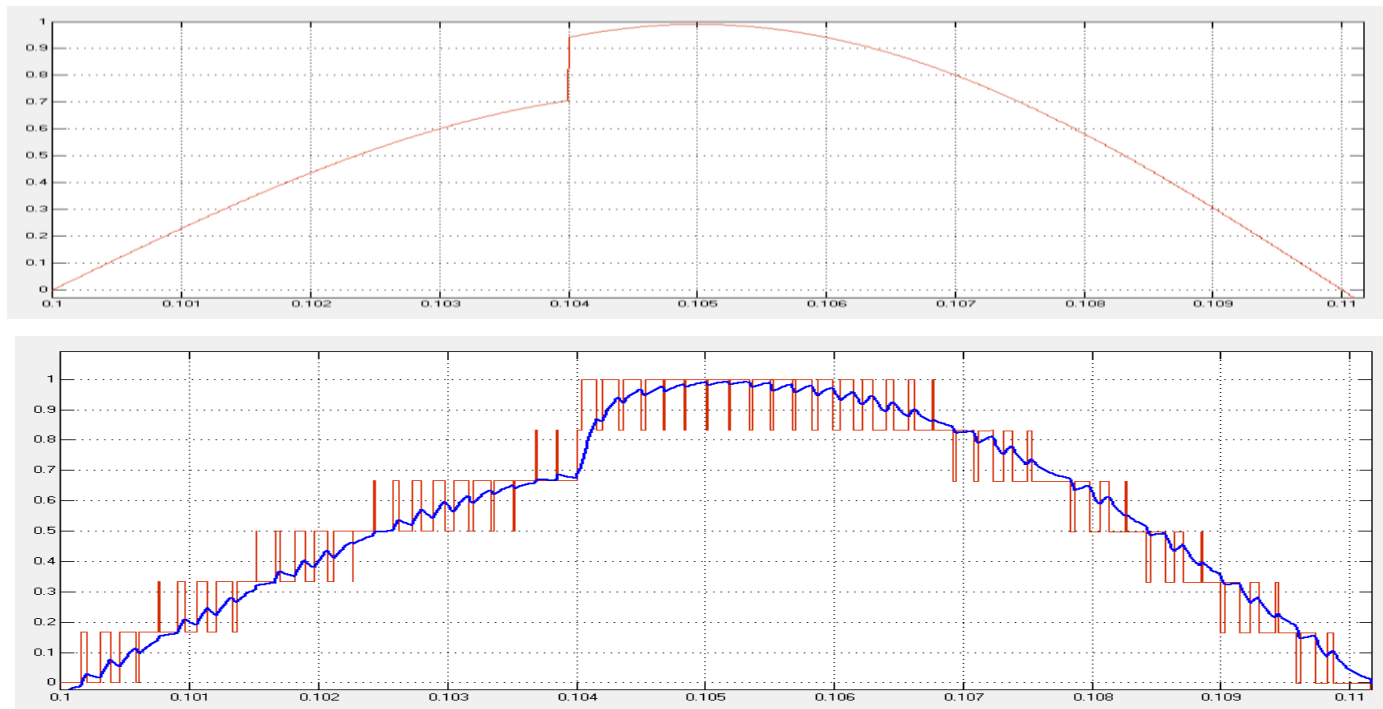


Рисунок 1 – График сигнала управления (сверху); график мгновенно напряжения фазы СтатКом и график напряжения после фильтрации (снизу)

В данной работе были показаны возможности компенсации реактивной мощности и симметрирования активной нагрузки в плавных режимах, а также проанализированы особенности формирования напряжения методом ШИМ. Выполнены опыты как отдельно с силовой схемой и идеальными сигналами управления, так и в комплексе при работе компенсатора с переменной нагрузкой.

Даже при работе с самым простым алгоритмом управления СтатКом показывает качество компенсации лучше, чем у СТК. В опытах с использованием реальных графиков токов печи ДСП было получено, что коэффициент подавления фликера превышает 2 ед.

Было показано, что силовая схема СтатКом превосходит СТК по скорости отработки сигнала управления и может отработать изменение его состояния за очень короткий промежуток времени. На рисунке 1 показан график мгновенного напряжения в фазе СтатКом при отработке идеального сигнала управления.

По графику можно видеть, что изменение напряжения происходит за время порядка 0.6 мс даже с учетом фильтрации сигнала. Это время меньше периода несущей частоты для одной ячейки. Этот опыт показывает быстроедействие только силовой схемы формирования напряжения. И отсюда следует, что данная система должна быть дополнена более быстрыми алгоритмами управления с использованием мгновенных величин токов или напряжений для отработки быстрых процессов в сети и снижения колебаний напряжения.

Полученные результаты могут служить показателем того, что при правильно разработанном алгоритме управления, возможности устройства СтатКом превзойдут возможности СТК по ряду параметров, в том числе при использовании в промышленности и работе с резкопеременной нагрузкой. Также из вышесказанного следует вывод о необходимости дальнейшего исследования в области систем управления для данных типов устройств.

Список литературы

1. R. Mohan Mathur. Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems [Text] / R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma / // Wiley-IEEE Press. - 2002. – P.413-431

Ненахов Александр Игоревич, аспирант кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО "Национального исследовательского университета "МЭИ"; 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная ул., 14; тел.: 8(916)0550658; e-mail: navei909@gmail.com.

УДК 622:621.31

МОНИТОРИНГ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

Фащиленко В.Н., Решетняк С.Н.
Россия, г. Москва, НИТУ МИСИС

В статье представлены основные аспекты работы системы электропривода горных машин в резонансных режимах по добычи полезного ископаемого подземным способом, дана актуальность дальнейшего исследования этой проблемы.

Ключевые слова: электромеханическая система; упругие связи; резонансные режимы; энергетическая эффективность.

The article presents the main aspects of work of systems of the electric drive mining machines in a resonant mode is mined by underground method, given the urgency of the further study of this problem.

Keywords: Electromechanical system; elastic links; the resonance operation modes; energy efficiency.

В 2013 году добыча угля в Российской Федерации составил 352 млн. тонн в том числе подземным способом 101,4 млн. тонн. Основной объем добычи угля пришелся на Сибирский федеральный округ - 84,5%.

Опыт показывает, что применение современных технологий выемки полезного ископаемого и систем мониторинга электропотребления подземных потребителей в ряде случаев оказывается недостаточно. В лучшем случае, происходит мониторинг электропотребления на счетчике фидерной ячейки без анализа электропотребления конкретного оборудования.

Анализ динамики среднесуточной нагрузки на комплексно-механизированный забой (рис.1) показал, что за промежуток времени с 2000 по 2013 год (за 6 месяцев) среднесуточная нагрузка на забой увеличилась на 330 %, следовательно, и возросло электропотребление добычных и проходческих участков [1].

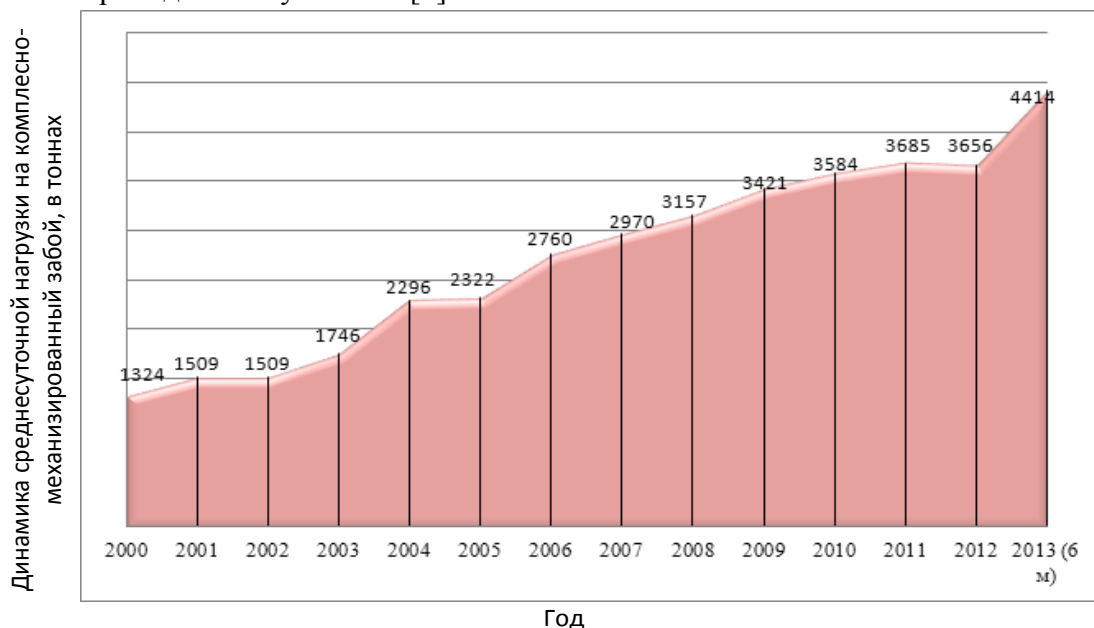


Рисунок 1 – Динамика среднесуточной нагрузки на комплексно-механизированный забой, в тоннах

Создание системы комплексного мониторинга электропотребления направлено на получение различной информации, максимально описывающей технологические процессы, происходящие в условиях добычи полезного ископаемого подземным способом. Полученная информация обеспечит новую технологию в управлении процессом по добыче полезного ископаемого или проходке в режиме реального времени. Это позволит прогнозировать добычу полезного ископаемого и проходку выработок, а также обеспечит повышение достоверности показаний электропотребления, позволит архивировать сведения для дальнейшего анализа и разработки энергоэффективных способов добычи и проходки, а также предотвращение возникновения аварийных режимов работы оборудования, что является актуальной проблемой, имеющей важное научное и практическое значение.

В процессе работы подземных горных машин, в частности проходческих и добычных комбайнов, в упругих связях возникают колебания, как продольные, так и поперечные. Они приводят к преждевременному выходу из строя оборудования, и имеется необходимость для их ограничения. Ограничение динамических нагрузок посредством использования демпфирующих свойств электропривода является наиболее перспективным [2].

Однако помимо ограничения динамических нагрузок, что в значительной степени скажется на производительности комбайнов, существует ряд исследований позволяющих ввести ЭМС (электромеханическую систему), в режим контролируемого резонанса. В этот режим система вводится с целью улучшения ряда показателей производительности

и снижения потребления электрической энергии, как следствие повышения энергетической эффективности оборудования за счет снижения удельных энергозатрат.

Основной задачей управляемого резонансного режима является обеспечение таких нагрузок, которые бы не превысили допустимого предела по фактору механической прочности конкретного элемента конструкции. Кроме того, современная высокопроизводительная техника, должна иметь широкий диапазон скоростей рабочего органа при относительно узком диапазоне изменения крепости пород.

Решение задачи видится путем использования современных комплектных устройств КРУВ-6С-УХЛ5, которые позволяют выдавать сигнал о режимах работы электроустановки по линиям связи на поверхность шахты. Предлагаемая схема автоматизированной информационно-измерительной системы технического учета электроэнергии для подземных потребителей шахты представлена на рис. 2.

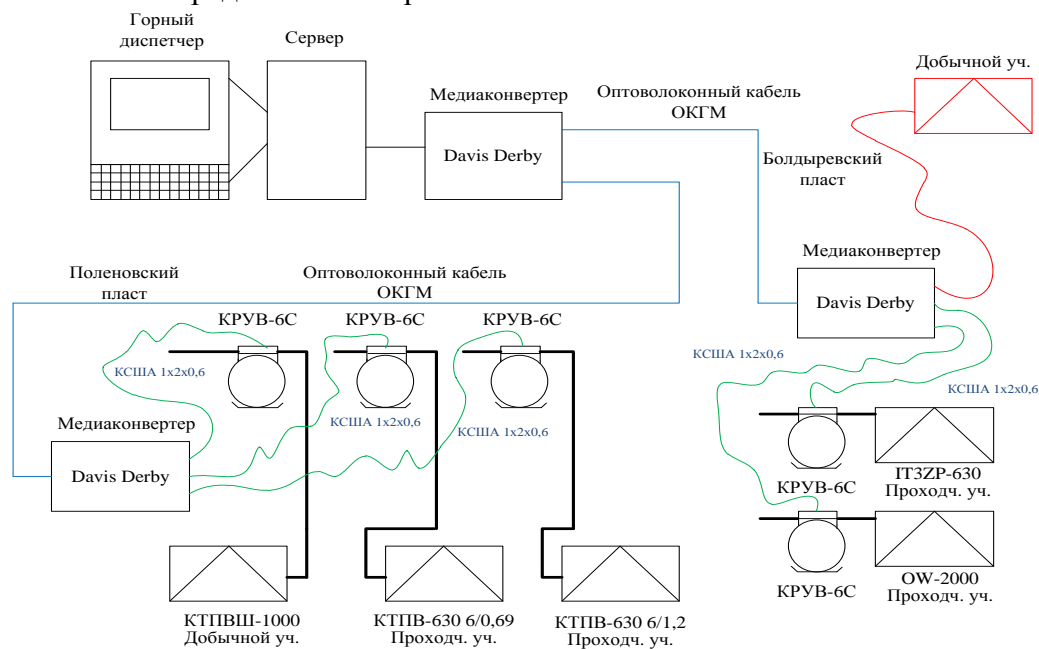


Рисунок 2 – Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии

Представленная информационная система состоит из 5 комплектных устройств КРУВ-6С-УХЛ5, двух медиаконвертеров расположенных в подземной части шахты и одного медиаконвертера расположенного на поверхности. В связи с использованием оптоволоконных линий связи, скорость передачи информации на сервер диспетчера значительно возрастает, возрастает также и качество передаваемого сигнала (отсутствуют искажения). Основной задачей представленной системы является получение информации о работе подземного оборудования, и энергоэффективных режимов работы подземного оборудования. В частности, представленная система позволяет отследить управляемые резонансные режимы работы подземных потребителей электрической энергии. Резонансные режимы работы проходческих и добычных комбайнов позволит в значительной степени уменьшить потребления электрической энергии, что в значительной степени позволит снизить себестоимость добычи полезного ископаемого, а также увеличить производительность оборудования.

В заключении следует отметить, что представленная автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии для подземных потребителей позволит осуществлять мониторинг режимов работы оборудования расположенного в подземных горных выработках.

Список литературы

1. Кубрин, С.С. Мониторинг горного оборудования на основе анализа энергопотребления в коммутационной аппаратуре электросети горного предприятия. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр [Текст] / С.С. Кубрин, С.В. Ясученя, В.В. Зотов, С.Н. Решетняк: под ред. академика К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН. – 2014. – С. 233–237.

2. Решетняк, С.Н. К вопросу исследования резонансных режимов электромеханической системы буровых станков [Текст] / С.Н. Решетняк // Научно-практический журнал «Приволжский научный вестник». – 2013. – №11. – С. 70-74.

Фащиленко Валерий Николаевич – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект, д. 6; e-mail: vnf48@mail.ru.

Решетняк Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект д. 6; e-mail: reshetniak@inbox.ru.

УДК 622:621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОРНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Фащиленко В.Н., Решетняк С.Н.
Россия, г. Москва, НИТУ МИСиС

В статье представлены основные аспекты работы системы электропривода горных машин и механизмов в резонансных режимах, дана актуальность дальнейшего исследования этой проблемы.

Ключевые слова: электромеханическая система; упругие связи; резонансные режимы; энергетическая эффективность; возмущающие воздействия.

The article presents the main aspects of the system drive mining machines and mechanisms in the resonant modes, and also give the relevance of the further study of this problem.

Keywords: Electromechanical system; elastic links; the resonance operation modes; energy efficiency; disturbing effects.

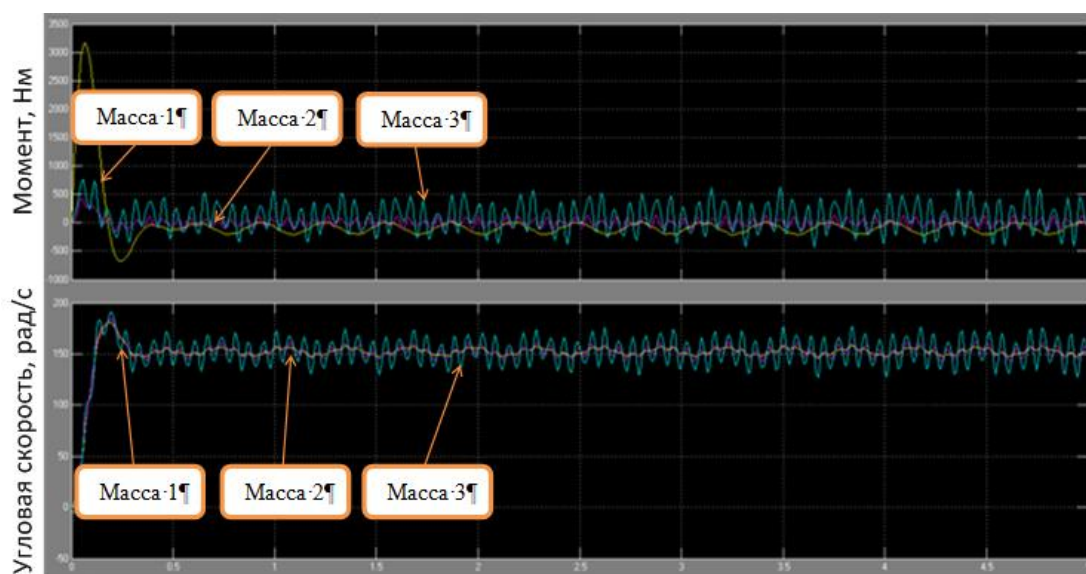
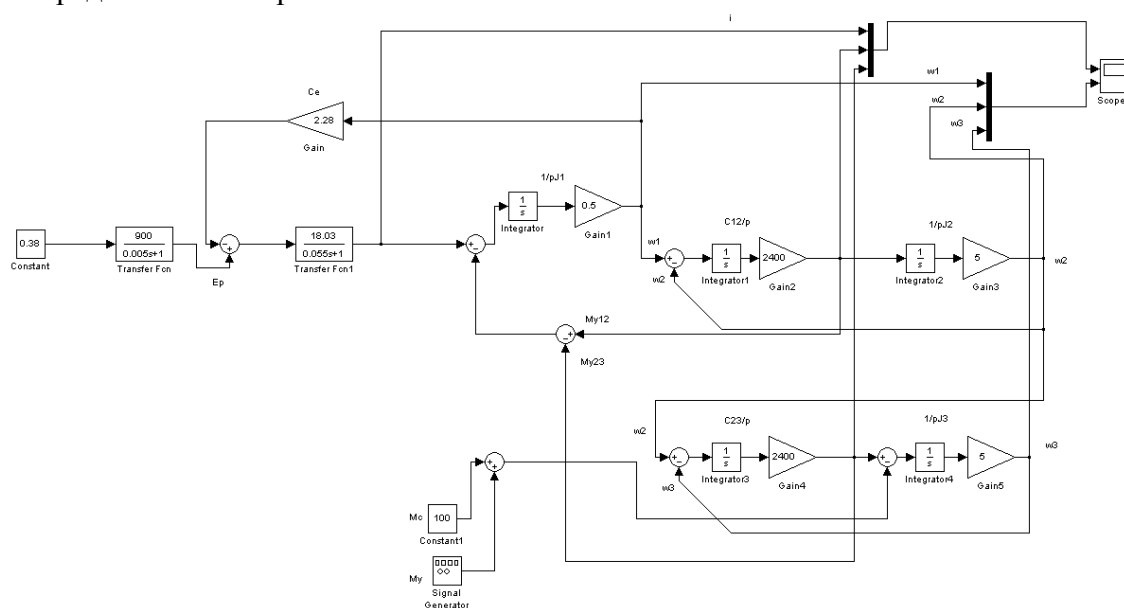
В процессе работы горных машин и механизмов в упругих связях возникают колебания, как продольные, так и поперечные. Которые приводят к преждевременному выходу из строя оборудования, и имеется необходимость для их ограничения. Ограничение динамических нагрузок посредством использования демпфирующих свойств электропривода является наиболее перспективным [2].

Однако помимо ограничения динамических нагрузок, что в значительной степени скажется на производительности оборудования, существует ряд исследований позволяющих ввести ЭМС (электромеханическую систему) горных машин и механизмов, в режим контролируемого резонанса. В этот режим система вводится с целью улучшения ряда показателей производительности и снижения потребления электрической энергии, как следствие повышения энергетической эффективности оборудования за счет снижения удельных энергозатрат.

Энергетические свойства электропривода, по критерию минимального потребления электроэнергии, определяются коэффициентом динамичности тока якоря для машин постоянного тока. Соотношение между мощностью приводного электродвигателя механизма вращения бурового станка и коэффициентом динамичности тока якоря имеет вид обратно пропорциональной зависимости, т.е. чем больше коэффициент динамичности тока якоря, тем меньше требуется электроэнергии на процесс резания [2]. Под коэффициентом динамичности тока якоря следует понимать отношение амплитуды вынужденных колебаний к амплитуде возмущающего воздействия [1,2].

Основной задачей управляемого резонансного режима является обеспечение таких нагрузок, которые бы не превысили допустимого предела по фактору механической

прочности конкретного элемента конструкции. Кроме того, современная высокопроизводительная техника, должна иметь широкий диапазон скоростей рабочего органа при относительно узком диапазоне изменения крепости пород. Для введения системы в режим резонанса необходимо, чтобы частота собственных колебаний системы была равна частоте возмущающего воздействия [1,2]. В качестве примера таких машин, для открытых горных работ может выступать буровой станок, для подземных горных работ может выступать проходческий и добычной комбайн.



Моделирование трехмассовой электромеханической системы с упругими связями позволит оценить влияние настроек систем управления по различным критериям, а также введением дополнительных обратных связей в структуру управления для создания эффективных режимов работы горных машин и механизмов, в том числе и резонансных режимов работы.

Математическое описание механической части составленной на основании уравнения Лагранжа, представлено в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned}M - M_{y12} &= J_1 p w_1; \\M_{y12} - M_{y23} &= J_2 p w_2; \\M_{y23} - M_c &= J_3 p w_3; \\p M_{y12} &= (w_1 - w_2) C_{12}; \\p M_{y23} &= (w_2 - w_3) C_{23},\end{aligned}$$

где M – момент приводного двигателя; $M_{y12} - M_{y23}$ упругий момент между соответствующими массами; $J_1 - J_3$ приведенный момент инерции соответствующей массы; $\omega_1 - \omega_3$ угловая скорость вращения соответствующей массы; M_c – приведенный статический момент исполнительного органа; $C_{12} - C_{23}$ приведенный коэффициент жесткости между массами, p – комплексный оператор. Решения этой системы позволит оценить влияние конкретных параметров системы управления, на работу в резонансных режимах.

В заключении следует отметить что, необходимо дальнейшее исследование ЭМС различных структур систем управления электроприводами горных машин и механизмов при резонансных режимах работы, с целью снижения удельных энергозатрат на добычу полезного ископаемого как открытым, так и подземным способом.

Список литературы

1. Пейль, Н.Г. Исследование резонансных режимов ЭМС с обратными связями [Текст] / Н.Г. Пейль // ГИАБ – М.: Издательство МГГУ. – 2005. – №5 – С. 242–246.
2. Решетняк, С.Н. К вопросу исследования резонансных режимов электромеханической системы буровых станков [Текст] / С.Н. Решетняк // Научно-практический журнал «Приволжский научный вестник». – 2013. – №11. – С. 70–74.

Фашиленко Валерий Николаевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект д. 6; e-mail: vnf48@mail.ru.

Решетняк Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» НИТУ «МИСиС», 119991 г. Москва Ленинский проспект д. 6; e-mail: reshetniak@inbox.ru.

СЕКЦИЯ №4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ

Руководитель:

Кувалдин Александр Борисович, доктор технических наук, профессор академик АЭН Российской Федерации, кафедры ФАМЭК, НИУ «МЭИ», г. Москва.

УДК 621.365

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С КУСКОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Кувалдин А.Б., Федин М.А., Алферова Е.С.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Разработана математическая модель для расчета электрического режима индукционной тигельной печи (ИТП) в начальный период плавки шихты. Получены математические зависимости удельной мощности загрузки, электрического КПД и коэффициента мощности от температуры, которые используются для реализации системы автоматического управления ИТП.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, кусковая загрузка, метод индуктивно-связанных контуров, математическая модель.

A mathematical model for calculating the electrical mode of induction crucible furnace (ICF) in the initial period of melting the charge is developed in this thesis. The mathematical dependence of the specific power loading, electrical efficiency and power factor of temperature is obtained. Mathematical formulas are used to implement the automatic control system of ICF.

Keywords: Induction crucible furnace, lumpy charge, method of inductively-coupled circuits, mathematical model.

Для расчета электрического режима индукционной тигельной печи и реализации системы управления технологическим процессом, необходимо иметь математические зависимости электрических параметров загрузки от температуры в ходе плавки. Наиболее сложным оказывается получение математического описания процесса нагрева и сплавления кусков шихты, когда происходит значительное изменение активного сопротивления загрузки, так как сильно изменяются ее геометрия и электрофизические параметры.

Описание кусковой загрузки в виде совокупности металлических цилиндров (рис. 1) использовано в работах [1, 2], введено допущение, что токи в цилиндрах не влияют друг на друга, т.е. во всех цилиндрах выделяется одинаковая мощность.

В данной работе расчет электромагнитной системы индуктор – загрузка, представляющей собой совокупность цилиндров, выполняется с использованием метода индуктивно-связанных контуров, который обычно применяют для расчета системы с загрузкой в виде одного цилиндра или концентрических колец [3].

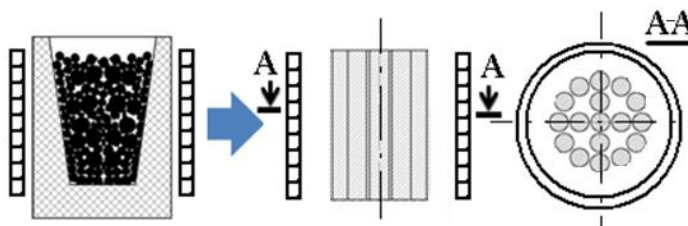


Рисунок 1– Моделирование индукционной тигельной печи с кусковой загрузкой

Основные уравнения метода записываются на основании второго закона Кирхгофа и имеют следующий вид для индуктора и каждого цилиндра загрузки:

$$\dot{I}_1 \cdot (R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) - j \cdot \omega \cdot \sum_2^k (\dot{I}_k \cdot M_{1k}) = \dot{U}_1 \quad (1)$$

$$\dot{I}_2 \cdot (R_2 + j \cdot \omega \cdot L_2) - \dot{I}_1 \cdot j \cdot \omega \cdot M_{12} - j \cdot \omega \cdot \sum_3^k (\dot{I}_k \cdot M_{2k}) = 0 \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2): индексом 1 обозначается индуктор, а индексами с 2 по k – нагрузка. R_1 и R_2 , R_k – электрические сопротивления индуктора и нагрузки; L_1 и L_2 , L_k – самоиндуктивности индуктора и нагрузки; U_1 – напряжение на индукторе; k – количество цилиндров; M_{12} – взаимная индуктивность между индуктором и каждым цилиндром и M_{2k} – взаимная индуктивность между цилиндрами. Значения само- и взаимноиндуктивностей можно найти по формулам в [4].

При построении математической модели приняты следующие допущения:

1. Кусковая нагрузка представлена в виде цилиндров, длина которых равна длине индуктора.
2. Индуктор и нагрузка представлены в виде соленоидов с толщиной, равной глубине проникновения в соответствующий проводник.
3. Взаимная индуктивность между индуктором и цилиндрами (нагрузкой) одинакова.

Решение системы линейных алгебраических уравнений (1) и (2) дает значения токов в индукторе и в каждом цилиндре нагрузки, которые позволяют найти зависимости мощности, электрического КПД ($\eta_{эл.}$) и коэффициента мощности ($\cos\varphi$) от температуры нагрузки и количества цилиндров.

Для проверки адекватности разработанной математической модели, при расчете электрических характеристик нагрузки использовались параметры системы «индуктор-нагрузка» реальной лабораторной установки.

Проведен расчет для системы со следующими параметрами:

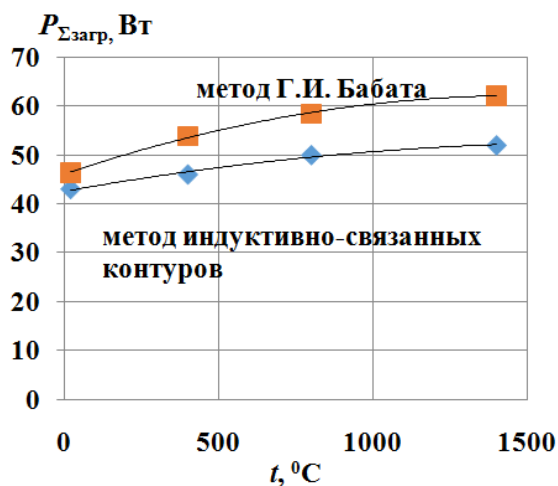
индуктор: внутренний диаметр – 100 мм, длина – 100 мм, число витков – 6, материал – медь;

цилиндры (каждый): диаметр – 5 мм, длина – 100 мм, материал – немагнитная сталь (марка 12X18H9T), общее число цилиндров – 17.

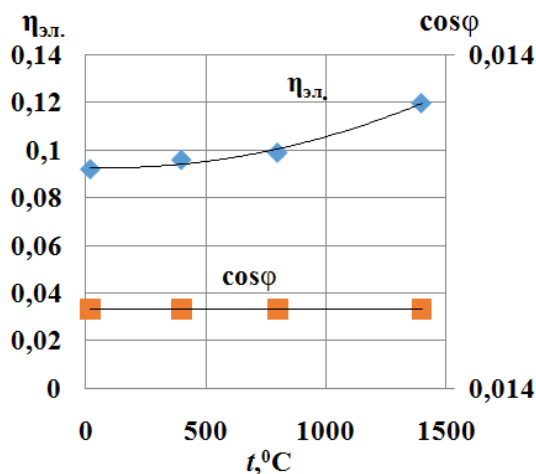
Приняты значения тока индуктора $I_1 = 300$ А и частоты $f = 22,5$ кГц.

Расчет выполнен для интервала температур 20-1400°C.

Результаты расчета представлены в виде зависимостей суммарной мощности системы $P_{загр.}$, электрического КПД $\eta_{эл.}$ и коэффициента мощности $\cos\varphi$ от температуры цилиндров (принята одинаковая температура для всех цилиндров), см. рис. 2 а, б.



а)



б)

Рисунок 2 – Расчетные зависимости электрических величин от температуры
(а) мощность в нагрузке; (б) электрический КПД и коэффициент мощности

Следует отметить, что разработанный метод позволяет рассчитывать индуцированные токи и выделяющиеся мощности. Расчет показывает, что они не одинаковы, т.е. в цилиндре, расположенном ближе к индуктору ток и мощность наибольшие (рис. 3). Это обусловлено тем, что в данном методе учитывается воздействие индуцированных токов цилиндров друг на друга. В расчете нагреваемые металлические цилиндры расположены в три ряда, как это показано на рис. 1 (сечение А-А).

Адекватность предложенной математической модели была проверена путем сравнения полученных результатов с данными, рассчитанными по методу Г.И. Бабата. Отличие в результатах порядка 15%.

По результатам вычислений были получены зависимости активного и полного электрических сопротивлений загрузки от температуры:

$$\begin{aligned} Z &= -8 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot t + 9 \cdot 10^{-4} \\ R &= -1 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 + 3 \cdot 10^{-7} \cdot t + 7 \cdot 10^{-4} \end{aligned} \quad (3)$$

Зависимости электрических параметров загрузки от температуры могут быть использованы при построении и анализе системы автоматического управления индукционной тигельной печи в среде MATLAB/Simulink.

Список литературы

1. Бабат, Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение [Текст] / Г.И. Бабат. – Энергия, 1965. – 550 с.
2. Фомин, Н.И. Электрические печи и установки индукционного нагрева [Текст] / Н.И. Фомин, Л.М. Затуловский. – Металлургия, 1979. – 247 с.
3. Кувалдин, А.Б. Теория индукционного и диэлектрического нагрева [Текст] / А.Б. Кувалдин. – МЭИ, 1999. – 77 с.
4. Калантаров, П.Л., Расчет индуктивностей [Текст] / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.

Кувалдин Александр Борисович, д-р техн. наук, профессор кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: kuvaldinab@mpei.ru.

Федин Максим Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: fedinma@mpei.ru.

Алферова Елена Сергеевна, студент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: e.alferova24@yandex.ru.

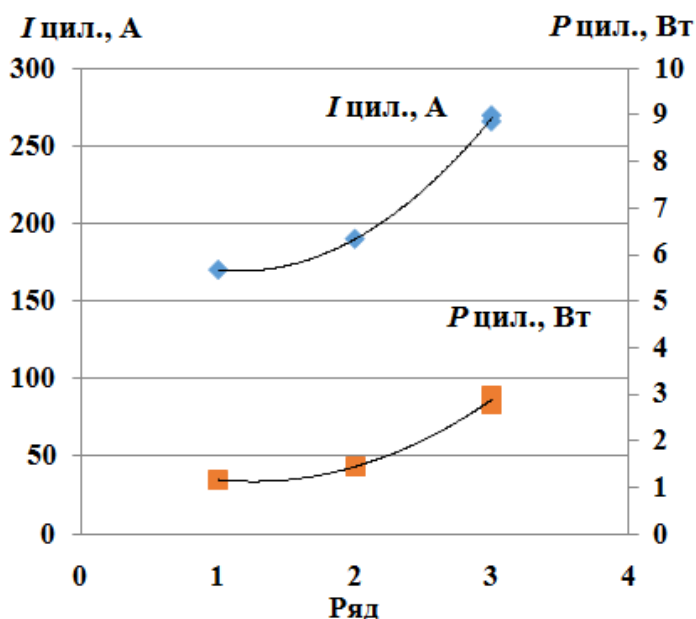


Рисунок 3 – Расчетные зависимости тока и мощности в одном цилиндре от расположения в индукторе

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРУЕМОЙ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ НА ЗНАЧЕНИЕ МОЩНОСТИ, ИЗМЕРЯЕМОЙ В RLC-ЦЕПЯХ

Птицын Д.В., Птицына Е.В.

Россия, г. Омск, ОмГТУ

Кувалдин А.Б.

Россия, г. Москва, МЭИ (НИУ)

Исследовано влияние параметров регулируемой катушки индуктивности в RLC-цепи на значение потребляемой мощности

Ключевые слова: схема замещения, электротехнологическая установка, измерение мощности, регулируемая катушка индуктивности

On the influence of parameters of adjustable coil inductance on power in RLC-circuit value measured

Keywords: circuit, electro installation, power measurements, adjustable coil inductance

В электротехнологических установках (ЭТУ) с питанием током сложной формы, например, в дуговых сталеплавильных печах (ДСП), нелинейная дуга может изменять амплитуду питающего тока и его форму, а высшие гармонические токи изменяют значения реактивных сопротивлений разрядного контура. Это определяет значения эквивалентного активного сопротивления цепи и мощности потребляемой ЭТУ. Используя схемотехнический подход, покажем, что эквивалентное активное сопротивление зависит не только от схемы замещения, но и параметров входящих в нее элементов. Например, индуктивные сопротивления - дроссели (дроссели переменного тока, сглаживающие дроссели, дроссели насыщения (ДН)) используются в источниках питания ЭТУ в качестве токоограничивающих, балластных сопротивлений, для сглаживания пульсаций выпрямленного тока, для стабилизации или регулирования тока (напряжения). Электромагнитные процессы в них определяются током нагрузки и не зависят от величины приложенного напряжения, а в сглаживающих дросселях и ДН, имеющих несколько обмоток, перемагничивание сердечника происходит под воздействием переменной и постоянной составляющих магнитного потока. Поэтому классификация таких индуктивных сопротивлений осуществляется и по назначению, и по виду вольт-амперной характеристики (насыщенные и ненасыщенные), по возможности изменения индуктивности (регулируемые и нерегулируемые), по виду регулировки (регулируемые изменением величины воздушного зазора или тока подмагничивания) [1, 2].

Принятые допущения. В работе исследовано потребление активной мощности в линейной электрической цепи, содержащей регулируемую катушку индуктивности. В опытах регулирование индуктивности осуществлялось перемещением ферромагнитного сердечника. Использовали следующие элементы: резистивные (тип В К430 н), конденсаторы емкостью 4,0 мкФ, регулируемая катушка индуктивности. Питание RLC – цепи осуществлялось от сети частотой 50 Гц. Напряжение разделительного трансформатора – 220/12 В. Измерение значений мощности, напряжения, тока, угла сдвига фаз выполнено цифровыми приборами. Для осциллографирования формы напряжения (тока) и гармонического состава тока (напряжения), использовали двухканальный USB-осциллограф совместимый с персональным компьютером в режимах «осциллограф» и «спектроанализатор». Для определения индуктивности катушки использовали метод-амперметра и вольтметра. В схеме замещения катушки индуктивности не учитывалась межвитковая емкость. Варианты исследуемых схем представлены на рис. 1-6. Форма кривой напряжения (тока) и спектр гармоник для регулируемой катушки индуктивности с сердечником, показаны на рис. 7 а, б. В схемах замещения R_k – учитывает тепловые потери в регулируемой катушке индуктивности, R_o – учитывает потери в сердечнике на гистерезис

и вихревые токи, X_L – учитывает рассеивание магнитного потока, X_o – учитывает намагничивание сердечника, R_1, R_2 – учитывают активные сопротивления нагрузки, X_c – учитывает емкостное сопротивление нагрузки (емкость двойного электрического слоя в электролизерах или межэлектродную емкость в ДСП и др.). Результаты исследований даны в табл. 1.

Экспериментально подтверждено, при перемещении сердечника катушки изменялся воздушный зазор, значения магнитного потока и индуктивности, полного и эквивалентного активного сопротивлений исследуемой цепи, значения тока в цепи и активной мощности. Так, комплексное сопротивление катушки по схеме замещения, показанной на рис. 1, составило $\underline{Z} = 754 + j1619$ Ом, а для схемы на рис. 2 – $\underline{Z} = 195 + j352$ Ом. Индуктивность катушки для указанных схем изменялась в диапазоне от 5 до 1 Гн, а активная мощность – от 0,04 до 0,19 Вт соответственно. В цепи с регулируемой катушкой индуктивности имело место искажение формы кривой напряжения (тока), а спектр содержал четные и нечетные гармоники.

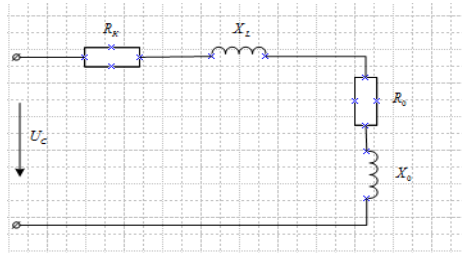


Рисунок 1 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности с сердечником

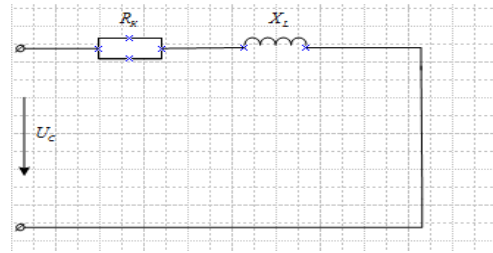


Рисунок 2 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности без сердечника

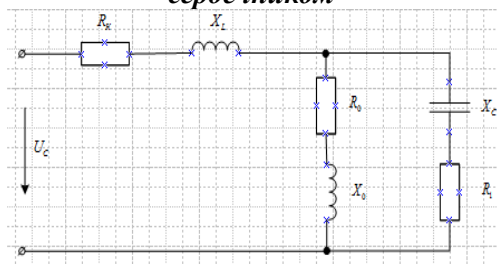


Рисунок 3 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности с сердечником и нагрузки (RC – ветвь)

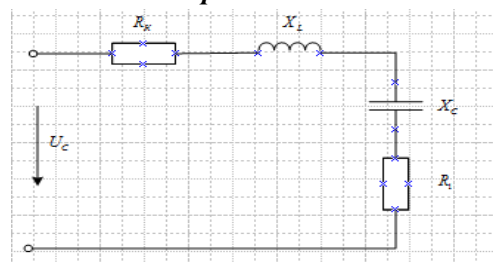


Рисунок 4 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности без сердечника и нагрузки (RC – ветвь)

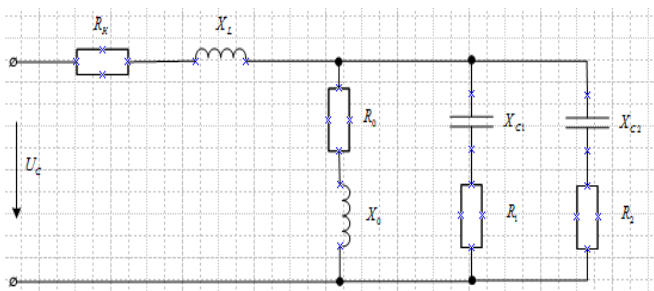


Рисунок 5 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности с сердечником и нагрузки (параллельные RC ветви)

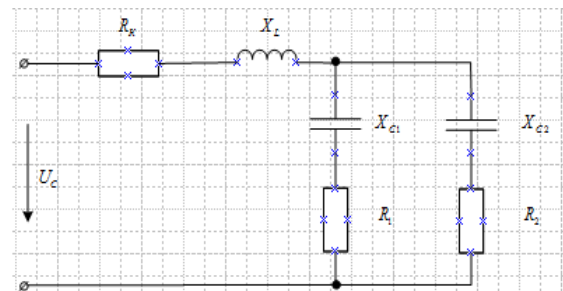
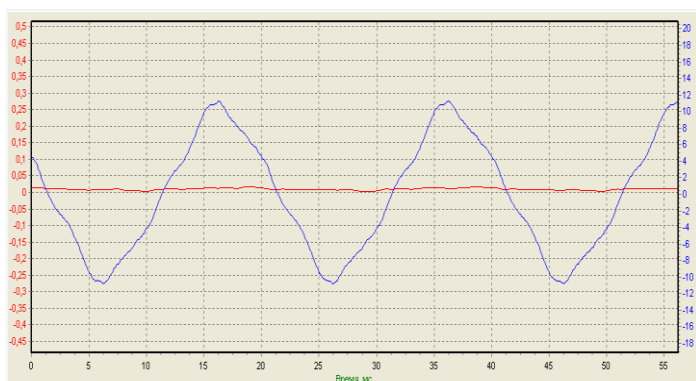


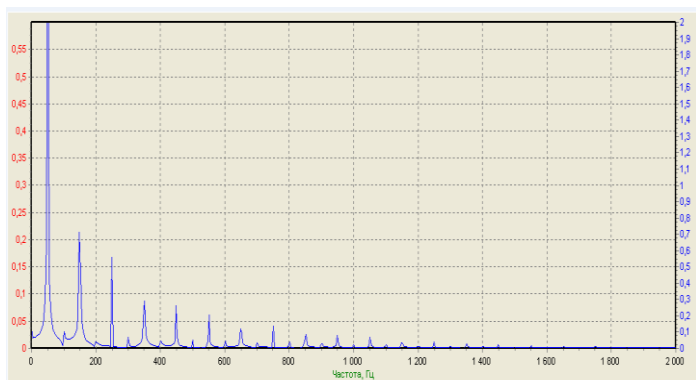
Рисунок 6 – Схема замещения регулируемой катушки индуктивности без сердечника и нагрузки (параллельные RC ветви)

Таблица 1 – Результаты исследований

№ п/п	P, Вт	φ°	U, В	I, mA	Номер рисунка
1.	0,04	- 65°	12,0	7	Рис.1 (есть сердечник)
2.	0,19	-61°	12,0	31	Рис.2 (нет сердечника)
3.	0,08	-37°	12,0	9	Рис.3 (есть сердечник)
4.	0,17	31°	12,0	17	Рис.4 (нет сердечника)
5.	0,06	-53°	12,0	9	Рис.5 (есть сердечник)
6.	0,35	2°	12,0	29	Рис.6 (нет сердечника)



а)



б)

Рисунок 7 – Форма напряжения (тока) и спектр гармоник в схеме регулируемой катушки индуктивности при наличии сердечника

ДН, как отмечено выше, являются разновидностью регулируемых индуктивных сопротивлений. Они работают при больших индукциях насыщения до 1,8 Тл и являются нелинейными элементами, поскольку процессы в них обусловлены степенью подмагничивания магнитопровода и нелинейной зависимостью магнитной индукции в сердечнике от напряженности магнитного поля.

В кривой питающего напряжения (тока) ЭТУ с питанием током сложной формы, где используются ДН, амплитуды высших гармоник (четных и нечетных, дробных гармоник) могут быть соизмеримы с амплитудой основной гармоники [1].

Экспериментальные исследования режимов ДН проведены в сталелитейном цехе №2 Производственного объединения «Павлодарский тракторный завод» (Республика Казахстан) на физической модели промышленной дуговой плавильной печи емкостью 0,25 т. Схемы питания печей с ДН подробно

рассмотрены в [1, 3]. В экспериментах регулировали подмагничивание ДН. Применяли репликацию опытов. Для каждого значения тока в обмотке управления ДН измеряли ток дуги I_d и напряжение на дуге $U_{ав}$. Результаты исследований представлены в табл.2.

Экспериментально установлено, регулирование подмагничивания ДН изменяет значения тока дуги и напряжения на дуге, что обуславливает изменение значения сопротивления дуги. Таким образом, регулируемые катушки индуктивности влияют на параметры технологического звена, на полное и эквивалентное активное сопротивление схемы замещения ЭТУ, что определяет значение мощности потребляемой из сети.

Таблица 2 – Результаты исследований

Номер опыта	I_d , ток дуги, А	U_{ad} , напряжение на дуге, В	Сопротивление дуги, Ом
1	200	60	0,300
2	500	60	0,120
3	800	70	0,090
4	1000	50	0,050
5	1500	50	0,033

Список литературы

1. Птицына, Е.В. Работа дуговых печей небольшой емкости при питании током сложной формы [Текст] / Е.В. Птицына, А.Б. Кувалдин // Электрометаллургия. - 2006. - №6, - С. 26-36.
2. Белопольский, И.И. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности / И.И. Белопольский, Л.Г. Пикалова [Текст] / – М.-Л., 1963. – 272 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.

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 «Транссиб нефть» ст. Чулым

УДК 621.365.4

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭПС, УЧИТЫВАЮЩЕЙ НЕОДНОРОДНОСТЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Горячих Е.В.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Приводится описание структурной схемы регулятора температуры электрической печи сопротивления, учитывающей неоднородность ЭПС как объекта управления и нелинейность характеристик регулирующих элементов. Проводится сравнение динамических характеристик температуры экспериментального стенда и имитационной модели.

Ключевые слова: электрическая печь сопротивления, нагреватель, футеровка, регулятор температуры, датчик температуры.

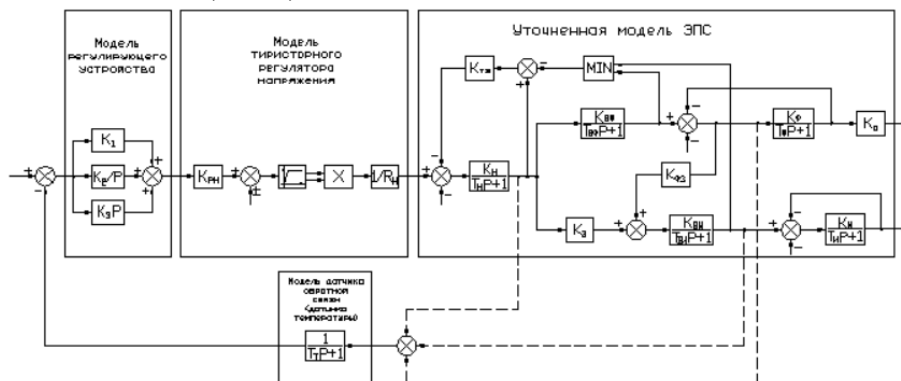
The description of a structural diagram of the temperature controller electric resistance furnace considering irregularity control target and nonlinearity characteristics regulating devices is shown. The dynamic characteristics of temperature experimental stand and a simulation model is compared.

Keywords: electric resistance furnace, heater, ceramic thermal insulation, temperature controller, thermocouple.

Электрические печи сопротивления (ЭПС) являются наиболее распространенным видом электротермического оборудования, широко применяемого в промышленности для выполнения различных процессов термообработки.

Системы управления ЭПС общепромышленного назначения обеспечивают стабилизацию и регулирование температуры внутри печи, т. е. являются по существу регуляторами температуры. Несмотря на то, что ЭПС является сложным неоднородным объектом управления, регулятор температуры традиционно выполняется одно-канальным [1], т. е. содержит один исполнительный элемент – тиристорный регулятор напряжения, одно регулирующее (вычислительное) устройство – специализированный программируемый

В общем случае для ЭПС общепромышленного назначения можно выделить три основных элемента: нагреватель, на который поступает мощность от источника питания через регулятор напряжения, футеровку, обеспечивающую теплоизоляцию от окружающей среды, нагреваемое изделие (садка).



Представленная на рис. 1 система является нелинейной и не позволяет получить аналитическое решение. Для ее исследования целесообразно использовать численные

методы структурного моделирования, разработанные для анализа и синтеза систем автоматического управления. Наиболее удобным в настоящее время можно считать пакет прикладных программ *Simulink Matlab*, обладающий большой библиотекой типовых элементов и позволяющий проводить анализ и синтез линейных и нелинейных систем практически неограниченной сложности. Разработанная имитационная модель позволяет проводить исследования системы регулирования температуры так же, как и на реальном объекте, задавая различные воздействия и варьируя параметры элементов системы в желаемом диапазоне. Однако, функциональные возможности имитационной модели намного шире реальной системы, поскольку позволяют рассчитывать величины, измерение которых невозможно при натурном эксперименте. Имитационную модель также удобно использовать для идентификации объекта управления путем сравнения выходных величин, рассчитанных на модели и полученных экспериментально.

Для иллюстрации методики исследования системы с использованием имитационной модели на рис. 2 приведены осциллограммы переходных функций температур футеровки печи $\Theta_{\phi}(t)$, нагревателей $\Theta_{н}(t)$, изделия $\Theta_{и}(t)$ и заданного значения температуры $\Theta_{з}(t)$ при использовании в качестве сигнала обратной связи температуры футеровки $\Theta_{\phi}(t)$. Там же для сравнения приведена осциллограмма температуры футеровки $\Theta_{\phi 3}(t)$, полученная экспериментально для печи СНО-3.3,5.3,5/9.

Как следует из анализа приведенных на рис. 2 зависимостей, кривая разогрева печи $\Theta_{\phi}(t)$, рассчитанная на имитационной модели, согласуется с экспериментальной $\Theta_{\phi 3}(t)$, т.е. адекватно отражает процессы, протекающие в печи. Расхождение зависимостей изменения температур на отдельных элементах печи наглядно иллюстрирует достоинства разработанной модели, которая позволяет оценивать распределение температур, как в установившемся режиме, так и в динамике. Этот вывод согласуется с результатами исследований, приведенных в [3].

Провести более подробные исследования влияния неоднородности ЭПС на качество регулирования температуры в рамках данной статьи не представляется возможным. В литературе отсутствуют рекомендации по месту размещения датчика температуры в нагревательной камере ЭПС. Разработанная на основании структурной схемы (рис.1) имитационная модель ЭПС позволяет исследовать влияние места установки датчика температуры на основные показатели работы системы. На изучение этого вопроса и будут направлены последующие исследования на разработанной модели.

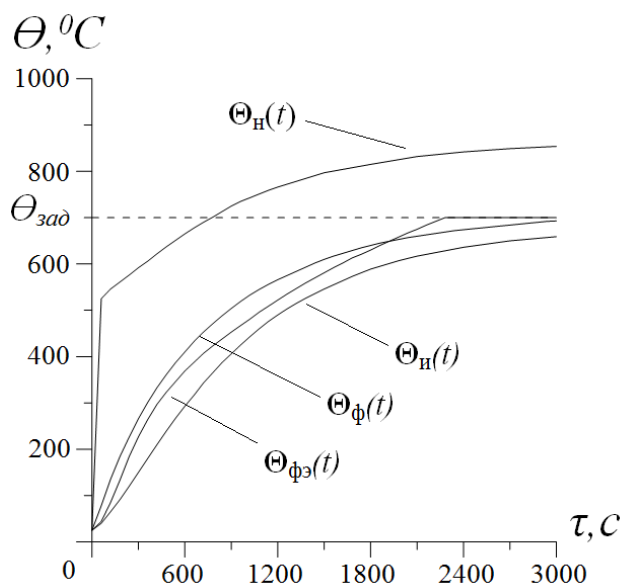


Рисунок 2 – Переходные функции температуры на отдельных элементах печи, рассчитанные на имитационной модели и "кривая разогрева", полученная на экспериментальной установке

Список литературы

1. Кручинин, А.М. Автоматическое управление электротермическими установками: Учебник для вузов [Текст] / К.М. Махмудов, Ю.М. Миронов и др.; Под ред. А.Д.Свенчанского // Энергоатомиздат. - 1990. - 416 с.
2. Чередниченко, В.С. Теплопередача: Упражнения и задачи [Текст] / В.А. Сеницын, А.И. Алиферов и др. Учебное пособие для вузов. В 2 ч. - Ч. 2: Упражнения и задачи.; под ред. В. С. Чередниченко, А. И. Алиферова. - 2-е изд., перераб. и доп.// Изд-во НГТУ. - 2010. - 379 с.
3. Свенчанский, А. Д. Электрические промышленные печи [Текст] / Свенчанский А.Д.

Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Электрические печи сопротивления. Изд. 2-е, перераб. // «Энергия». – 1975. – 384 с.

Горячих Елена Владимировна, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14; e-mail: elena-goryachikh@mail.ru.

УДК 621.365.52.029.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ПРИ НАГРЕВЕ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ШИХТЫ ДО ТОЧКИ КЮРИ

Генералов И. М.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Статья посвящена исследованию свойств индукционной тигельной печи с ферромагнитной кусковой загрузкой. Для исследования характера изменения параметров индукционной печи при нагревании до точки Кюри использовался метод физического моделирования, поскольку аналитически описать данный процесс проблематично.

Ключевые слова: индукционный нагрев, физическое моделирование, кусковая загрузка.

The article investigates the properties of induction crucible furnace with a ferromagnetic lump downloading. To investigate the nature of changes in the parameters of the induction furnace with heating to the Curie point, we used the method of physical modeling as analytically describe this process is problematic.

Keywords: induction heating, physical modeling, lumpy charge.

Когда в качестве шихты применяют ферромагнитные металлы [1], то до того момента, пока их температура еще не достигла точки Кюри, т. е. 740—770 °С, их магнитная проницаемость сохраняет свое значение. В этом случае шихта будет играть роль не только вторичной обмотки и нагрузки, но и незамкнутого сердечника. Иначе говоря, при плавке в печи без сердечника ферромагнитных металлов разогрев шихты в первый период (до точки Кюри) произойдет не только за счет тепла, выделяемого от циркуляции в ней вихревых токов, но и за счет потерь на перемагничивание, которое в этот период наблюдается в шихте. После точки Кюри ферромагнитные тела теряют свои магнитные свойства, и работа индукционной печи становится аналогичной работе воздушного трансформатора, т.е. трансформатора без сердечника.

Основная причина изменения параметров системы индуктор-загрузка обусловлена изменением параметров нагреваемого материала, а именно удельного сопротивления ρ и относительной магнитной проницаемости μ , а для тигельных печей и геометрии нагреваемого тела в результате сваривания и расплавления шихты.

Аналитический расчет изменения электрических параметров плавильных печей сложен из-за неопределенности размеров и положения отдельных кусков шихты. Для согласования индукционной печи с источником питания необходимо знать зависимость этих параметров в ходе всего технологического процесса. Для этого было проведено физическое моделирование на масштабной модели индукционной печи. Для моделирования самой кусковой шихты применялись куски стальной проволоки двух разных диаметров (2.9 мм и 1.1 мм). Используя положения теории подобия, можно полученные результаты применить и к промышленным печам большей емкости.

Точное воспроизведение в модели численных значений всех определяющих критериев при большом их числе и при условии геометрического подобия практически невозможно.

На практике, как правило, условия полного подобия не выполняются, что вынуждает переходить на приближенное моделирование, при котором в модели воспроизводится тот же физический процесс, что и в реальном объекте, при частичном нарушении некоторых из пяти условий полного моделирования [2].

На рис. 1 представлен эскиз моделируемой индукционной печи. Параметры модельной установки следующие: $d_m = 94$ мм, $d_n = 67$ мм, $l_m = 76$ мм, $l_n = 113$ мм, $z_m = 14$ мм, число витков индуктора – 6.

Для загрузки с диаметром шихты $d_{шм} = 2.9$ мм, массой $m_{шм} = 985$ г и частоте в начальный момент нагрева шихты, равной $f_m = 16.8$ кГц, можно сопоставить большую индукционную печь согласно теории подобия. Для геометрического подобия имеем:

$$\frac{d_n}{d_m} = \frac{l_n}{l_m} = \frac{l_p}{l_m} = \frac{\sqrt{f_n}}{\sqrt{f_m}} = \frac{d_{шп}}{d_{шм}} = \sqrt[3]{\frac{m_{шп}}{m_{шм}}}, \quad (1)$$

где $d_n, l_n, l_p, f_n, d_{шп}, m_{шп}$ — внутренний диаметр индуктора, высота индуктора, высота загрузки, частота питания, диаметр шихты, масса шихты соответственно для большой печи.

В ходе эксперимента измерялись значения тока индуктора I , напряжения индуктора U , частоты питающего напряжения f , активной мощности, потребляемой преобразователем частоты P и средней температуры в самой загрузке T . Полученные значения параметров усреднялись с периодом в 30 секунд.

Из полученных данных вычисляются параметры R и L . Определение L вместо X производится по причине того, что в процессе нагрева частота источника питания автоматически подстраивается под изменяющуюся нагрузку. Приняв только первую гармонику напряжения индуктора в расчет, получим коэффициент мощности системы:

$$\cos \phi = \frac{\eta P}{UI}, \quad (2)$$

где η – к.п.д. преобразователя частоты.

Полное сопротивление системы индуктор – загрузка:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (3)$$

откуда получаем искомые значения R и L :

$$R = Z \cos \phi, \quad L = \frac{Z \sqrt{1 - \cos^2 \phi}}{2\pi f}. \quad (4)$$

Поделив полученные значения R и L на величины в начальный момент нагрева, можно

перейти к относительным единицам R^* и L^* .

Вычисленные зависимости параметров последовательной схемы замещения индуктора представлены в графическом виде на рис. 2а и 2б, при двух разных диаметрах кусковой шихты из ферромагнитной стали в завалке в виде зависимости от температуры.

Для поддержания постоянства мощности в загрузке в процессе нагрева после перехода через точку Кюри необходимо повышать напряжение индуктора, по крайней мере в 1.5-1.8 раза, что уже требует глубины регулирования преобразователя выходного параметра (ток или напряжение, в зависимости от типа преобразователя частоты) порядка 30-35%. Такое регулирование можно обеспечить изменяя напряжение питания моста инвертора (широко распространенный способ).

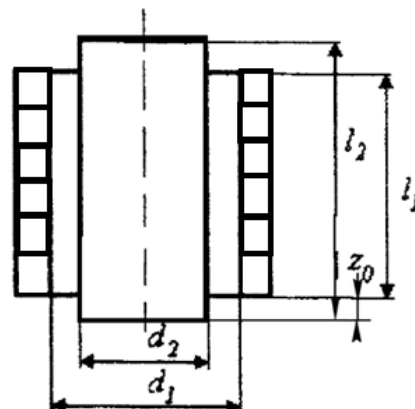


Рисунок 1 – Эскиз модели индуктора

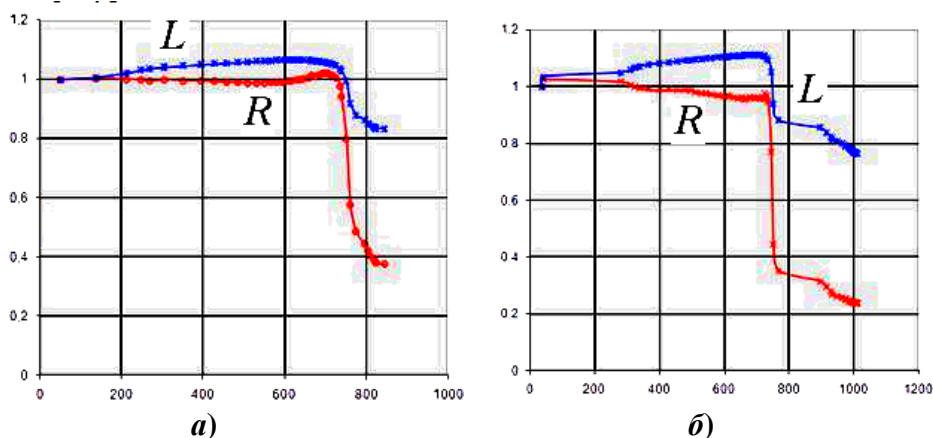


Рисунок 2 – Зависимости относительных значений сопротивления R^* и индуктивности L^* индуктора от температуры для диаметров шихты: а) 2.9 мм; б) 1.1 мм

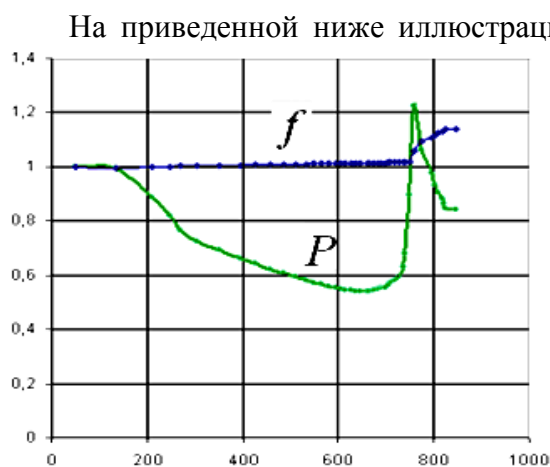


Рисунок 3 – Относительные изменения активной мощности P^* и частоты f^* от температуры

На приведенной ниже иллюстрации (рис. 3) изображено изменение потребляемой активной мощности печи в относительных единицах P^* и частоты источника питания f^* в проведенном эксперименте от температуры.

Из приведенного рисунка видно, что при незначительном повышении частоты, при температуре, близкой к точке Кюри, мощность в кусковой ферромагнитной загрузке снижается вдвое. Данное обстоятельство иллюстрирует необходимость регулирования параметров источника питания. Знание зависимостей изменения параметров индукционной печи позволит выбрать или сконструировать преобразователь частоты минимально необходимой установленной мощности.

Выводы:

1. При нагреве кусковой загрузки из стали эквивалентное активное сопротивление последовательной схемы замещения изменяется незначительно, а после перехода через точку Кюри значительно уменьшается (в 3 раза при конфигурациях системы, подобной модельной). Реактивное сопротивление сначала увеличивается на 10%, после точки Кюри уменьшается на 20%. Такие изменения электрических параметров индукционной печи требуют от источника питания глубину регулирования порядка 30 – 35%.

2. Изменения параметров при нагреве ферромагнитной шихты ставят вопрос согласования нагрузки с источником питания для оптимального выбора установленной мощности преобразователя частоты. В исследуемом случае предпочтительно иметь источник питания с глубокой регулировкой выходных параметров, а именно — напряжения питания инверторного моста.

Список литературы

1. Фарбман, С.А. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов [Текст] / С.А. Фарбман, И.Ф. Колобнев; 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1968. – 496 с.
2. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования [Текст]: Учебное пособие для вузов / А.В. Веников; 2-е изд., доп. и перераб. 1976. – 479 с.

Генералов Иван Михайлович, аспирант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: generalov.ivan2012@yandex.ru.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Кувалдин А.Б., Федин М.А., Кулешов А.О., Агадуллин И.Р.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Предложен принцип регулирования теплового режима работы индукционных тигельных печей с проводящим тиглем, питающихся от транзисторных преобразователей высокой частоты. С использованием полученных результатов создана лабораторная установка для плавки меди, магния и сплавов, позволяющая моделировать режимы работы промышленных печей.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, проводящий тигель, двухпозиционное регулирование, температура металла, транзисторный преобразователь частоты, физическое моделирование.

A principle of regulation of thermal regime of coreless induction furnaces with conductive crucible, powered by a high-frequency transistor converters is proposed. With the use of the results of laboratory plant for melting copper, magnesium and alloys, can simulate modes of industrial furnaces.

Keywords: induction crucible furnace, conductive crucible melting of copper, two-position control, the temperature of the metal, frequency transistor inverter, physical modeling.

Индукционные тигельные печи (ИТП) широко применяются в промышленности для плавки черных и цветных металлов, в частности качественных медных и магниевых сплавов. В зависимости от электрических свойств материала тигля различают ИТП с непроводящим и проводящим тиглем.

Современные установки ИТП требуют автоматизации проводимого в них технологического процесса, контроля и управления электрических (напряжение, ток, мощность, cosφ) и технологических (температура металла) параметров. Поскольку плавильные ИТП, в том числе ИТП с проводящим тиглем, являются достаточно инерционными в тепловом отношении объектами, целесообразно систему регулирования тепловым режимом строить по двухпозиционному принципу. Источниками питания таких печей, как правило, являются транзисторные преобразователи частоты, работающие как в продолжительном, так и в повторно-кратковременном режимах. Для выбора параметров системы регулирования печи необходима идентификация ИТП с проводящим тиглем как объекта системы управления с последующим встраиванием модели печи в структурную модель системы регулирования в MATLAB/Simulink [1 – 3].

В качестве объекта исследования выбрана ИТП с графитовым тиглем для плавки меди. Для экспериментальных исследований в НИУ «МЭИ» создан лабораторный стенд на базе ИТП с проводящим тиглем для плавки меди мощностью 2,5 кВт, питающейся от транзисторного преобразователя высокой частоты [3].

На рис. 1 показан чертеж печи с футеровкой с указанием геометрических размеров системы «индуктор – загрузка». На рисунке уровень металла в тигле (отметка 57 мм) соответствует 1 кг меди. Электрический расчет печи проведен в универсальном конечно-элементном пакете программ ELCUT 6.0.

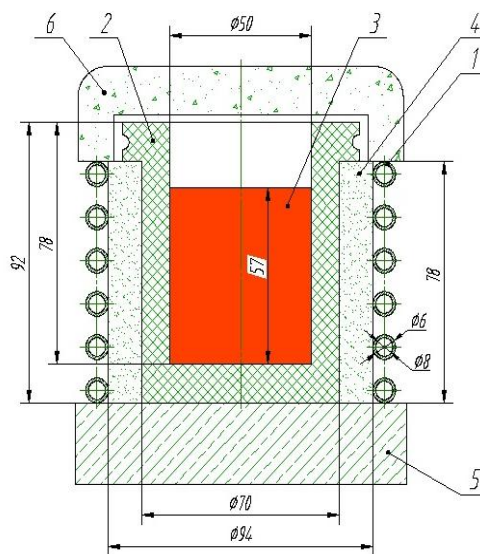


Рисунок 1 – Чертеж системы «индуктор – загрузка» печи с футеровкой

1 – индуктор; 2 – тигель; 3 – металл;
4 – керамическая вставка; 5 – подина;
6 – крышка

В табл. 1 представлены интегральные характеристики системы «индуктор-загрузка», полученные в *ELCUT*, а также результаты эксперимента.

Таблица 1 – Основные результаты расчета печи с графитовым тиглем и результаты эксперимента

Параметр системы «индуктор – загрузка»	Расчет	Эксперимент
Частота f , кГц	22	22,26
Ток индуктора I_1 , А	212	219
Напряжение индуктора U_1 , В	57	63
Мощность в индукторе P_1 , Вт	210	216
Мощность в тигле P_2 , Вт	1540	1495
Мощность в меди P_3 , Вт	70	63
Электрический КПД	0,87	0,86
$\cos\varphi$	0,126	0,125

Основываясь на результатах расчетов и экспериментов, проведена идентификация ИТП с проводящим тиглем как объекта управления. С помощью пакета MATLAB/Simulink составлена структурная модель двухпозиционной системы регулирования температуры ИТП в режиме нагрева, расплавления и выдержки расплава меди.

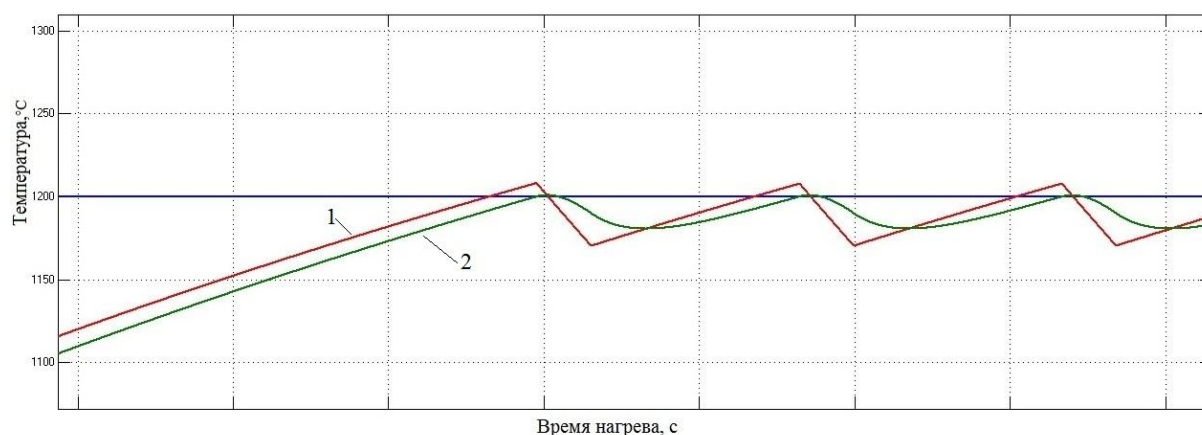
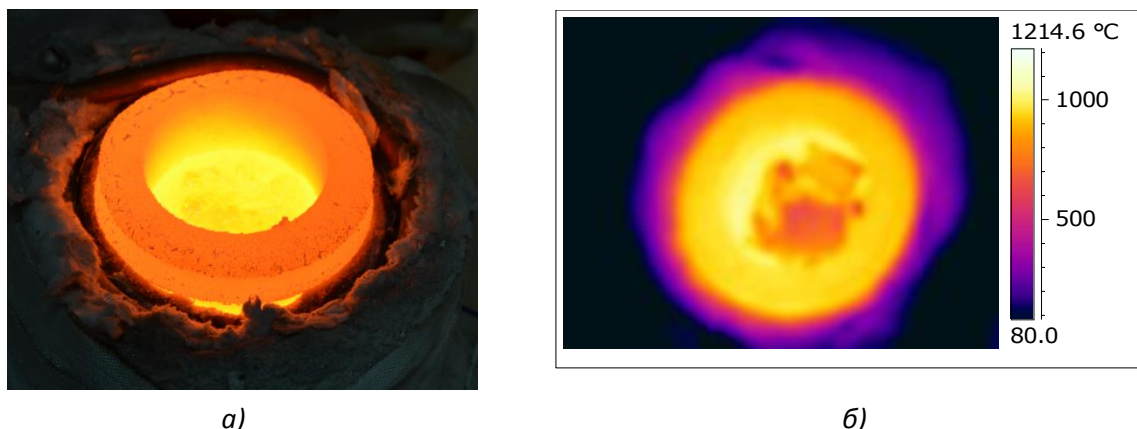


Рисунок 2 – Переходные процессы изменения температуры садки (1) и сигнала с термопары (2)

Для регулирования температуры используется цифровой регулятор OMRON E5CC. Настройки используемого регулятора температуры позволяют задавать температуру нагрева и ширину петли гистерезиса, определяющую размах колебаний температуры в процессе регулирования. В системе регулирования, основанной на прямом измерении температуры, используется погружная многоразовая хромель-алюмелевая термопара (типа K) с защитным чехлом, выдерживающим несколько погружений в жидкий металл.

На рис. 2 приведены переходные процессы изменения температуры садки печи и сигнала с термопары, рассчитанные теоретически в MATLAB и подтвержденные экспериментально. Задание по температуре печи – 1200 °С, ширина размаха колебаний – 10 °С (1190 – 1200 °С). Как видно из графиков рис.2 печь работает в режиме, близком к предельному, поскольку интервалы, соответствующие работе печи, существенно превышают интервалы пауз в работе установки в режиме квазиустановившихся колебаний температуры. В данном случае инерционность датчика температуры незначительно влияет на характер переходных процессов, поскольку постоянная времени используемой термопары невелика. Для проверки точности измерения температуры с помощью термопары применялся тепловизор Flir T425 .



а) б)
Рисунок 3 – Тигель с жидким расплавом меди: фотография а), термограмма б)

Рис. 3 соответствует времени нагрева около 19 мин. Первоначальная загрузка медной шихты производилась в холодный тигель, затем через некоторое время по мере расплавления и осаживания шихты были произведены две дозагрузки. Суммарная масса расплавленной меди составила около 1 кг, общее время расплавления – около 19 мин, температура перегрева – 1200 °С. С использованием модели в пакете *MATLAB* проведена настройка регулятора для выплавки меди: температура задания – 1200 °С, размах колебаний температуры в процессе регулирования – 10 °С (от 1190 до 1200 °С). Переходные процессы совпадают с теоретическими, полученными в *MATLAB MATLAB/Simulink*, с точностью не менее 5% [3].

Результаты экспериментальных исследований могут быть применены для определения характеристик промышленной печи для плавки меди ёмкостью 0,4 т, работающей на частоте 500 Гц.

Список литературы

1. Гитгарц, Д.А. Автоматизация плавильных электропечей с применением микро – ЭВМ [Текст] / Д. А. Гитгарц – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Кувалдин, А.Б. Идентификация индукционных тигельных миксеров как объектов параметрической системы управления [Текст] / А.Б. Кувалдин, М.А. Федин // Индукционный нагрев. – №1 (23), 2013. – С. 19–24.
3. Федин, М.А. Выбор принципа регулирования и разработка систем управления индукционных тигельных печей с проводящим тиглем [Текст] / М.А.Федин // Индукционный нагрев. – №1 (27), 2014. С. 24–28.

Кувалдин Александр Борисович, д-р техн. наук, профессор кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: a.kuvaldin2013@yandex.ru.

Федин Максим Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: fedinma@mail.ru.

Кулешов Алексей Олегович, студент-магистрант кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: Fansatr7@yandex.ru.

Агадуллин Ильдар Рафисович, студент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»; e-mail: AgadullinIR@mpei.ru.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

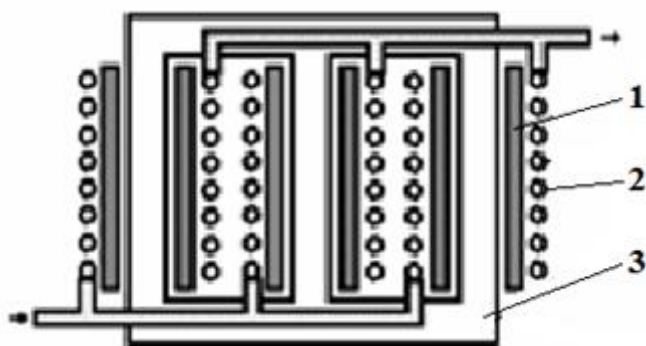
С.В. Щербинин

Россия, г. Москва, (НИУ «МЭИ»)

Описывается водонагреватель трансформаторного типа. Разработана методика выбора оптимального варианта конструкции электрического водонагревателя. Приведены основные результаты исследований на примере водонагревателя мощностью 150 кВт.

Transformer type water heater is described. A technique for choosing the optimal embodiment of an electric water heater. The main results of studies on the example of the cylinder capacity of 150 kW.

Для обеспечения горячего водоснабжения используются разные типы водонагревателей. Одним из наиболее эффективных является водонагреватель трансформаторного типа. Этот тип нагревательного устройства представляет собой аналог



**Рисунок 1 – Нагреватель
трансформаторного типа**

1 – индуктор (первичная обмотка); 2 – трубка (вторичная обмотка); 3 – магнитопровод

сухого силового трансформатора, у которого в качестве вторичной обмотки используется металлическая (стальная) трубка (рис.1). Выходные концы трубки закорачиваются образуя замкнутый электрический контур. Проточная вода проходит внутри трубки и нагревается до необходимой температуры. Вторичная обмотка имеет тепловую изоляцию (на рис.1 не показана).

Для определения характеристик и поиска оптимального варианта конструкции индукционного водонагревателя трансформаторного типа была разработана модель

электромагнитной системы индуктор – магнитопровод – нагрузка (вторичная обмотка) в пакете программ ELCUT. При создании модели принимаются следующие допущения:

1. При расчете на трех границах расчетной области задается значение магнитного потенциала $A = 0$. На границе симметрии $H = 0$ задается нулевое значение касательной составляющей напряженности магнитного поля.

2. Электропроводность всех материалов, с заданными физическими свойствами, одинакова в каждой точке.

В качестве примера был выполнен расчет установки со следующими характеристиками: зазор между первичной и вторичной обмоткой $\delta = 20$ мм, диаметр стержня магнитопровода $d = 131$ мм и длина $L = 520$ мм соответственно. Размер «окна» в случае замкнутого магнитопровода равны 340 мм в длину и 165 мм в ширину. Напряжение на первичной обмотке $U = 380$ В, полный ток $I = 21315$ А. Все проводники соединены последовательно. Первичная обмотка выполнена в виде цилиндрической обмотки прямоугольного сечения. При этих параметрах $P_{\text{сум}} = 150$ кВт, $P_1 = 5,25$ кВт, $P_2 = 143,5$ кВт, $P_{\text{магн}} = 1,45$ кВт.

Электрический КПД установки находится по формуле:

$$\eta_э = \frac{P_2}{P_2 + P_1 + P_{\text{магн}}},$$

где P_2 и P_1 – это мощности, выделяющиеся во вторичной и первичной обмотках соответственно, $P_{\text{магн}}$ – потери в магнитопроводе.

Для обеспечения наилучшего соответствия модели оригиналу необходимо выбрать соответствующую геометрию модели магнитопровода. Если сравнивать несколько типов различной геометрии, то это приведет к нахождению самого высокого КПД установки из всех представленных вариантов, поможет учесть все виды потерь и выбрать самую адекватную модель, параметры которой наиболее соответствуют реальной установке. В ходе исследований было спроектировано три различных вида геометрии: со стержневым, с катушечным и с замкнутым магнитопроводом. (Рис 2).

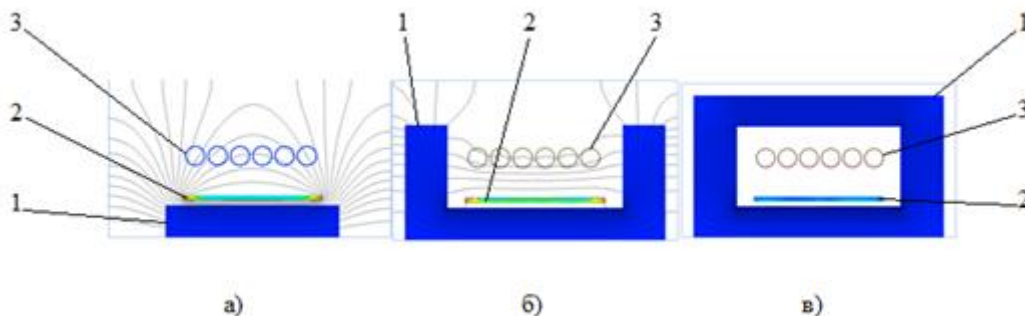


Рисунок 2 – Варианты геометрии магнитопровода

а) стержневой; б) катушечный; в) замкнутый

1 – магнитопровод; 2 – индуктор (первичная обмотка); 3 – трубка (вторичная обмотка)

Исследовав все три варианта геометрии электронагревателя и сделав необходимый расчет, получаем основные зависимости, такие как зависимость коэффициента полезного действия от зазора между обмоткой и трубкой (δ) и зависимость $\cos \phi$ от δ (рис.4).

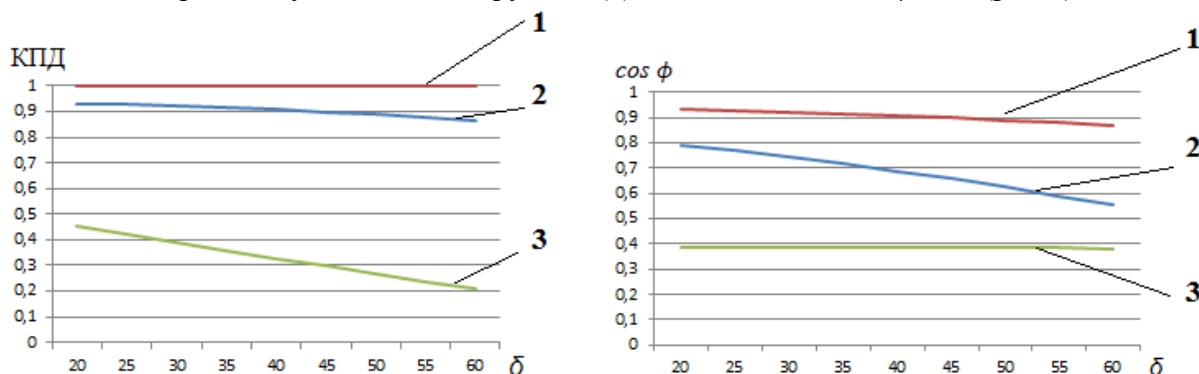


Рисунок 4 – Расчётные зависимости величин от зазора

1 – стержневой; 2 – катушечный; 3 – замкнутый

Из представленных графиков видно, что оригинальной модели больше всего соответствует электронагреватель с замкнутым магнитопроводом.

Для учета потерь в сердечнике в пакете программ *ELCUT* использован следующий приём. Степень потерь в трансформаторе зависит, главным образом, от качества, конструкции и материала «трансформаторного железа» (электротехническая сталь). Потери в стали состоят в основном из потерь на нагрев сердечника, на гистерезис и вихревые токи. Потери в трансформаторе, где сердечник монолитный, значительно больше, чем в трансформаторе, где он составлен из многих секций (так как в этом случае уменьшается количество вихревых токов). На практике монолитные сердечники не применяются. Для снижения потерь в магнитопроводе трансформатора магнитопровод может изготавливаться из специальных сортов трансформаторной стали с добавлением кремния, который повышает удельное сопротивление железа электрическому току, а сами пластины лакируются для изоляции друг от друга. Если взять обычный сухой силовой трансформатор мощностью 150 кВт, его значение магнитной индукции, при использовании электротехнической холоднокатаной стали марки 3405 толщиной пластин 0.3 мм, составляет $B = 1,5$ Тл,

напряженность магнитного поля $H = 2100$ А/м, магнитная проницаемость при этом равняется $\mu = 560$. Удельные потери в магнитопроводе $\rho_{ow} = 1,5$ Вт/м³ и удельное сопротивление материала $\rho = 0,0014$ Ом·м. Так как конструкция водонагревателя соответствует сухому силовому трансформатору, электропроводность подбираем таким образом, чтобы её значение (g) соответствовало реальному значению напряженности магнитного поля и потерям в магнитопроводе. Методом подбора было получено значение электропроводности $g = 1000$ См/м.

Список литературы

1. Кувалдин, А.Б. Теория индукционного и диэлектрического нагрева [Текст] / А.Б.Кувалдин. – МЭИ, 1999. – 80 с.
2. Завод индукционных электрических нагревателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zien.ru>. – Загл. с экрана.

Щербинин Сергей Вячеславович, студент кафедры АЭТУС НИУ «МЭИ»;
e-mail: ellipsis0791@mail.ru.

УДК 539.4-621.365.5

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКАХ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ИНДУКТОРОВ

Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А.

Россия, г. Москва, НИУ «МЭИ»

Лепешкин А.Р.

Россия, г. Москва, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»

Разработаны трехмерные модели для расчета электромагнитных и температурных полей и параметров индукторов при нагреве вращающихся дисков переменной толщины в программном комплексе ANSYS. Приведены результаты исследований распределений температур во вращающихся дисках переменной толщины с использованием разных конструкций индукторов и получена оптимальная форма индуктора.

Ключевые слова: модель, электромагнитное поле, индукторы, распределение температуры, частота, вращающийся диск.

The finite-element three-dimensional models are developed for calculation of electromagnetic and temperature fields and inductor parameters at heating of the rotating disks of variable thickness in program complex ANSYS. The results of studies of the temperature distributions in a rotating disks of variable thickness using different designs inductors and the optimal form of the inductor is obtained.

Keywords: model, electromagnetic field, inductors, temperature distribution, frequency, rotating disk

Для обеспечения заданных распределений температур деталей необходимо решить задачи моделирования режимов нагрева вращающихся дисков турбин авиационных двигателей в переменном электромагнитном поле с использованием индукторов различной конфигурации. Осуществляется нагрев с заданными тепловыми потоками. Разработка и применение специальных и различных индукторов позволяет устранить местные градиенты температур, свойственные системам нагрева с дискретно расположенными индукторами, обеспечить требуемое распределение тепловых потоков и повысить точность воспроизведения заданного распределения температуры диска [1, 2]. Авторами разработаны математические модели в программном комплексе ANSYS для расчета электрических, энергетических характеристик системы индукционного нагрева и моделирования режимов нагрева дисков переменной толщины с учетом вращения.

Исследования влияния частоты вращения на выделение мощности внутренних источников тепла в диске за счет двух составляющих ЭДС проведены с использованием

индукторов разной формы. Первая составляющая возникает в диске на средней частоте тока в переменном электромагнитном поле. Вторая составляющая ЭДС наводится в диске за счет вращения в переменном электромагнитном поле, создаваемом индуктором, в соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея. В результате чего дополнительно возникают индуцированные токи. В результате мощность дополнительных внутренних источников тепла увеличивается при повышении частоты вращения и повышается интенсивность индукционного нагрева вращающегося диска.

Таким образом, удельная мощность P индукционного нагрева определяется по формуле

$$P = P_1 + P_2, \quad (1)$$

где P_1 - мощность, выделяемая в диске, за счет частоты тока электромагнитного поля;

P_2 - мощность, выделяемая в диске, за счет пульсаций магнитного потока при вращении детали в переменном электромагнитном поле.

Использование двух способов нагрева расширяет возможности управления процессом нагрева вращающихся деталей в переменном электромагнитном поле [2].

Разработанные математические модели использованы в исследованиях по влиянию различной формы индукторов на распределения температур во вращающихся натурных дисках переменной толщины. В указанном расчете важен наибольший охват индуктором поверхности диска. При вращении наиболее эффективный нагрев достигается в тех кольцевых зонах диска, которые более длительное время находятся под участками индуктора. Следовательно, каждый такой участок индуктора характеризуется отношением его ширины к соответствующей кольцевой зоне нагрева. В данном случае ширина такого участка индуктора сложной формы определяется на основе его пересечения соответствующей кольцевой зоной нагрева. Указанные факторы учитывались в расчетных исследованиях по влиянию различной формы индукторов на распределения температур во вращающемся диске переменной толщины при питании индукторов одинаковым током 500 А.

На рис. 2 обобщены результаты указанных исследований и полученные распределения температур дисков с использованием индукторов разной формы (рис. 1): 1 – кольцевой индуктор, 2 – эллипсный узкий индуктор, 3 – эллипсный большой индуктор, 4 – полукольцевой индуктор 1, 5 – полупетлевой индуктор, 6 – полупетлевой узкий индуктор 2, 7 – петлевой индуктор, 8 – петлевой узкий индуктор, 9 – требуемое распределение температуры.

Проведем анализ распределений температур с использованием различных индукторов на рис. 2. Кольцевой индуктор 1 является наименее эффективным. Индукторы 2, 5 и 7 создают распределения температур также существенно отличающиеся от заданного. Распределения температур 8, 4, 3 и 6 наиболее близки к заданному распределению 9 температуры диска и индукторы, соответствующие этим распределениям, можно использовать при моделировании тепловых режимов дисков. Среди индукторов 8, 4, 3 и 6 петлевой индуктор 8 обеспечивает более высокую скорость нагрева средней и центральной (ступичной) частей. Это важно при термоциклических испытаниях. При этом распределение его температуры почти совпало с заданным - 9.

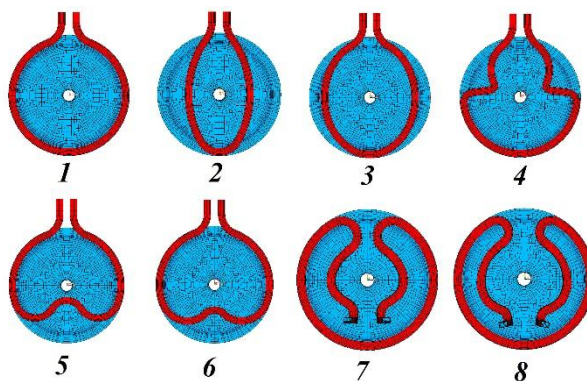


Рисунок 1 – Индукторы разной формы

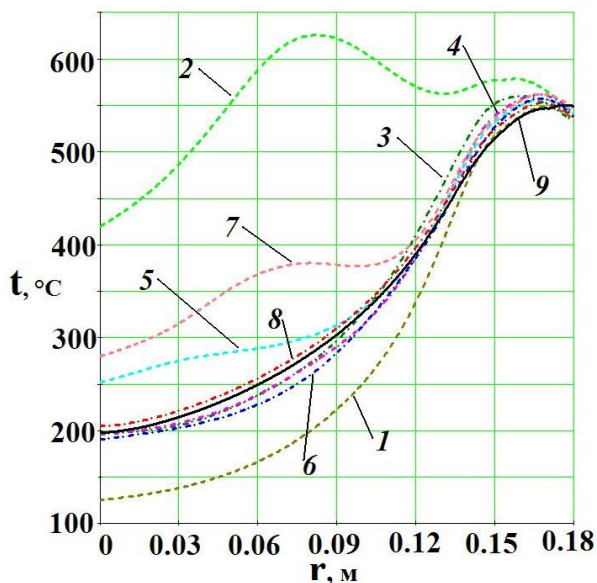


Рисунок 2 – Распределения температур по радиусу диска переменной толщины в зависимости от формы индуктора (рис. 1)

На основании проведенных расчетов выбрана оптимальная конструкция индуктора – петлевой индуктор 8 (рис. 1), который обеспечивает наилучшее приближение расчетного распределения температуры диска переменной толщины к заданному и повышение эффективности нагрева (рис. 2). Таким образом, с помощью разработанных математических моделей, с помощью которых были рассчитаны параметры новых конструкций индукторов сложной формы для моделирования температурных полей дисков турбин и использованы при испытаниях, исследованы режимы нагрева дисков, вращающихся в переменном электромагнитном поле с выделением дополнительной мощности нагрева за счет вращения и получены режимы ускоренного нагрева, которые позволили повысить экономию электроэнергии, снизить

установленную мощность системы индукционного нагрева, сократить сроки термоциклических испытаний и повысить точность воспроизведения распределений температур в дисках высоконагруженных турбин авиационных двигателей на разгонных стендах.

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.

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, член-корреспондент 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.

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

УДК 539.4-621.365.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКАХ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ИНДУКТОРОВ

Лепешкин С.А.
Россия, г. Москва, НИУ “МЭИ”

Разработана математическая модель в программном комплексе ANSYS с использованием метода

конечных элементов для моделирования режимов нагрева натурных дисков сложной формы с учетом вращения и взаимного влияния индукторов. Приведены результаты исследований распределений температур во вращающихся дисках с учетом взаимного влияния индукторов. Полученные результаты можно использовать для дополнительного регулирования температурных полей дисков и повышения энергосбережения при испытаниях на разгонных стендах.

Ключевые слова: модель, электромагнитное поле, индукторы, распределение температуры, частота, вращающийся диск, взаимное влияние.

A mathematical model is developed in the ANSYS software package using finite element method for modeling of heating modeling of real disks of complex form on view of rotation and mutual influence of the inductors. The results of investigations of the temperature distributions in the rotating disks on view of mutual influence of the inductors are presented. The obtained results can be used to further control the temperature fields of disks and increase of energy saving at the tests on spin rigs.

Keywords: model, electromagnetic field, inductors, temperature distribution, frequency, rotating disk, mutual influence.

Детали турбин авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и установок подвергаются воздействию весьма значительных механических и тепловых нагрузок в условиях эксплуатации.

Поэтому моделирование скоростных режимов нагрева и термонапряженного состояния вращающихся дисков имеет важное значение в связи с увеличением времени работы деталей ГТД на нестационарных режимах.

Средние скорости нагрева дисков турбин авиадвигателей в условиях эксплуатации составляют $0,5 \div 1,0$ К/с, а максимальные скорости нагрева достигают 6 К/с.

Для оценки ресурса изделий требуется моделирование теплового и термонапряженного состояния дисков турбин на разгонных и специализированных стендах в машиностроительной промышленности с использованием различных методов нагрева. Индукционный нагрев является одним из наиболее перспективных методов, так как по сравнению с другими методами он имеет важные преимущества, заключающиеся не только в получении заданного неравномерного распределения температур по радиусу диска, соответствующего эксплуатационным условиям, но и в обеспечении высоких скоростей нагрева дисков при термоциклических испытаниях [1-2].

Объект исследования представляет собой сложную систему, состоящую из осесимметричного диска переменной толщины с конкретными механическими, теплофизическими и электрическими свойствами его материала, по радиусу которого размещаются кольцевые и разработанные петлевые индукторы улучшенной конструкции (рис. 1), используемые при испытаниях на разгонных стендах.

При расчетном и экспериментальном моделировании теплового состояния изделий на максимальных режимах необходимо получить распределение температуры диска путем нагрева его отдельных зон с помощью указанных индукторов, питаемых токами повышенной частоты с ограниченным числом каналов управления.

Для решения таких задач разработана математическая модель в программном комплексе ANSYS с использованием метода конечных элементов для расчета



Рисунок 1 – Диск с лопатками и система индукторов, установленные в испытательной

электрических и тепловых характеристик системы индукционного нагрева и моделирования режимов нагрева натуральных дисков сложной формы с учетом вращения и взаимного влияния индукторов в переменном электромагнитном поле.

В большинстве случаев целесообразно использовать несколько индукторов одновременно, так как применение одного индуктора не позволяет получить требуемое распределение температуры за заданное время нагрева. В связи с этим необходимо провести исследования и определить особенности нагрева диска с использованием нескольких индукторов. Для исследования взаимного влияния индукторов (с учетом действия магнитной связи) использовано конечно-элементное моделирование электромагнитных и температурных полей дисков с применением разработанной программы в среде ANSYS.

В качестве примера проведено исследование системы из двух кольцевых индукторов, расположенных симметрично относительно центра диска, представленной на рис. 2.

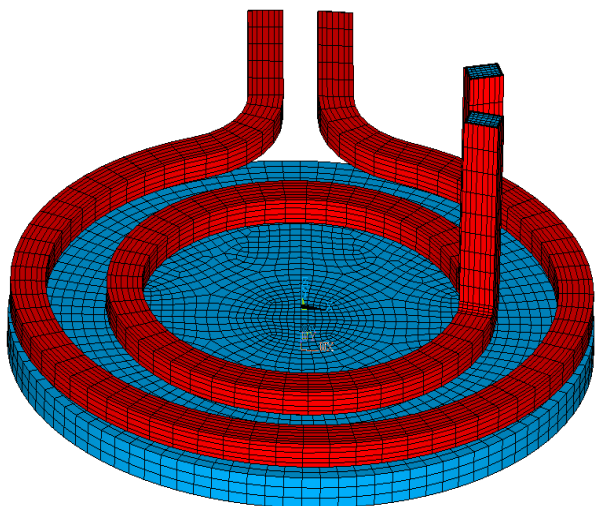
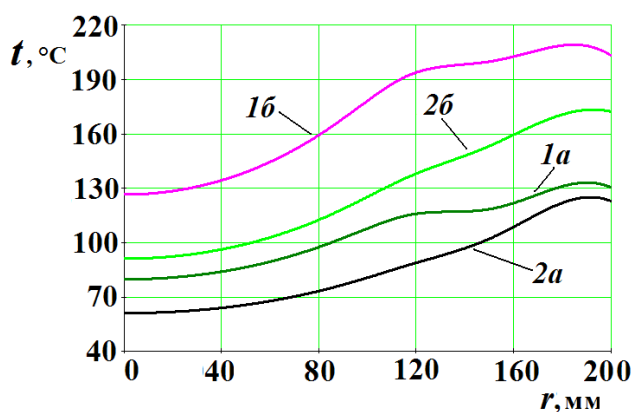


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель расположения индукторов для нагрева диска

При этом учитывалось их взаимодействие, если токи направлены в разные стороны по кольцам индукторов, то поля будут ослабляться с учетом наведенных ЭДС и суммарная мощность будет меньше по сравнению со случаем однонаправленного движения токов. Если мощность на эти индукторы подается одинаковая, то в температурном поле диска появляются местные градиенты, которые можно уменьшить, понизив мощность индуктора, который расположен ближе к центру.

На рис. 3 приведены результаты указанных исследований распределений температур по радиусу диска диаметром 400 мм. В случае 1 на индукторы подается полная мощность, в случае 2 на индуктор с меньшим радиусом подается 60% мощности.



Согласное и встречное подключение индукторов можно использовать для дополнительного регулирования температурных полей дисков турбин авиационных ГТД, что позволит повысить энергосбережение при термоциклических испытаниях на разгонных стендах.

Рисунок 3 – Распределения температур по радиусу диска в случае использования двух кольцевых индукторов: токи встречно (а) и согласно (б) направлены с использованием

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.

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

ВЛИЯНИЕ РУКАВОВ ЭЛЕКТРОДОДЕРЖАТЕЛЯ НА АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРУБОШИННОГО УЧАСТКА ТОКОПОДВОДА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Власов Д. С., Бикеев Р. А., Сериков В. А., Добров А.Н.
Россия, Новосибирск, НГТУ

В статье приведен метод расчета коэффициента добавочных потерь (КДП) для учета металлоконструкций, лежащих вблизи токоведущих элементов, на электрические параметры токоподвода. Приведены результаты численного моделирования для трехфазной 100-тонной дуговой сталеплавильной печи в виде зависимостей активного сопротивления участка и КДП от геометрии участка токоподвода и свойств рукавов. Результаты подтверждены экспериментальными данными.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, коэффициент добавочных потерь, рукав электрододержателя, трубошины, схема замещения электропечного контура, мощные электротехнологические установки

In the article is shown method of calculation of coefficient of additional losses (CAL) to take into account influence of metallic constructions on electrical parameters of current-lead. There are also shown results of numerical simulation for three-phase arc steel furnace of 100 ton capacity in form of graphs of dependences of active resistance and CAL on geometry of current-lead partition and properties of the arms. The results are verified by experimental data.

Key-words: electric arc furnace, coefficient of additional losses, electrode holding arm, tubular bus, equivalent circuit of furnace, powerful electrotechnological installations.

Для расчета электрических, рабочих, эксплуатационных характеристик проектируемой ДСП, а также для разработки технологического процесса необходимо знать активные сопротивления элементов токоподвода, входящие в электрическую схему замещения печного контура.

Существует общеизвестная инженерная методика расчета активных сопротивлений токоподвода мощных электротехнологических установок, в которой эти дополнительные потери учитываются с помощью коэффициент добавочных потерь (КДП) [1]. Данный коэффициент введен только для ферромагнитных металлоконструкций, расположенных вблизи токоведущих проводников. Рекомендуемое значение КДП в этой методике составляет 1.15.

Инженерных методик точного учета влияния металлоконструкций на активное сопротивление токоподвода на данный момент не существует. Однако исследовательские работы в этом направлении ведутся давно. В 1960 – 1970 гг. во ВНИИЭТО были выполнены исследования по определению электрических потерь в рукавах и стойках электрододержателей дуговых сталеплавильных печей ДСП-100 и ДСП-200, изготовленных из конструкционной магнитной и немагнитной стали [2, 3].

Физическое моделирование – надежный, хорошо зарекомендовавший себя метод. Однако он требует изготовления, хоть и в уменьшенном масштабе, исследуемого объекта. В случае дуговых сталеплавильных печей стоимость таких работ весьма велика.

Исследования, подобные приведенным выше, можно в настоящее время проводить методами численного моделирования.

Для этого в программном пакете конечно-элементного численного моделирования ANSYS была построена базовая геометрическая модель с использованием чертежей реальной установки ДСП-100 И6, приведенная на рисунке 1.

При формировании допущений численной модели две трубошины, относящиеся к одной фазе, были заменены одним медным проводником коробчатого сечения, ширина и высота которого соответствовали габаритным размерам двух трубошин, а толщина стенки равнялась толщине стенки трубошины (рисунок 2). При этом, изменяемыми параметрами модели являются: расстояние от крайней трубошины до крайнего рукава h_1 и расстояние от средней трубошины до среднего рукава h_2 . Различные сочетания значений h_1 и h_2

представляют собой различные варианты исполнения трубошинного участка токоподвода ДСП. При этом рукава электрододержателей могут быть из магнитной стали ($\mu_r=f(H)$, $\rho=20 \cdot 10^{-8}$ Ом·м) или немагнитной стали ($\mu_r=1$, $\rho=80 \cdot 10^{-8}$ Ом·м).

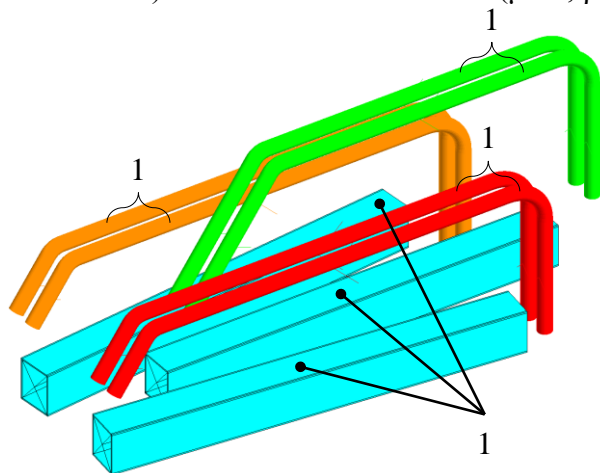


Рисунок 1 – Общий вид трубошинного участка токоподвода трехфазной ДСП-100 И6

1 – трубошины фаз, 2 – стальные рукава электрододержателей

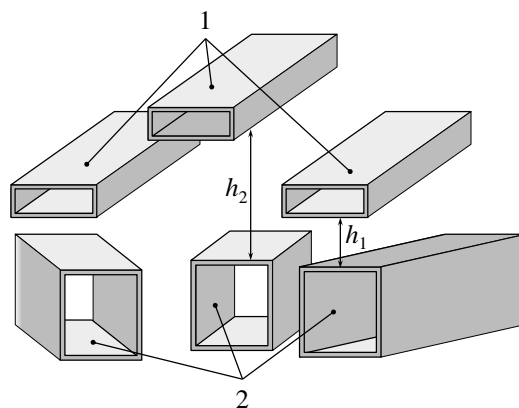


Рисунок 2 – Расчетная модель трубошинного участка ДСП-100 И6

1 – модельные трубошины, 2 – рукава электрододержателей; h_1 и h_2 – геометрические параметры модели

В результате решения системы уравнений Максвелла в модельных элементах трубошинного участка токоподвода и окружающем пространстве было получено распределение удельной активной и реактивной мощности в расчетной области, из которых легко найти активные сопротивления элементов токоподвода относительно тока источника питания:

$$P = I^2 R,$$

где P – интегральная активная мощность, I – ток источника питания.

Имея электрические параметры, полученные из модели без проводящих рукавов, можно получить коэффициенты дополнительных потерь для разных вариантов значений h_1 и h_2 и материалов рукавов по формуле:

$$K_{\text{дпR}} = R_{\text{фм}} / R_{\text{ф}},$$

где $R_{\text{фм}}$, $R_{\text{ф}}$ – сопротивление фазы участка токоподвода в присутствии близлежащих металлоконструкций и в их отсутствии соответственно.

На рисунке 3 приведены графики зависимости среднефазного КДП от геометрических параметров h_1 и h_2 и свойств рукавов.

Из графиков видно, что среднефазный КДП уменьшается с увеличением расстояния между трубошинами и рукавами. В работе [2] этот коэффициент для 100-тонной ДСП получился равным 1.35 для $h_1 = 1400$ мм и $h_2 = 2400$ мм. Это значение $K_{\text{дпR}}$ отмечено на рисунке 3 и отличается от результатов выполненного численного моделирования не более чем на 4%. При этом результаты численного моделирования, полученные для магнитной и немагнитной стали, отличаются друг от друга не более чем на 9%, что подтверждает выводы работы [2]. Таким образом, правильность модели трубошинного участка токоподвода ДСП-100 И6 подтверждается экспериментом с достаточной для инженерных расчетов точностью.

Выполненные расчеты показали, что КДП для активного сопротивления фаз $K_{\text{дпR}}$ может варьироваться в диапазоне $1.2 \div 2.6$.

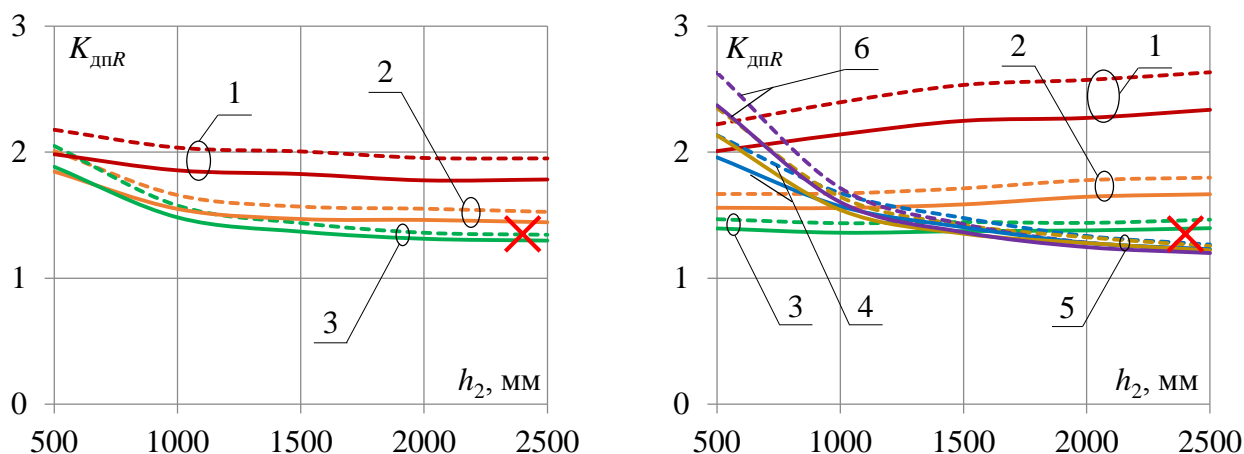


Рисунок 3 – Коэффициенты добавочных потерь к активному сопротивлению

а) среднефазный коэффициент добавочных потерь КДПАС участка трубошин ДСП-100: 1 – $h_1 = 500$ мм; 2 – $h_1 = 1000$ мм; 3 – $h_1 = 1500$ мм; сплошные – магнитная сталь, пунктирные – немагнитная; X – экспериментальный результат [2];

б) коэффициент добавочных потерь для активного сопротивления: 1, 2, 3 – крайняя фаза; 4, 5, 6 – средняя фаза; 1, 4 – $h_1 = 500$ мм; 2, 5 – $h_1 = 1000$ мм; 3, 6 – $h_1 = 1500$ мм; сплошные – магнитная сталь, пунктирные – немагнитная.

Полученный результат можно объяснить, с одной стороны, более широким диапазоном изменения расстояний между трубошинами и рукавами, а с другой стороны, учетом трехфазной системы токов в трубошинах, взаимодействующих как между собой, так и с рукавами электрододержателей собственной и соседних фаз.

Полученные зависимости коэффициента добавочных потерь можно рекомендовать к использованию при проектировании аналогичных дуговых сталеплавильных печей, имеющих геометрические параметры, входящие в диапазон исходных данных выполненного исследования.

Список литературы

1. Данцис, Я. Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей [Текст] / Я.Б. Данцис. - Москва : Металлургия, 1987. – 320 с.
2. Бортничук, Н.И. Работы по моделированию коротких сетей в лаборатории ВНИИЭТО [Текст] / Н.И. Бортничук // Сб. науч. тр. Моделирование коротких сетей. - Москва : ЦИНТИЭЛ, 1963.
3. Бортничук, Н. И. Методы определения и улучшения электрических параметров электродуговых печей [Текст] / Н. И. Бортничук, Л. А. Сафронов, О. В.Юрыгин // Электротермия. – 1964. – №31. – С. 41-43.

Власов Давид Сергеевич, канд.т техн. наук, инженер кафедры АЭТУ НГТУ; 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел. 8(383)3463032; моб. тел. 8(951)900-91-77; e-mail: wlasow.david@gmail.com.

Бикеев Роман Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры АЭТУ НГТУ; 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб.тел.: 8(383)3463032; моб.тел.: 8(913)902-38-66; e-mail: bikeev@ngs.ru.

Сериков Виктор Андреевич, аспирант кафедры АЭТУ НГТУ; почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел.: 8(383)3463032; e-mail: victorserikov@yandex.ru.

Добров Антон Николаевич, магистрант, кафедра АЭТУ НГТУ; 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел.: 8(383)346-30-32; моб.тел. 8(952)927-05-83; e-mail: antdobrov@mail.ru.

СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Руководители:

Степанов Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, директор НОЦ нанотехнологий ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл;

Барсуков Валерий Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ТМиКТИ ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл.

УДК 669.017

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю.
Россия, г. Тверь, ТвГТУ

В статье рассмотрен вопрос выбора сварочного оборудования для наплавки и восстановления поверхностей.

Ключевые слова: наплавка, сварка.

The article considers the question of choice of welding equipment for built-up and surface restoration.

Keywords: built-up, welding.

Биметаллические рабочие элементы широко используются при изготовлении металлорежущего инструмента. Такая технология позволяет сократить затраты на изготовление инструмента за счет использования менее дорогостоящей конструкционной стали в качестве материала корпуса инструмента. Одним из способов получения биметаллических элементов является электродуговая наплавка быстрорежущей стали на корпус из легированной стали 30 ХГСА. В ряде работ [1, 2] приводятся данные о возможности получения инструмента с высокими эксплуатационными свойствами.

Дополнительно повысить механические свойства биметалла возможно за счет сокращения размеров зоны термического влияния (ЗТВ), которая образуется при нагреве основного металла в процессе электродуговой наплавки. Сократить размеры ЗТВ можно несколькими методами. Наиболее эффективным методом можно считать наплавку с применением высококонцентрированных источников нагрева (например, лазера). Однако из-за невысокого КПД, применение источников лазерного излучения при наплавке не обеспечивает достаточной энергоэффективности, к тому же источники лазерного излучения необходимой мощности имеют достаточно высокую стоимость. Развитие полупроводниковых лазеров, в скором времени, устранил эти проблемы.

Импульсная дуга позволяет обеспечить перенос капель без коротких замыканий и брызг (рис.1). Она реализуется также при малых мощностях дуги, при наплавке на которых без импульсного управления возникают короткие замыкания с образованием брызг [3, 4].

Особенности формирования капель при наплавке импульсной дугой:

- дуга горит при малом базовом токе, электродная проволока плавится;
 - в момент импульса тока увеличивается объем капли на конце электрода, одновременно возрастает сжимающая сила (пинч-эффект) и приводит к отрыву капли жидкого металла;
 - капля отрывается и без короткого замыкания переносится в сварочную ванну;
 - параметры сварки подбираются так, чтобы капли не отрывались при базовом токе.
- Технология наплавки импульсной дугой обеспечивает следующие преимущества:

- незначительные структурно фазовые изменения в металле;
- уменьшение деформации конструкции;
- минимизированная зона термического влияния;
- пониженное образование окалины, меньше видны цвета побежалости.
- сокращение расхода наплавочного материала за счет исключения разбрызгивания металла и наплавки тонких слоев.
- уменьшение энергоемкости процесса.

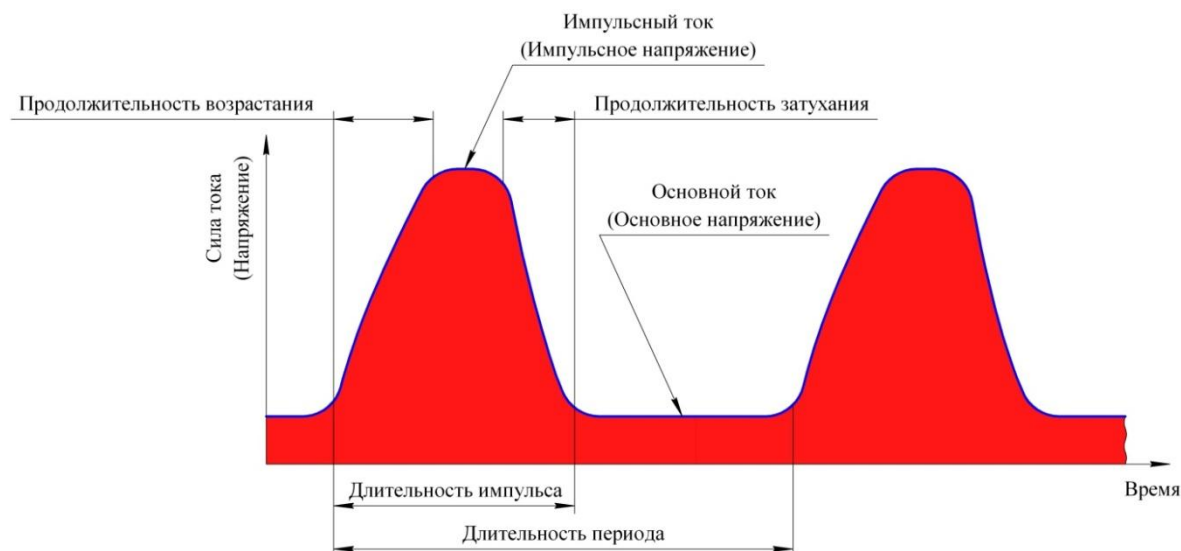


Рисунок 1 – Циклограмма наплавки импульсной дугой

В настоящее время несколько производителей сварочного оборудования предлагают источники питания для сварки на импульсном токе. Такое оборудование позволяет сваривать различные материалы, выполнять сварку-пайку и даже электродуговую пайку сплавов на основе алюминия меди или цинка. Однако у производителей оборудования нет готовых предложений по технологии наплавки инструмента порошковыми проволоками.

Были проведены опытные работы по изготовлению биметаллических пластин в качестве заготовок инструмента. На полосу из стали 30ХГСА наплавлен валик инструментальной стали Р2М8 на режимах с импульсной дугой. Исследование образцов показало возможность формирования наплавленного элемента с существенным уменьшением ЗТВ. В наплавленном металле не выявлено пор, трещин и несплавов. После отработки режима наплавки удалось добиться формирования валика без образования брызг на сварочном токе менее 120 А.

Реализация предложенной технологии электродуговой наплавки импульсным током обеспечивает повышение энергоэффективности и снижение материалоемкости производства биметаллических изделий.

Список литературы

1. Алешин, Н.П. Сварка. Резка. Контроль [Текст]: Справочник. В 2-х томах / Н. П. Алешин, Г.Г. Чернышов. – М.: Машиностроение, 2004. – 1136 с.
2. Зубков, Н.С. Изготовление наплавленного металлорежущего инструмента: монография [Текст] / Н.С. Зубков, В.А. Тютяев, Е.Н. Зубкова. – Тверь: Изд-во Тверского гос. Техн. Ун-та, 1998. – 124 с.
3. Морозов, В.П. Особенности процесса кристаллизации металла расплавленной ванны при дуговой импульсно-периодической сварке [Текст] / В.П. Морозов // Наука и образование. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – № 08. – 16 с.
4. Сараев, Ю.Н. Влияние импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений труб из высокопрочных сталей [Текст] / Ю.Н. Сараев, О.И. Слепцов, В.П. Безбородов, И.В. Никонова,

А.В. Тютев // Физическая мезомеханика, Спец. Выпуск. – Томск: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2005. – №8. – С. 141–144.

Дожделев Алексей Михайлович, аспирант каф. «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета; e-mail: Cordar@yandex.ru; тел.: 8(910)8478324.

Лаврентьев Алексей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета; e-mail: lavr_ay@mail.ru; тел.: 8(910)6463061.

УДК 621.9

РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУИ

Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В.
Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Авторами статьи, разрешая пошагово систему уравнений движения и вращения абразивной частицы с подвижными граничными условиями, получена зависимость разрушающей способности разных типов абразивного зерна, позволяющая назначить энергоэффективные режимы гидроабразивного резания.

Ключевые слова: абразив, гидроабразивное резание, проникание, разрушение

The authors, allowing stepwise system of equations of motion and rotation of the abrasive particles with moving boundary conditions, the dependence of the destructive capacity of different types of abrasive grains, which allows to assign energy-efficient modes of waterjet cutting.

Keywords: abrasive waterjet cutting, penetration, destruction

При гидроабразивном резании струя жидкости с абразивом истекает из сопла малого диаметра (0,8 - 2 мм) под давлением 200 - 500 МПа, обладая при этом сверхзвуковой скоростью и кинетической энергией, достаточной для выполнения резания неметаллических материалов толщиной до 350 мм, металлов - до 150 мм [1].

Свойства и характеристики применяемого абразивного зерна значительно влияют на скорость подачи сопла относительно материала и определяют интенсивность разрушения. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что значительное повышение (в 10 раз) производительности резания высокопрочных материалов обеспечивает более твердый абразив корунд [2, 3].

Изучение микрофотографий обработанных поверхностей после гидроабразивного резания показывает, что механизм разрушения материалов с различными физико-механическими свойствами примерно одинаков. Преобладающим является микрорезание. Так, например, при резании алюминия, который мало склонен к хрупкому разрушению, удельный съем относительно высок. Микрорезание осуществляется при однократном приложении силы летящей абразивной частицы, достаточной по величине для отрыва микрочастицы обрабатываемого материала и имеющей более высокую твердость по сравнению с ним [4].

Объем снимаемой стружки единичным зерном определяет интенсивность проникновения гидроабразивной струи в материал. В связи с чем, необходимо знать траекторию врезания частицы в преграду, определяющую глубину h , ширину b и длину L царапины от выступов микрорельефа зерна. Среднее значение углов 2β при вершине уменьшается с понижением номера зернистости. Значение углов 2β лежат в пределах 40 - 150°. При этом процент острых углов составляет 12 – 25 % [5].

Задача о проникновении абразивного зерна в материал решалась для случая, когда угол между контактной поверхностью и осью симметрии внедряемой частицы α небольшой.

При определении траектории движения единичного зерна учитывалось вращение абразивной частицы вокруг центра масс [6].

При решении задачи сделаны следующие допущения:

- 1) величина заглубления зерна в материал Δ меньше его радиуса;
- 2) угловая скорость вращения зерна вокруг оси симметрии отсутствует, а вокруг центра масс равна нулю в начальный момент контакта;
- 3) в начальный момент контакта с поверхностью материала вектор скорости зерна совпадает с осью его симметрии;
- 4) форму абразивного зерна аппроксимируем двумя конусами, имеющими общее основание, вершины которых находятся по разные стороны на одинаковом расстоянии.

Получено следующее уравнение движения и вращения центра масс абразивного зерна в зоне контакта:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = [\dot{x}^2 k + w] \left[-\frac{d^2}{4} \gamma \cos(\alpha_0 - \varphi) + \frac{4}{3} \lambda \sin(\alpha_0 - \varphi) \right], \\ m\ddot{y} = -[\dot{x}^2 k + w] \left[\frac{d^2}{4} \gamma \sin(\alpha_0 - \varphi) + \frac{4}{3} \lambda \cos(\alpha_0 - \varphi) \right], \\ I\ddot{\varphi} = [\dot{x}^2 k + w] \left[-\frac{d^2}{4} \gamma \left(\frac{d}{2} - \frac{2}{3} (\eta - H_0) \right) + \frac{4\Delta}{9 \tan \beta} \lambda \right], \end{cases} \quad (1)$$

где λ, γ - коэффициенты:

$$\lambda = \frac{\sqrt{d(\eta - H_0)^3 - (\eta - H_0)^4}}{\tan \beta - \sin(\alpha_0 - \varphi)},$$

$$\gamma = \left\{ \frac{\pi}{180} \arcsin \frac{2\sqrt{d(\eta - H_0) - (\eta - H_0)^2}}{d} - \frac{2\sqrt{d(\eta - H_0) - (\eta - H_0)^2}}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{2\sqrt{d(\eta - H_0) - (\eta - H_0)^2}}{d} \right)^2} \right\};$$

m - масса абразивного зерна;

I - экваториальный момент инерции;

$\varphi = \alpha_0 - \alpha$ - изменение угла наклона оси симметрии зерна к преграде;

α_0 - начальный угол между контактной поверхностью и осью симметрии внедряемого зерна;

d - диаметр зерна;

Δ - глубина врезания зерна в поверхность.

Система уравнений (1) решена численным методом. На рис. 1 представлен полученный результат в графическом виде.

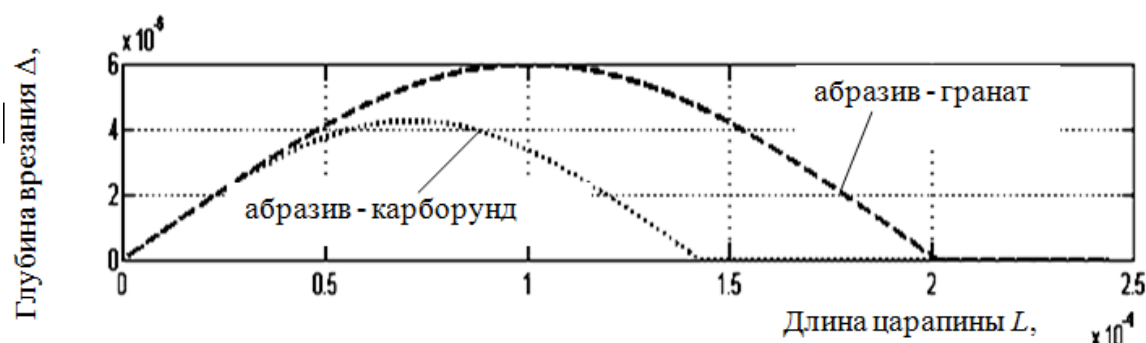


Рисунок 1 – Траектория движения различных типов абразивного зерна при сверхзвуковом взаимодействии с преградой

Таким образом, разрешая пошагово систему уравнений движения и вращения абразивной частицы с подвижными граничными условиями, получена зависимость разрушающей способности разных типов абразивного зерна, позволяющая назначить энергоэффективные режимы гидроабразивного резания.

Список литературы

1. Степанов, Ю.С. Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, Е.Г. Алюшин // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – № 6 – С. 15-20.
2. Галиновский, А.Л. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки [Текст] / А.Л. Галиновский, В.А. Тарасов, В.М. Елфимов // Известия высших учебных заведений «Машиностроение». – 2011. – №4. – с. 46-54.
3. Барсуков, Г.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна [Текст] / Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 1. – С. 9 – 14.
4. Степанов, Ю.С. Численное моделирование напряженно-деформированное состояние сферического индентора при сверхзвуковом ударном взаимодействии с преградой [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.А. Александров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 2-3. – 2010. – С. 3 – 8.
5. Степанов, Ю.С. Влияние параметров течения сверхзвуковой гидроабразивной струи на геометрическую форму поверхности разрушения преграды [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2 – 5. С. 53 – 63.
6. Барсуков, Г.В. Разрушение преграды сверхзвуковым потоком свободных абразивных частиц [Текст] / Г.В. Барсуков, Ю.С. Степанов, А.В. Михеев. - М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 152 с.

Степанов Юрий Сергеевич, д-р техн.наук, профессор, директор НОЦ «Орёлнано» ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл; e-mail: yury057@yandex.ru; тел.: 8 (4862) 541503.

Барсуков Геннадий Валерьевич, д-р техн.наук, профессор, зав. кафедрой КТОМП ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», тел.: 8 (4862) 541503, e-mail: awj@list.ru.

Михеев Александр Васильевич, докторант, научный сотрудник НИЛ ФГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл; тел.: 8 (4862) 541503; e-mail: awj@list.ru.

УДК 621.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОДЕТАЛЬНОГО ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Михеев А.В.
Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Авторами статьи разработаны технологические приемы гидроабразивного резания стеклотекстолита, в случае, если диагностирование показало, что вероятность появления расслоений высока.

Ключевые слова: стеклопластик, гидроабразивная резка, расслоение, качество реза

The authors developed technological methods waterjet cutting fiberglass, if the diagnosis showed that the probability of bundles high.

Keywords: fiberglass, waterjet cutting, lamination, cutting quality

Использование метода гидроабразивного резания для обработки деталей из листовых стеклотекстолитов позволяет значительно повысить качество получаемых деталей, дает возможность изготовления изделий фигурного профиля, улучшает экологию рабочего места

[1, 2]. Однако основной проблемой остается вероятность появления расслоений при врезании струи в материал.

Для уменьшения влияния или полного исключения расслоений материала при использовании ГАР, при обеспечении требуемых параметров качества деталей из стеклотекстолита с минимальными затратами труда, материальных и энергетических ресурсов разработан комплекс технологических приемов и методов выполняемых по алгоритму, приведенному ниже:

1. Увеличение длины захода струи к вырезаемому контуру детали (рис. 1). После выполнения тестовых резов определяется величина максимального отслоения материала. Величина захода к контуру должна быть несколько больше величины отслоения.

При этом увеличивается расход раскраиваемого материала, раскрой становится менее рациональным. Как вариант, можно располагать детали как показано на рис. 2. Врезание для четырех деталей в данном случае осуществляется в одной точке. Это экономит количество абразива [3], необходимое для врезания под заход для деталей 2, 3, 4 и исключает возникновение отслоений при врезании на эти детали.



Рисунок 1 – Технологический прием: увеличение длины захода на контур детали для исключения появления расслоения на детали

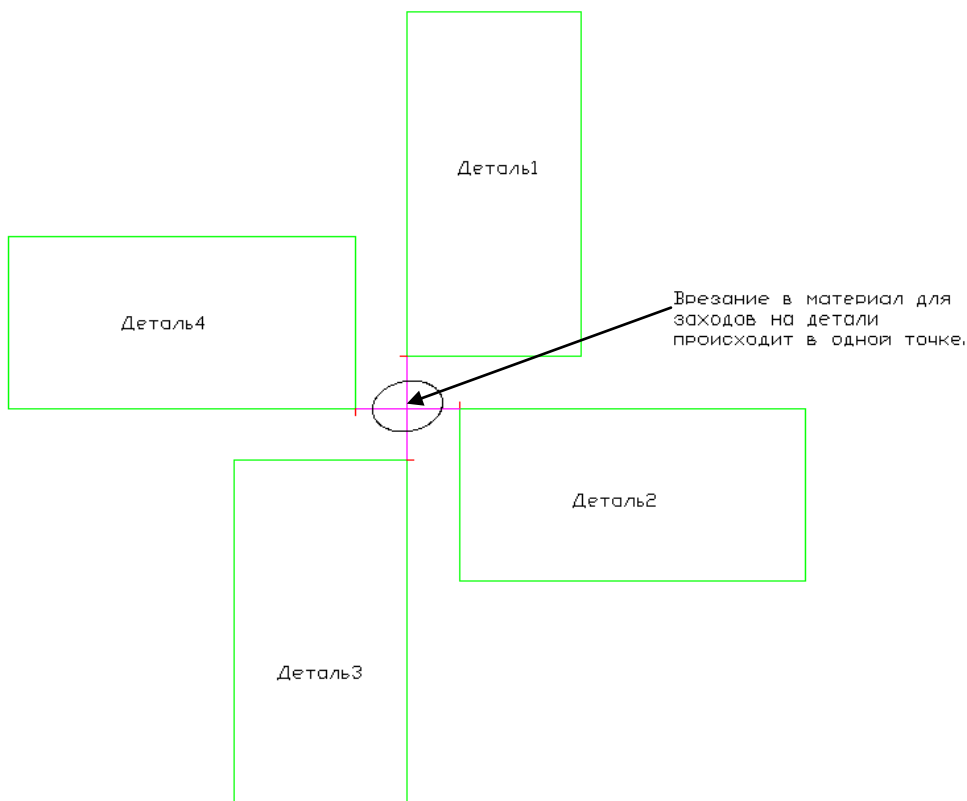


Рисунок 2 – Пример расположения деталей с увеличенной длиной захода на контур

При таком расположении деталей на листе раскрой листа может выглядеть как показано на рис. 3.

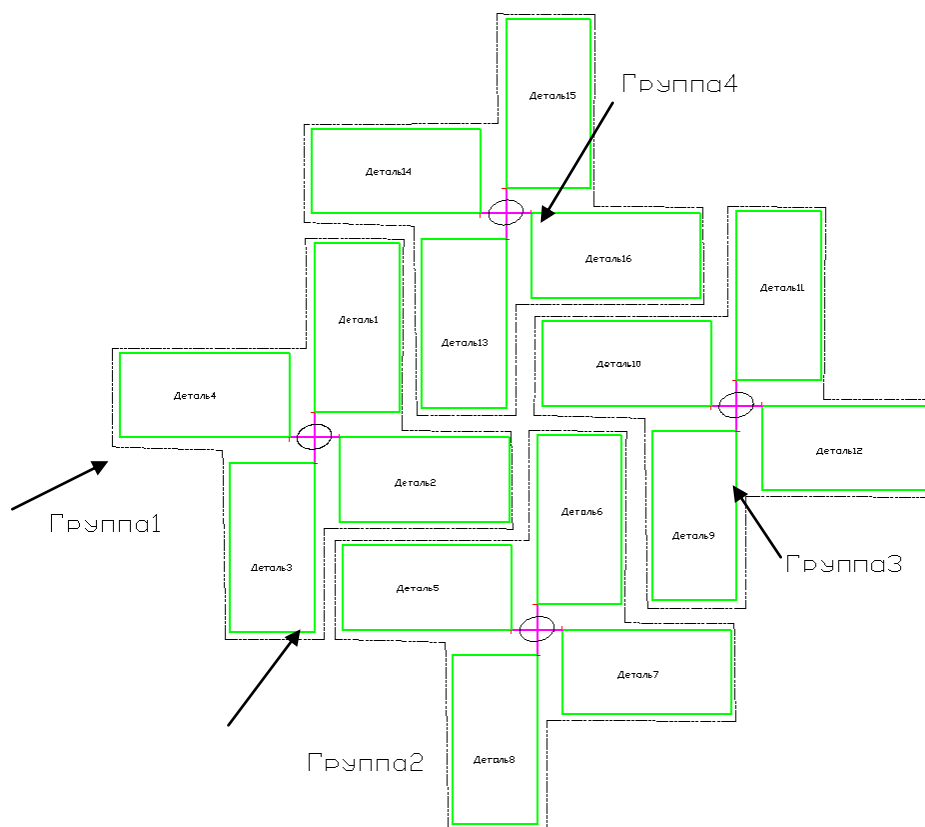


Рисунок 3 – Пример раскроя листовой заготовки из стеклотекстолита

2. Производить врезание вне материала. Врезание производится вне материала на расстоянии $0,5 \div 1$ мм от края листа. Обработка 1-го ряда деталей в раскрое показана на рисунке 4.

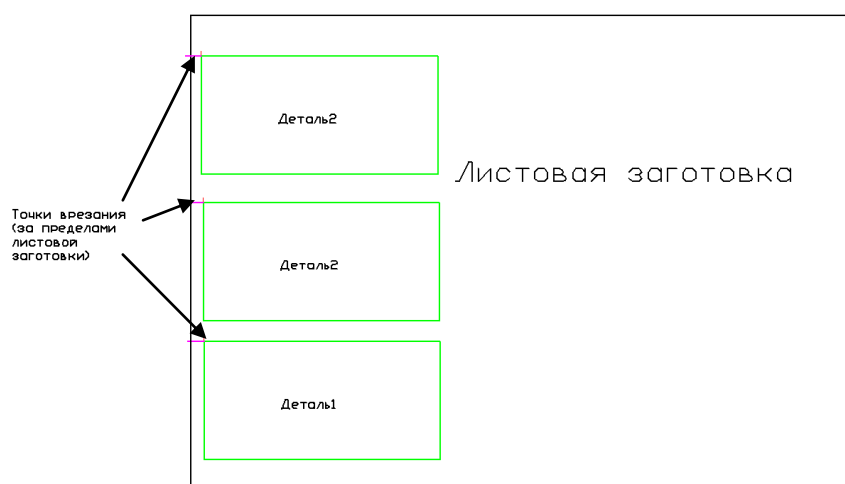


Рисунок 4 – Обработка 1-го ряда деталей в раскрое с врезанием вне материала

Так как врезание производится за пределами материала, расслоения не появляются. Таким образом, можно уменьшить длину захода к контуру заготовки.

Обработку 2-го и последующих рядов заготовок необходимо производить следующим образом: вырезав 1-ый ряд заготовок, оператор останавливает станок, извлекает вырезанные детали. Врезания для 2-го ряда деталей необходимо производить в отверстиях, оставшихся от извлеченных деталей 1-го ряда (рис. 5). После вырезки 2-го ряда деталей, оператор извлекает вырезанные детали из листа и при вырезке деталей 3-го ряда врезания в материал производят в отверстия, оставшиеся от 2-го ряда деталей.

Этот способ имеет недостаток: Оператор должен постоянно следить за процессом обработки деталей, иначе, если вовремя не извлечь детали, возможен брак. Такой способ хорошо подходит для обработки толстолистовых заготовок (от 20 мм), где время вырезки деталей сравнительно большое [4].

Разрезка листового материала сравнительно небольших толщин происходит с достаточно высокой скоростью (например, 1500-3000мм/мин для СТЭФ-1 толщиной 6мм, и до 10000 мм/мин для СТЭФ-1 толщиной 1мм). Поэтому такой способ

обработки приведет к увеличению простоя дорогостоящего оборудования. В этом случае целесообразно применять отсекающие резы.

После вырезки 1-ого ряда деталей, как показано на рис. 4, не вынимая детали 1, 2, 3, производится технологический отсекающий рез (рис. 6). При этом можно полностью отсекать материал с отрезанными деталями и снимать его с рабочего стола установки, а можно производить отсекающий рез как показано на рис. 6.

Врезание в материал для 2-го ряда деталей производится левее отсекающего реза, а сами детали 2-го ряда располагаются правее него. Таким образом, при появлении расслоений при врезании, оно не идет дальше отсекающего реза, не проникая на детали (рис. 7). Перед обработкой 3-го ряда деталей производится еще один отсекающий рез, и т.д.

Рисунок 7 – Выполнение обработки 2-го ряда деталей с применением отсекающего реза

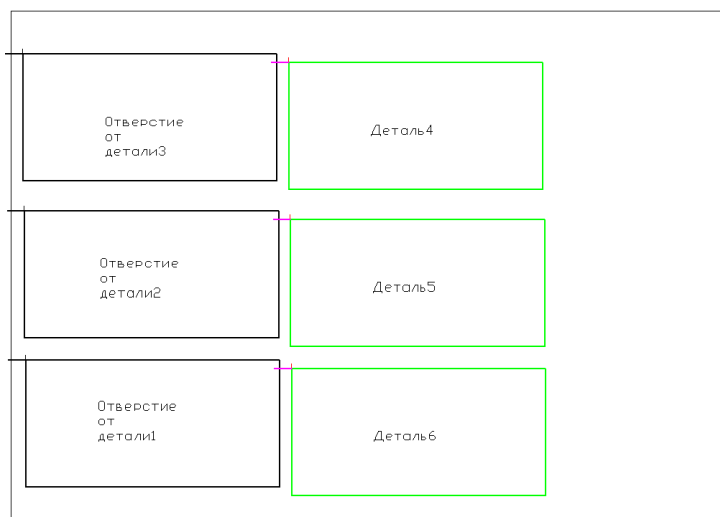


Рисунок 5 – Обработка 2-го ряда деталей в раскрое с врезанием вне материала из стеклопластика

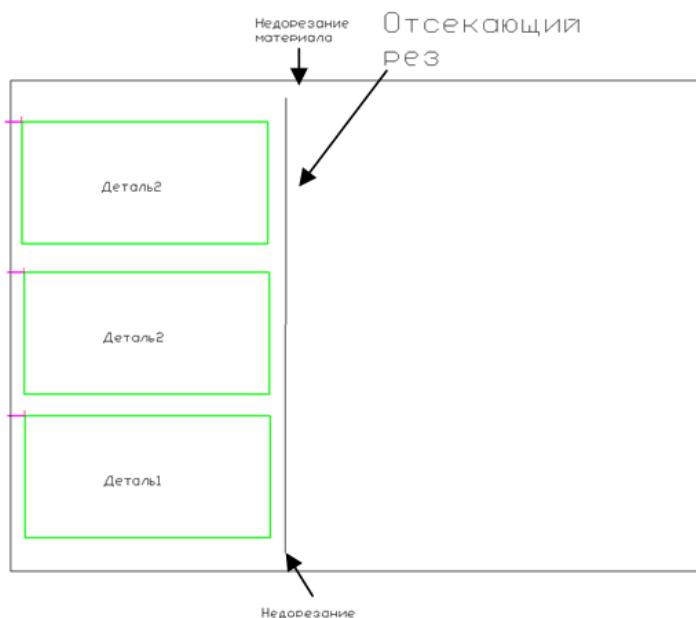
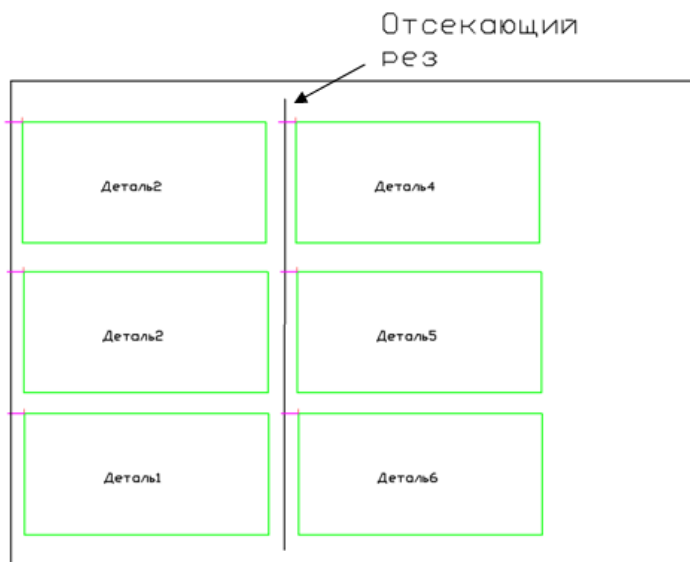


Рисунок 6 – Выполнение технологического отсекающего реза



При использовании такого технологического приема важно чтобы врезание в материал производилось на расстоянии не более 0,5-1мм левее отсекающего реза для избегания зацепления кромки материала соплом, что может привести к сдвигу листовой заготовки или поломке сопла. Это связано с тем, что при разрезке тонколистовых материалов толщиной до 3мм очень часто происходит приподнимание отрезанной кромки материала, что может привести к наезду сопла на эту кромку и, соответственно, к поломке сопла и смещению листовой заготовки во время обработки. Величина расстояния от места врезания до отсекающего реза должна быть меньше наружного диаметра сопла. Это позволяет не зацепить кромкой сопла приподнимающуюся кромку материала.

Выводы:

Авторами статьи разработаны технологические приемы раскроя стеклотекстолита, в случае, если диагностирование показало, что вероятность появления расслоений высока. При этом необходимо использовать полученные зависимости величины расслоения при врезании гидроабразивной струи от технологических параметров.

Использование полученных результатов на предприятиях применяющих гидроабразивное резание стеклотекстолита, позволяет существенно повысить качество и снизить вероятность появления брака при многодетальном раскрое.

Список литературы

1. Степанов, Ю.С. Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, Е.Г. Алюшин // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – № 6 – С. 15- 20.
2. Галиновский, А.Л. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки [Текст] / А.Л. Галиновский, В.А. Тарасов, В.М. Елфимов // Известия высших учебных заведений «Машиностроение». – 2011. – №4. – с. 46-54.
3. Барсуков, Г.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна [Текст] / Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 1. – С. 9 – 14.
4. Степанов, Ю.С. Влияние параметров течения сверхзвуковой гидроабразивной струи на геометрическую форму поверхности разрушения преграды [Текст] / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2. – С. 53 – 63.

Барсуков Геннадий Валерьевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой КТОМП ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; тел. 8(4862)541503; e-mail: awj@list.ru

Журавлева Татьяна Александровна, аспирант кафедры КТОМП ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; тел. 8(4862)541503; e-mail: awj@list.ru

Михеев Александр Васильевич, докторант, научный сотрудник НИЛ ФГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл; тел. 8(4862)541503; e-mail: awj@list.ru

УДК 621.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Фроленков К.Ю., Барсукова О.С.
Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

Авторами приводятся сведения о возможности наноструктурирования абразивных материалов, получаемых из техногенных побочных продуктов промышленности.

Ключевые слова: наноструктурирование поверхности, диффузионные покрытия, вторичные техногенные отходы, абразивные материалы

The author gives information about the possibility of nanostructuring abrasive materials derived from industrial by-products industry.

Keywords: surface nanostructuring, diffusion coatings, secondary, technogenic waste, abrasives

Высокие требования, предъявляемые к точности и качеству деталей машин, а также применение труднообрабатываемых материалов в машиностроении и других отраслях промышленности привели к возрастанию удельного веса абразивной обработки в общем объеме механической обработки.

О большом внимании индустриально развитых стран к абразивным материалам, как наиболее прогрессивным инструментальным, а в ряде случаев и конструкционным материалам, свидетельствует тот факт, что в настоящее время ведущие промышленно развитые страны (США, Япония, Германия, Англия, Италия, Франция) используют до 80% всех добываемых природных и производимых искусственных абразивов. При этом одной из основных областей применения абразивов является машиностроение, металло- и камнеобработка. В этих отраслях используется около 70% общего объема производства абразивных материалов.

Основными достоинствами абразивных материалов являются их высокие твердость, износо- и теплостойкость. Эти материалы позволяют обрабатывать заготовки со скоростью резания до 120 м/с, а в отдельных случаях и более. Такие инструменты дают возможность проводить окончательную обработку заготовок, имеющих высокую твердость, полученную после термической обработки. Такие заготовки, как правило, не подлежат обработке лезвийным инструментом. Применяемые в качестве абразивов минералы естественного и искусственного происхождения: алмазы; кубический нитрид бора; электрокорунды белый, нормальный и легированный хромом и титаном и др. очень дорогие и у них низкая стойкость к удару. Ежегодная потребность в таких материалах более 100 млн. тонн.

Большинство развитых зарубежных стран давно практикует политику сбережения своих минеральных ресурсов, интенсивно вовлекая в переработку техногенные месторождения, утилизируя отходы производства, разрабатывая технологии переработки этих отходов. Подобная тенденция использования вторичных ресурсов наблюдается в Канаде, Великобритании, ЮАР, Испании и других странах.

Основная особенность предлагаемой разработки это использование техногенных побочных продуктов промышленности, например, отходов производств, что позволит снизить стоимость абразивного материала в 5 – 10 раз при обеспечении необходимой твердости и прочности, а так же ввести в хозяйственный оборот вторичные ресурсы. В России скопилось в отвалах более 80 млн. тонн конвертерного шлака, который серьезно осложняет экологическую обстановку.

Особенно остро нуждается в создании отечественного абразивного материала с заданными функциональными свойствами отрасли промышленности, связанные с производством космической, ракетной и военной техники, авиа-, судо-, автомобилестроением, где широко используется технология резания труднообрабатываемых, высокопрочных и толстолистовых материалов сверхзвуковой гидроабразивной струей, альтернативы которой зачастую нет. В настоящее время производство и продажа оборудования для гидроабразивного резания самый быстрорастущий сегмент станкостроительной промышленности. По данным маркетингового исследования только в России эксплуатируется около 500 гидроабразивных установок, в основном зарубежного производства.

Традиционно используют только импортный абразив типа граната, добываемого за границей в Австралии, Индии, Китае, Новой Зеландии. Отечественным предприятиям приходится его использовать, несмотря на высокую цену, так как в России и в ЕЭС абразивные материалы для этих целей не производят. Затраты на абразив для одной

установки составляют 60 %, порядка 3,0 млн. руб. в год. Использование сверхтвёрдых и более дорогих абразивов типа электрокорунда и карбида кремния, производимых в России, оказалось непрактичным, потому что они быстро изнашивают сопла.

При этом только в России при отсутствии аналогов спрос на подобные абразивные материалы очень велик и составляет не менее 5 тыс. тонн в месяц.

Основным конкурентным преимуществом продукции полученной при выполнении проекта это снижение себестоимости на 20 – 50 %.

Коллектив исполнителей проекта на протяжении последних 20 лет выполняла исследования в области прочности абразивных материалов при сверхзвуковых взаимодействиях, проводила испытания на прочность различных типов абразивных материалов, изучала закономерности структурно-фазовых превращений и связанных с ними изменений свойств абразивных материалов при различных воздействиях. Нами не найдены аналогичные решения на рынке.

Основные недостатки абразива из техногенных побочных продуктов промышленности – не высокая твердость и низкая ударная вязкость 5 – 6 по шкале Мооса. Остается не решенной проблема улучшения функциональных свойств этих материалов для абразивной обработки. Поэтому изучение формирования структурно-фазового состояния тонкого поверхностного слоя техногенных неорганических веществ может стать чрезвычайно перспективным направлением как в фундаментальном аспекте понимания механизма наноstructuring хрупких материалов, так и в прикладном – при разработке абразивных материалов с уникальными физико-механическими характеристиками для промышленного применения.

Успешное выполнение данной работы позволяет решить весьма актуальную проблему создания термостойких, механически прочных, инертных и относительно дешёвых абразивных инструментов из техногенных побочных продуктов промышленности на основе оксидов железа, кремния, магния и кальция.

Задача изучения строения и энергетического состояния поверхностных фаз - сверхтонкого (в несколько атомов) слоя на границе раздела фаз, находящегося в состоянии термодинамического равновесия с объёмом и обладающего своей собственной кристаллической и электронной структурами - важнейшее направление в области создания наноматериалов.

Впервые объектом исследований, проводимых в настоящей работе, являются поверхностные слои наноструктурированных абразивных материалов, получаемых из техногенных побочных продуктов промышленности [1, 2].

Список литературы

1. Барсуков, Г.В. Разработка технологии модификации вторичных техногенных абразивных материалов для гидроабразивного резания [Текст] / Г.В. Барсуков, А.А. Александров, К.Ю. Фроленков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – № 3-2. – 2013. – С. 82 – 90.
2. Барсуков, Г.В. Исследование процесса диффузионного нанесения покрытий на поверхность абразивного зерна [Текст] / Г.В. Барсуков, А.А. Александров, А.В. Михеев, К.Ю. Фроленков / Международная конференция «Научные принципы и подходы, методы и технологии, системный анализ и статистическая обработка данных о создании, диагностике, модернизации композиционных материалов и покрытий с нанодобавками, работающих в условиях динамического и высокоэнергетического нагружения» 26 – 27 сентября 2013 г. Россия, Москва. – С. 78 – 85.

Степанов Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, директор НОЦ «Орёлнано» ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орёл; e-mail: yury057@yandex.ru; тел.: 8(4862)541503.

Барсуков Геннадий Валерьевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «КТМП» ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»; тел.: 8(4862)541503, e-mail: awj@list.ru.

Фроленков Константин Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»; тел.: 8(4862)419892; e-mail: chemistry@ostu.ru.

Барсукова Олеся Сергеевна, инженер ООО «Орловский абразивный завод»; e-mail: orelabraziv@mail.ru.

УДК 621.438

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ПУТЕМ ВПРЫСКА ВОДЯНОГО ПАРА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ГТУ

Кудинов А.А., Горланов С.П.
Россия, г. Самара, СамГТУ

Представлены основные сравнительные показатели работы котла-утилизатора ТКУ-6 в составе стационарной ГТУ-25 с применением впрыска водяного пара в камеру сгорания двигателя НК-37, приведены диаграммы тепловосприятия поверхностями нагрева котла.

Ключевые слова: газотурбинная установка, впрыск, водяной пар, котел-утилизатор, тепловосприятие, паропроизводительность.

Presents the main comparative indicators of work the recovery-boiler TKU-6 in structure of stationary GTU-25 with the use of injection of water vapour in the combustion chamber of the engine NK-37, charts of heat absorption the boiler heating surfaces.

Keywords: gas turbine power plant, injection, water vapor, recovery boiler, heat absorption, steam generation capacity.

В последние годы на ТЭС для привода электрогенераторов стали широко использоваться газовые турбины. Благодаря высокой маневренности ГТУ применяют в энергетике, прежде всего, для покрытия пиковых нагрузок и в качестве аварийного резерва. ГТУ по сравнению с паросиловыми установками обладают меньшим КПД, в связи с тем, что он ограничивается начальной температурой рабочего тела ($\approx 1300^\circ\text{C}$) и единичной мощностью из-за возрастающих затрат энергии на собственные нужды. Первое ограничение в настоящее время устраняется путем внедрения новых материалов и совершенствования систем охлаждения элементов ГТУ [1]. Второе ограничение может быть устранено, если в турбину вместо смеси продуктов сгорания с воздухом подавать высокоэнтальпийный рабочий агент при той же начальной температуре. Часто в продукты сгорания добавляют водяной пар. Такие ГТУ получают все более широкое распространение в мире. Хорошие результаты в этом направлении могут быть достигнуты в результате использования ГТУ с впрыском пара в составе комбинированных установок, что позволяет увеличить удельную мощность и КПД установки, уменьшить вредные выбросы, а также увеличить общий коэффициент использования теплоты топлива [2, 3].

В рамках данной работы рассматривается влияние впрыска водяного пара в камеру сгорания

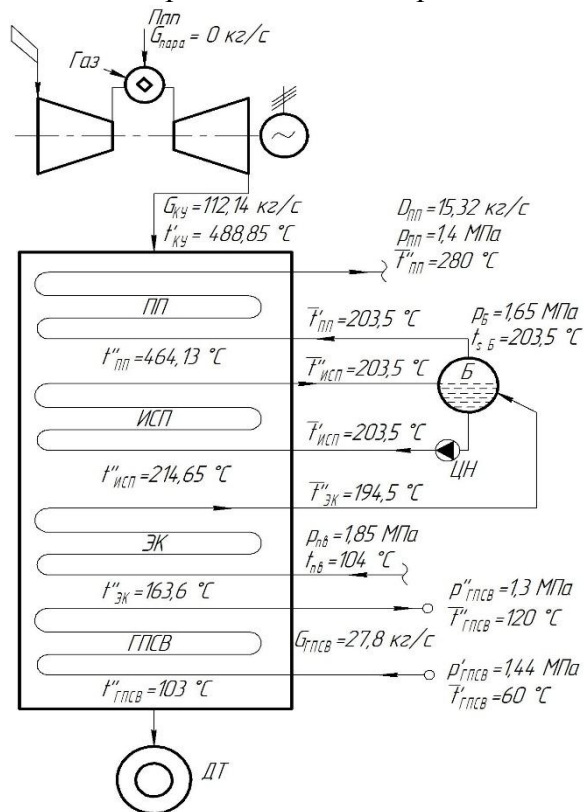


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ГТУ с котлом-утилизатором при работе без впрыска водяного пара в камеру сгорания

ГТУ на параметры работы КУ. Был проведен термодинамический расчет КУ, установленного за ГТУ на базе двигателя НК-37 [4].

Котел-утилизатор типа К-40/1,4-310-435 (модель ТКУ-6) с многократной принудительной циркуляцией предназначен для получения пара за счет теплоты выхлопных газов стационарной газотурбинной установки номинальной мощностью 25 МВт.

Котел-утилизатор состоит из следующих основных частей: водяного экономайзера (ЭК), барабана (Б), циркуляционного насоса (ЦН), испарителя (ИСП), пароперегревателя (ПП) и газового подогревателя сетевой воды (ГПСВ). Дымовые газы после КУ через дымовую трубу (ДТ) отводятся в атмосферу.

Схема ГТУ с КУ приведена на рисунке 1.

Основные технические характеристики КУ:

- номинальная паропроизводительность, т/ч	-	40,0;
- температура перегретого пара, °С	-	280;
- давление перегретого пара, МПа	-	1,4;
- температура питательной воды, °С	-	104;
- температура уход. газов при номинальной нагрузке (при работающем ГПСВ), °С	-	103;
- производительность ГПСВ, т/ч	-	100;
- давление сетевой воды, МПа	-	1,37 +/- 0,07;
- температура сетевой воды, °С на входе / на выходе	-	60/120.

Расчет КУ проводился при фиксированных параметрах (давление, температура) перегретого пара, питательной и сетевой воды. Для удобства сравнения результатов расчета было принято, что генерируемый КУ пар в полном объеме проходит через пароперегреватель, минуя байпасную линию. Методика расчета КУ приведена в [5].

Основные результаты проведенного расчета КУ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты теплового расчета КУ

Параметр	Значение параметра при расходе впрыскиваемого пара $G_{пара}$, % от расхода воздуха, поступающего в КС ГТУ				
	0	1	2	3	4
Расход впрыскиваемого пара $G_{пара}$, кг/с	–	0,885	1,769	2,655	3,539
Паропроизводительность КУ $D_{ПП}$, кг/с	15,32	15,63	16,19	16,97	17,44
Тепловосприятие ГПСВ $Q_{ГПСВ}$, МВт	7,03				
Тепловосприятие ЭК $Q_{ЭК}$, МВт	6,01	6,13	6,35	6,65	6,84
Тепловосприятие ИСП $Q_{ИСП}$, МВт	30,24	30,86	31,96	33,50	34,44
Тепловосприятие ПП $Q_{ПП}$, МВт	3,10	3,17	3,28	3,44	3,53

Используя полученные данные построены $Q-t$ - диаграммы тепловосприятия поверхностями нагрева котла (рисунок 2).

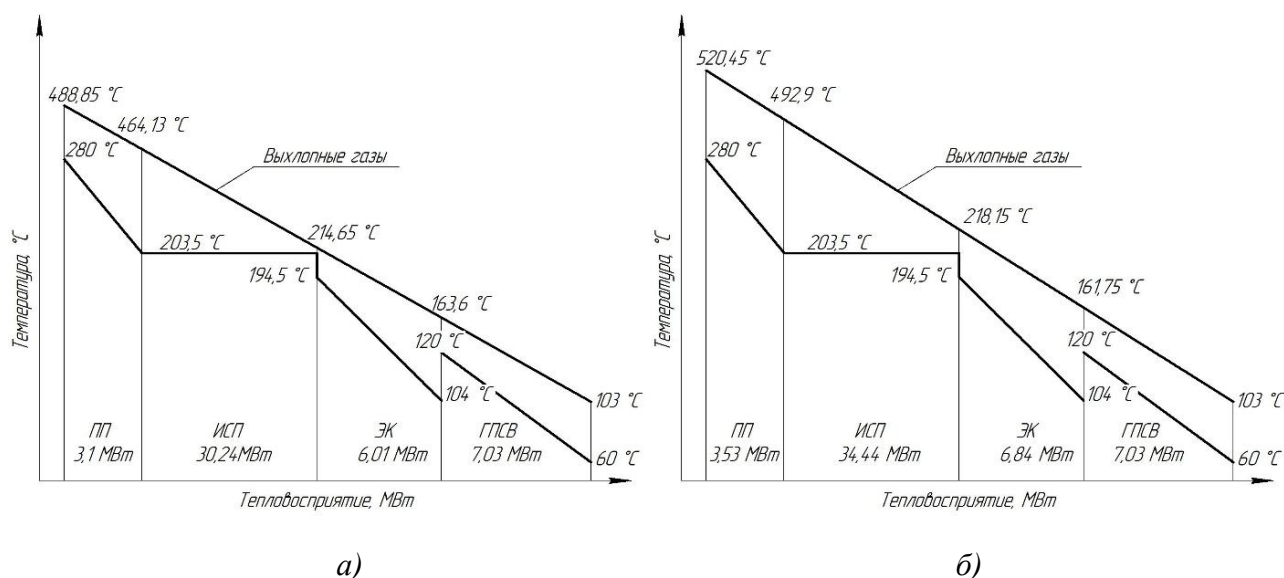


Рисунок 2 – $Q-t$ – диаграмма тепловосприятия поверхностями нагрева котла
 а) - при работе ГТУ без впрыска водяного пара в камеру сгорания;
 б) - при работе ГТУ $c = 4\%$ от расхода воздуха, поступающего в КС ГТУ

Выводы:

1. Выполнен термодинамический расчет котла-утилизатора ТКУ-6, установленного за ГТУ-25 на базе авиационного двигателя НК-37. Установлено, что при применении впрыска водяного пара в камеру сгорания ГТУ эффективность работы котла-утилизатора повышается. При впрыске водяного пара в камеру сгорания НК-37 в количестве 4% от объема воздуха, подаваемого в камеру сгорания, тепловосприятия поверхностей нагрева КУ увеличиваются: экономайзера с 6,00 до 6,85 *MВт*, испарителя с 30,24 до 34,44 *MВт*, пароперегревателя с 3,10 до 3,53 *MВт*. Наблюдается рост паропроизводительности КУ на 13,8 % (с 15,32 до 17,44 *кг/с*).

2. Применение впрыска водяного пара в камеру сгорания ГТУ оказывает влияние как на экологические, так и на энергетические показатели работы установки: позволяет поддерживать концентрацию оксидов азота в выходных газах в пределах нормы, приводит к росту мощности газотурбинной установки, паропроизводительности КУ, снижению удельного расхода топлива на выработку электрической и тепловой энергии.

Список литературы

1. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. [Текст] / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов // М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 584. с.
2. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование. [Текст] / А.А. Кудинов // М.: ИНФРА-М, 2012. – 325 с.
3. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. [Текст] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина // М.: Машиностроение, 2011. – 374. с
4. Кудинов, А.А. Анализ применения впрыска водяного пара в камеру сгорания газотурбинной установки на базе двигателя НК-37. [Текст] / А.А. Кудинов, С.П. Горланов // Промышленная энергетика, 2013. – № 7. – С. 23-27.
5. Кудинов, А.А. Повышение эффективности работы котла-утилизатора К-40/1,4-310-435 при впрыске водяного пара в камеру сгорания ГТУ. [Текст] / А.А. Кудинов, С.П. Горланов // Материалы всеросс. научн. конференции молодых ученых в 10 ч. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – Ч.5. – С. 18-21.

Кудинов Анатолий Александрович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой Тепловые электрические станции Самарского государственного технического университета (СамГТУ); дом адрес: 443001, г. Самара, ул. Братьев Коростелевых, д. 117, кв. 12; тел.: 332-42-31; 273-66-21; e-mail: tes@samgtu.ru.

Горланов Сергей Петрович, аспирант кафедры Тепловые электрические станции Самарского государственного технического университета; дом адрес: 443083, г. Самара, ул. Физкультурная, д. 72, кв. 52; тел.: 8(917)9439790.

УДК 669.017

СПОСОБЫ ВНЕШНЕГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕТАЛЛ ПОДЛОЖКИ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ

Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю.
Россия, г. Тверь, ТвГТУ

В статье рассмотрен вопрос выбора сварочного оборудования для наплавки и восстановления поверхностей.

The article considers the question of choice of welding equipment for built-up and surface restoration.

Ключевые слова: наплавка, сварка.

Keywords: built-up, welding.

В последнее время, как в России, так и в других странах, ведется интенсивная научно-исследовательская работа по поиску технологий наплавки. Это относится как к изготовлению наплавленного металлорежущего инструмента, так и к восстановлению элементов крупногабаритных конструкций и технологического оборудования, подвергающихся износу различного рода. На данный момент технологии наплавки не могут препятствовать усталостному разрушению (растрескиванию) соединений из-за дефектов наплавки и неблагоприятной структуры основного металла. [1, 2, 3]

Существуют методы воздействия на процесс кристаллизации металла в процессе наплавки, из которых можно выделить два основных направления: металлургический, связанный со свойствами металла и технологический, характеризующийся способами воздействия на металл.

Из существующих методов воздействия на процесс кристаллизации металла сварочной ванны можно выделить два основных пути: металлургический, который связан со свойствами металла и технологический, определяющий способы воздействия на металл.

Металлургический путь основан на применении металла с природно-мелким зерном, либо модифицировании сварочной ванны химическими элементами через присадочную проволоку [4], флюсы или специальные пасты [5], [6] либо с помощью введения соответствующих порошковых материалов непосредственно в хвостовую часть ванны [7]. В некоторых случаях ограничивают содержание примесей, способствующих росту зерна при нагреве.

Технологический путь включает не только способы оптимизации технологических параметров наплавки, которыми занимались многие исследователи в течение продолжительного времени. Сюда можно добавить и методы внешнего силового, теплового [8] или электромагнитного воздействия на расплав в процессе его кристаллизации [9].

Наиболее оптимальным в плане модификации металла шва методом, применяемым в последнее время, как показывает анализ литературных источников, является метод внешнего периодического воздействия. [10]

Из множества известных способов периодического воздействия можно выделить две основные группы: контактные способы ввода возмущения в ванну и бесконтактные. Каждая из этих групп может быть разделена по ряду других признаков.

В качестве примера из группы контактных можно привести способы ультразвуковых высокочастотных колебаний сварочной ванны, изделия или электрода, либо механических низкочастотных колебаний изделия или электрода.

Ввод механических или упругих колебаний в сварочную ванну представляет основную трудность при использовании контактных способов. Малый объем сварочной

ванны и наличие источника нагрева с высокой концентрацией энергии приводит к усложнению конструкций волноводов и влияет на технологичность процесса. Другой особенностью является эффективность механического или ультразвукового воздействия на процесс кристаллизации.

Бесконтактные способы, к которым можно отнести наплавку с применением внешнего электромагнитного поля, наплавку модулированным током, а также применение лучевых источников нагрева, работающих в импульсном режиме в виде светового, лазерного либо электронного луча, лишены многих указанных выше недостатков. Устройства для их реализации весьма просты, универсальны и не требуют больших изменений в технологическом процессе. [11]

Импульсный режим процесса наплавки плавлением или наплавки широко используется в заготовительных операциях машиностроения, а также при восстановлении внешней поверхности готовых деталей различных форм. В некоторых случаях этот процесс является незаменимым, особенно при исправлении дефектов поверхности, представляющих собой точечные недоливы после литья.

Другим важным моментом импульсной наплавки является регулирование энерговклада в основной металла, позволяющего снижать уровень остаточных деформаций и величину сварочных напряжений, которые оказывают значительное влияние на качество металла наплавленного слоя. Кроме того импульсная наплавка обеспечивает получение качественного слоя металла, который обладал бы не только высокими механическими свойствами, но и не имел бы трещин в литой структуре. При этом хорошо известно, что образование трещин в наплавленном слое не только снижает, например, предел выносливости всего изделия в 20 раз по сравнению с бездефектным изделием, но и может приводить к разрушению сложной конструкции в целом в процессе эксплуатации. [12]

Структурные изменения в наплавленном соединении при импульсном воздействии также приводят к предотвращению резкого снижения микротвердости в зоне термического влияния и увеличению усталостной прочности металлов шва в 1,7 раза и зоны термического влияния (ЗТВ) в 1,2 ÷ 1,4 раза. [13]

Таким образом, применение импульсного источника позволяет значительно понизить величину энерговложений при наплавке. Это приводит к уменьшению нагрева металла подложки, что непосредственным образом связано с глубиной ЗТВ, структурой и твердостью металла в этой зоне.

В итоге, благодаря применению импульсной наплавки становится возможным изготовления изделий и восстановления поверхностей без значительной потери механических свойств.

Список литературы

1. Поздняков, В.Д. Особенности ремонта сварных конструкций из низколегированных сталей: Автоматическая сварка [Текст] / В.Д. Поздняков, С.Б. Касаткин, С.Л. Жданов и др. – М.: Машиностроение, 2005. – № 3. – С. 32-37.
2. Чекотило, Л.В. Продление ресурса эксплуатации колонного оборудования нефтеперерабатывающих производств: Автоматическая сварка [Текст] / Л.В. Чекотило, А.В. Булат, Я.Б. Лебедев и др. – М.: Машиностроение, 2006. – № 10. – С. 30-35.
3. Ющенко, К.А. Продление ресурса эксплуатации крупногабаритных наливных резервуаров для хранения концентрированной серной кислоты: Автоматическая сварка [Текст] / К.А. Ющенко, Л.В. Чекотило, Г.Ф. Настенко и др. – М.: Машиностроение, 2007. – № 9. – С. 41-44.
4. Дзыкович, И.Я. Исследование структуры и условия кристаллизации металла сварных швов на хромоникелевых аустенитных сталях: Автоматическая сварка [Текст] / И.Я. Дзыкович. – М.: Машиностроение, 1962. – №11. – С. 20-25.
5. Медовар, Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов [Текст] / Б.И. Медовар. – М.: Машиностроение, 1966. – 430 с.

6. Патон, Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
7. Ивочкин, И.И. Подавление роста столбчатых кристаллов методом «замораживания» сварочной ванны: Сварочное производство [Текст] / И.И. Ивочкин. – М.: Технология машиностроения, 1965. – №12. – С. 1-3.
8. Влияние воздействия дополнительной газовой струи при сварке в узкий зазор на структуру и химическую неоднородность шва: Автоматическая сварка/ А.С. Павлов, М.М. Штрикман. - М. : Машиностроение, 1991. №11. - 47-50 с.
9. Абралов, М.А. Сварка с электромагнитным воздействием. М.А. Абралов, Р.У. Абдурахманов. – Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1984. – 136 с.
10. Морозов, В.П. Влияние колебательного механизма кристаллизации на процесс измельчения первичной структуры металла шва зоны термического влияния: Наука и образование [Текст] / В.П. Морозов. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – №09. – С. 1-18.
11. Морозов, В.П. Влияние внешнего пульсирующего источника тепла на расплавленный металл сварного шва в процессе его кристаллизации с целью эффективного управления: Наука и образование [Текст] / В.П. Морозов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – №10. – С. 1-22.
12. Морозов, В.П. Особенности процесса кристаллизации металла расплавленной ванны при дуговой импульсно-периодической сварке: Наука и образование [Текст] / В.П. Морозов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – №08. – 16 с.
13. Сараев, Ю.Н. Влияние импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений труб из высокопрочных сталей: Физическая мезомеханика [Текст], Спец. Выпуск / Ю.Н. Сараев, О.И. Слепцов, В.П. Безбородов, И.В. Никонова, А.В. Тютев. – Томск: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2005. – №8. – С. 141-144.

Дожделев Алексей Михайлович, аспирант каф. «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета; тел.: 8 (910) 8478324; e-mail: Cordar@yandex.ru;

Лаврентьев Алексей Юрьевич, д-р техн. наук, доцент каф. «Технология металлов и материаловедение» Тверского государственного технического университета; тел.: 8 (963) 222560; e-mail: lavr_ay@mail.ru.

СЕКЦИЯ №6. ЭНЕРГО – И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ **В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Руководители:

Никольский Олег Константинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, АлтГТУ им. Ползунова И.И., г. Барнаул.

Ефимов Михаил Александрович, кандидат технических наук, профессор ОГАУ, г. Орёл.

УДК 620.92

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Отрощенко А.А., Чернов С.С.

Россия, г. Новосибирск, НГТУ

Имеющийся потенциал возобновляемой энергии в России может быть успешно использован для решения энергетических проблем сельского хозяйства, снижения себестоимости продукции, повышения энергобезопасности регионов. В статье приведен пример эффективного использования ВЭУ для энергоснабжения фермерского хозяйства. Полученный эффект может быть увеличен с учетом использования на более перспективных территориях.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, сельское хозяйство, ветрогенераторы, энергоёмкость

Available potential of renewable energy in Russia can be successfully used for solving energy supply problems of agriculture, reduce production costs, increase energy safety. The article is an example of effective use of wind turbines for farms energy supply. The result can be improved in more promising areas.

Key words: renewable energy, agriculture, wind station, power consumption

Россия обладает уникальными природными ресурсами для развития сельскохозяйственного производства. Посевные площади составляют порядка 1177 тыс. км. При этом в нашей стране имеются значительные запасы энергоносителей, как традиционных, так и возобновляемых, для развития конкурентоспособного агропромышленного комплекса и перерабатывающей промышленности. Однако, современные фермерские хозяйства в России в недостаточной степени обеспечены электроэнергией. Опережающий рост тарифов на коммунальные ресурсы по сравнению с ценами на сельскохозяйственную продукцию негативно влияет на производство. По экспертным оценкам расходы на электроэнергию составляют от 10 до 30% себестоимости продукции фермерских хозяйств. В связи с развитием комплексной механизации всех производственных процессов потребность в энергетических ресурсах возрастает. Энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции, несомненно, зависит от используемых технологий, уровня механизации, региона и времени года. Средние показатели энергоёмкости сельского хозяйства приведены Николаевым В.Г.

Таблица 1 – Энергоёмкость продукции фермерских хозяйств в России

Вид продукции	Энергоёмкость	Ед. изм
Мясо свинины	1950	кВтч/т
Мясо говядины	1000	кВтч/т
Молоко	280	кВтч/т
Яйца	65	кВтч/тыс. шт.
Зерновые	90	кВтч/т
Рыба	100	кВтч/т

Большая часть воздушных электрических линий и трансформаторных подстанций, находящихся на балансе сельскохозяйственных организаций, отработала свой нормативный срок и требует замены. Треть линий электропередачи, принадлежащих муниципальным образованиям, в результате сверхнормативной эксплуатации пришла в ветхое и технически непригодное состояние.

Особого внимания в данной ситуации требует проблема обеспечения надежного электроснабжения сельских регионов, удаленных от централизованных сетей. Одним из вариантов решения этих вопросов является использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения, как в коммунальных, так и в сельскохозяйственных целях. Ветроэнергетические установки являются экологически чистым источником энергии. Применение ВЭУ в системах автономного энергоснабжения позволит в наибольшей степени достичь экономии органического топлива и расходов на электрическую энергию фермерских хозяйств. Ветрогенераторы могут быть использованы в целях:

- освещение жилых и производственных помещений;
- отопление и горячее водоснабжение жилых и производственных помещений;
- аэрация водоемов;
- подъем воды из скважин;
- электрохимическая защита от коррозии стальных трубопроводов

и конструкций.

Ветроэнергетические установки условно можно поделить на два типа: крупные и маломощные. Крупные ВЭУ являются центром мирового внимания. Такие установки используются в европейских странах для выдачи мощности в сеть и покрытия до 20% нагрузки. Ветроустановки малой мощности не предназначены для работы в сети. Переменный характер поступления ветроресурсов требует в данном случае наличия аккумуляторов, способных обеспечивать надежное энергоснабжение потребителей в любое время суток. ВЭУ не требуют отчуждения крупных земельных участков. Использование энергии ветра экологически чистое и безопасное как для населения, так и для скота и сельскохозяйственных насаждений.

Для оценки экономической эффективности использования ветроустановок для энергоснабжения фермерского хозяйства была выбрана Новосибирская область. С учетом тарифов на 2014 год получены следующие затраты на электрическую энергию.

Таблица 2 – Годовые затраты на электрическую энергию

Источник нагрузки	Объем потребления, тыс. кВтч в год	Тариф на электрическую энергию, руб/кВтч	Затраты на электрическую энергию, тыс. руб.
Птичник	312	1, 67	521
Кормоцех и свиарник	212,2		354
Кран погрузки рыбы, раздатчик кормов	108		90
Водокачка	39		65
Коммунально-бытовые расходы	1,4		2
Итого	673	-	1 033

Учитывая, что больший объем работ проводится в светлое время суток, то суммарная нагрузка фермерского хозяйства составляет порядка 200 кВт. Данную нагрузку можно в полном объеме обеспечить с помощью ветроустановки малой мощности. Для применения в Новосибирской области имеется несколько возможных вариантов таких ВЭУ.

Таблица 3 – Варианты ВЭУ в Новосибирской области при нагрузке 200 кВт

№	ВЭУ	Мощность кВт	Число машин	Высота мачты, м	Мин. раб. скорость ветра, м/с	Цена ВЭС, тыс. руб.
1.	Lagerway	80	3	62	4	5 730
2.	Mint Energy	10	25	15	3	7 965
3.	ВЭУ-10000-7 Вертикаль	10	25	15	3	8 568
4.	Dwp -x150	150	2	26	4	10 640
5.	Energy Wind	100	3	30	3	12 413

Наименьшая стоимость станции будет получена при использовании ВЭУ Lagerway. Низкая цена обусловлена тем, что в данном варианте предполагается использование ветрогенераторов из Германии, бывших в употреблении. Наибольшая цена ВЭУ – у компании Energy Wind, что обусловлено высоким качеством продукции. При этом Energy Wind имеет значительный резерв мощности, который, возможно, будет использован в будущем.

Срок эксплуатации ветроустановок в среднем составляет порядка 20 лет. Они требуют минимальных эксплуатационных затрат и, как известно, не имеют расходов на топливо. Ставка дисконтирования принята на уровне 12%. Исходя из этих параметров, для каждого из рассмотренных вариантов ветроустановок были получены следующие показатели экономической эффективности.

Таблица 4 – Показатели экономической эффективности проекта

№	ВЭУ	NPV	PP	DPP
1.	Lagerway	4 792	4	6
2.	Mint Energy	2 797	6	11
3.	ВЭУ-10000-7 Вертикаль	2 258	6	12
4.	Dwp -x150	408	8	18
5.	Energy Wind	-1 175	9	-

По результатам анализа можно сделать вывод, что проект будет иметь положительный экономический эффект в четырех из представленных вариантов. Использование бывших в употреблении ветрогенераторов будет привлекательно для инвесторов, так как соответствует современным стандартам инвестирования – срок окупаемости проекта не превышает 5-7 лет.

Необходимо отметить, что Новосибирская область не является перспективным регионом для развития сельского хозяйства. Согласно исследованиям, в России существуют более перспективные области по развитию этой отрасли: Краснодарский, Алтайский край, Белгородская, Ростовская области, республика Башкортостан.

Данные регионы частично или полностью совпадают с территориями наибольшего потенциала ветроресурсов в стране. Следовательно, установка ветрогенераторов здесь будет иметь большую эффективность, чем проект в Новосибирской области. С увеличением скорости ветра повышается КПД ветроэнергетических установок, а значит снижаются капитальные затраты на строительство ВЭС. Вследствие этого станет возможным снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции и повышение энергетической эффективности на данных территориях.

Список литературы

1. Безруких, П.П. Ветроэнергетика [Текст]: справочное и методическое пособие / П.П. Безруких – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. – 320 с.
2. Баутин, В.М. Энергетика для села. [Текст] / В.М. Баутин, – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 184 с.

3. Николаев, В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития ветроэнергетики в России [Текст] / В.Г Николаев, – М., 2011. – 501 с.

4. Отрощенко, А.А. О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии в РФ [Текст]/ А.А. Отрощенко // Интеллектуальные энергосистемы : материалы 1 междунар. молодеж. Форума. – Томск, 2013.- Т. 2. - С. 79-82.

5. Чернов, С. С. Анализ результативности региональных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности в России [Текст] / С. С Чернов //Стратегия устойчивого развития регионов России : сб. материалов 19 Всерос. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Изд-во ЦРНС, 2014. - С. 23-32.

Отрощенко Алена Александровна, аспирант, ассистент кафедры систем управления и экономики энергетики, Новосибирский государственный технический университет, e-mail: alena.otroshchenko@gmail.com.

Чернов Сергей Сергеевич, канд. экон. наук, заведующий кафедрой систем управления и экономики энергетики, Новосибирский государственный технический университет; 630073 г. Новосибирск, пр. К. Маркса 20; e-mail: chss@ngs.ru.

УДК 651.34

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Никольский О. К., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.
Россия, г. Барнаул, АлтГТУ им. И. И. Ползунова

Сформулированы основные принципы построения системы обеспечения безопасности как компонент сложной человеко-машинной системы "человек-электроустановка-среда". Обоснована структурная и функциональная её схема. Показано, что рассматриваемая система обладает свойствами больших систем.

Ключевые слова: человеко-машинная система, опасность, безопасность, морфологическое и функциональное строение системы

The main principles of system security as a component of a complex man-machine system "man-electrical installation environment." Justified its structural and functional scheme. It is shown that the system possesses the properties of large systems.

Keywords: man-machine system, danger, safety, morphological and functional structure of the system

В настоящее время теория техногенной безопасности детально проработана для отдельных объектов техносферы, включающих:

- объекты технического регулирования (инфраструктуры городов и населенных пунктов, жилье, общественные и производственные здания);
- опасные производственные объекты (энергетика, химические производства и т.д.);
- критические и стратегические важные объекты, потенциальная опасность которых может приобретать масштабы национального или глобального характера; при этом ущербы от возможных аварий и катастроф достигает до 10^{11} руб .

В рамках концепции национальной безопасности ведутся исследования в области создания теории катастроф, включающей научные основы техногенного, экономического и нормативного управления риском. Сущность этих исследований является попытка создания целостной картины безопасности личности и общества, где центральное место в существующей системе ценностей занимает человек. Поэтому опасные техногенные явления, возникающие в процессе той или иной деятельности человека, можно интерпретировать как нарушение права индивидуума на сохранение жизни и его здоровья. Что касается юридических лиц, то здесь может идти речь о нарушении прав на их существование и устойчивое развитие. Другими словами, следствием техногенных

опасностей является утрата физических и юридических лиц возможности выполнять определенные функции. Поэтому понятие опасности связывается с причинением вреда (морального или материального ущерба) людям и организациям. Для снижения возможности причинения вреда или его предотвращения применяются специальные системы обеспечения техногенной безопасности.

Оставляя в стороне различные виды безопасности, (радиационная, химическая и др.), ограничимся рассмотрением объектов опасности электроустановок, негативным фактором которых является неуправляемый (ненормативный) выброс энергии в виде электрического тока (электромагнитного поля), оказывающий поражающее или вредное воздействие на организм человека. С этих позиций систему безопасности электроустановки можно характеризовать в виде некоторой совокупности организационных и технических мер, направленных на снижение (предупреждение) появления аварий и их последствий, а электроустановка не должна причинять вреда персоналу, населению и окружающей среде, как при нормальной её эксплуатации, так и в случае наступления аварийных ситуаций.

В общем виде будем рассматривать систему обеспечения безопасности электроустановок (СОБЭ) как сложную систему, представляющую совокупность компонентов (элементов), объединенных общими ресурсами, связями, функциональной средой и целью существования. Причем компонентами СОБЭ будем считать условно неделимые и самостоятельно функционирующие части системы. В свою очередь, используя системный подход, СОБЭ может рассматриваться также как некоторая подсистема, входящая в более сложную человеко-машинную систему (рис. 1).

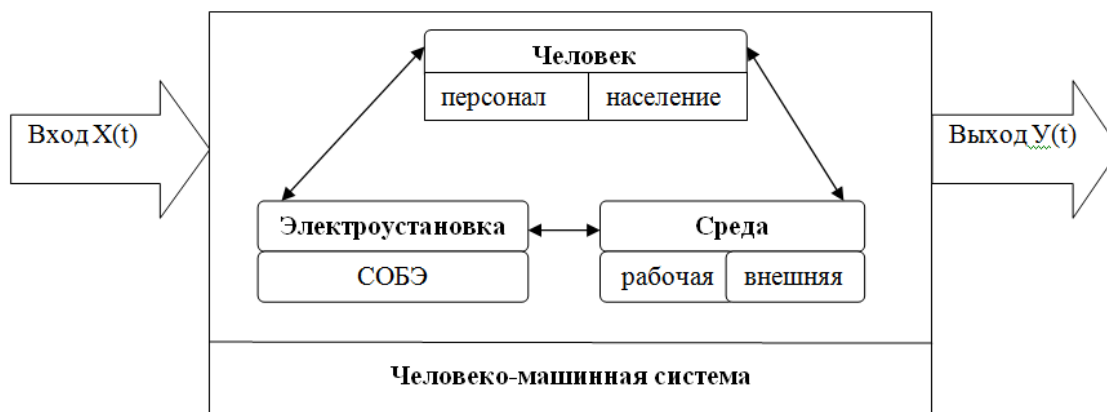


Рисунок 1 – Структурная схема системы (Ч - Э - С)

*вход $X(t)$ - воздействия на систему со стороны внешней связи;
выход $Y(t)$ - возможные отклики исследуемой системы*

Примером такой системы является система «Человек- электроустановка- среда» (Ч-Э-С), обладающая следующими свойствами больших систем [2]:

- уникальностью (аналоги отсутствуют или существенно отличаются от рассматриваемой системы);
- многоступенчатость морфологической и функциональной структуры (выражена иерархия подсистем и их элементов);
- стохастического характера функционирования и реагирования на воздействие случайных факторов;
- неопределенностью, проявляющейся в недостаточности или отсутствии априорной информации;
- многокритериальностью оценки состояния и эффективностью функционирования, приводящей к необходимости использования векторной оптимизации;
- слабой структурированностью и разнородностью образующих ее компонентов;
- диссипативностью, характеризующейся рассеиваемостью части свободной энергии, в том числе в виде тепла, выделяемой в окружающую среду.

Рассматривая СОБЭ как компонент подсистемы «Электроустановка», отметим, что система обеспечения безопасности формально также может быть разделена на части, включающие технические и организационные мероприятия, информационное обеспечение и т.д. [3], т.е., СОБЭ также может рассматриваться как объект исследования, обладающий вышеперечисленными системными свойствами. Процессы, протекающие в ней, имеют вероятностный характер, поэтому важной характеристикой системы является ее состояние, т.е. режим функционирования, при котором её интегральный показатель (например, риск) находится в гомеостазе, а структура системы – неизменна в пространстве и времени. Тогда процесс функционирования (в т.ч. развития) системы может быть представлен как ее перемещение по некоторой траектории, каждая точка которой интерпретируется в виде некоторого вектора (годографа). Для наглядности этот вектор удобно проектировать на какую-либо плоскость пространства, через которого проходит рассматриваемая траектория. При решении практических задач пространство обычно ограничивается незначительным числом возможных состояний человеко-машинной-системы.

Рассмотрим процесс функционирования системы «Ч-Э-С» как последовательная смена ее состояний. При этом каждому диапазону внешних воздействий соответствует одно, вполне определенное состояние системы. Функционирование системы «Ч-Э-С» характеризуется соотношением между энергией внешнего воздействия (возмущения) и собственной энергоемкостью конкретного её состояния. Здесь возможны следующие состояния системы:

- внешняя энергия не превышает пороговых значений - благоприятные условия функционирования системы «Ч-Э-С»;

- энергия воздействия временно превышает пороговые значения с последующим её уменьшением в результате рассеяния или преобразования в другой вид энергии, тогда реакция системы на данное возмущение проявляется лишь в незначительных колебаниях без опасных последствий (устойчивость системы сохраняется);

- внешняя энергия длительно накапливается, компенсационные механизмы системы утрачиваются, происходит скачкообразная структурная перестройка. Наступает так называемое кризисное состояние, характеризующееся как адаптация системы к изменившимся внешним (или внутренним) условиям. При неблагоприятных условиях кризис может привести к значительным изменениям интегрального показателя системы вследствие изменения её морфологии и структуры. В этом случае возникают катастрофы, приводящие к разрушению системы и прекращению ее существования.

Выводы:

1. Потенциальная опасность электроустановок зданий, характеризующаяся повышенным уровнем аварийности, травматизма и пожаров, потребовала пересмотра научно-методических основ, касающихся оценки риска и эффективности средств, направленных на снижение вероятности техногенных опасностей и тяжести их последствий, включая при невозможности компенсации всех видов затрат на создание системы безопасности и предотвращенного ущерба.

2. Рассмотрено морфологическое описание человеко-машинной-системы «Ч-Э-С», одним из компонентов которой является система обеспечения безопасности электроустановок. Показано, что модели «Ч-Э-С» и «СОБЭ» обладают системными свойствами, главным из которых выступает триединство цели, функции и структуры. При этом рассматриваемые системы обладают эмерджентным (неаддитивным) интегральным свойством.

Список литературы

1. Махутов, Н. А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: учеб. пособие [Текст] / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин; под общ. ред. В. В. Клюева. – М: изд. дом, Спектр, 2011.

2. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко.– М.: Наука, 1969.

3. Никольский, О.К. Основы создания оптимальных систем обеспечения электробезопасности [Текст] / О.К. Никольский //Автореф. дисс. ... д-ра. техн. наук.– М: ВИЭСХ, 1979.

Никольский Олег Константинович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129, e-mail: elnis@inbox.ru.

Черкасова Нина Ильинична – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовского индустриального института АлтГТУ им. И.И. Ползунова; г. Рубцовск, ул. Тракторная д. 2/6; тел.: 8(838557)59875; e-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков Анатолий Федорович – кандидат технических наук, докторант кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129, e-mail: elnis@inbox.ru.

УДК 681.2

ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Н. И. Черкасова, А. Ф. Костюков

Россия, г. Барнаул, Алтайский ГТУ им. И. И. Ползунова

Рассмотрена энергоэнтропийная концепция опасности электроустановки, являющаяся компонентом сложной человеко-машинной системы. Сформулированы основные положения этой концепции.

Ключевые слова: энергоэнтропийная концепция, система «Человек-электроустановка - среда», инициирующие события, причинные цепи.

Considered energoentropiynaya concept electrical hazards, a component of a complex man-machine system. The basic features of this concept.

Keywords: energoentropiynaya concept of the "man-electrical installations - Wednesday," triggering events, a causal chain.

Изучение причин аварий и травматизма показало, что среди используемых в настоящее время видов энергии наибольшую опасность представляет энергия электрического тока и электромагнитного поля, носителями которых являются системы электроснабжения и электроустановки [1]. Анализ статистических данных показывает, что характерной чертой аварий, травм и пожаров является некоторая совокупность так называемых инициирующих условий (предпосылок), образующих причинно-следственные цепи. Наиболее типичной причинной цепью представляется последовательность следующих предпосылок:

- ошибки человека (оператора, персонала, населения);
- отказы электроустановок (в т.ч. отсутствие или неисправность средств защиты);
- негативные (сверхнормативные) воздействия факторов внешней среды.

Несмотря на то, что перечисленные причины являются случайными, можно установить присущие им закономерности. Во-первых, возникновение каждого техногенного происшествия следует рассматривать как следствие не отдельных причин, а результат появления цепи соответствующих предпосылок. Во-вторых, все виды опасностей, возникающие в электроустановках, можно интерпретировать как поток случайных событий, количество которых на ограниченном интервале времени (например, одного года) распределяется по закону Пуассона, а время между появлением отдельных происшествий – по экспоненциальному распределению [2]. В основе решения практических задач, направленных на снижения (предупреждения) техногенных опасностей в электроустановке и их последствий, должна лежать методология оценки и управления рисками, включающая в себя обоснование интегрального показателя эффективности систем безопасности с учетом

необходимых затрат и предотвращенного ущерба. В настоящее время сформулирована единая научно обоснованная методология, обеспечивающая закономерности возникновения и развития техногенных опасностей – сущность, которой базируется на так называемой энергоэнтропийной концепции [3]. Применительно к электроустановкам, к основным положениям этой концепции, не противоречащим фундаментальным законам энтропии, отнесем:

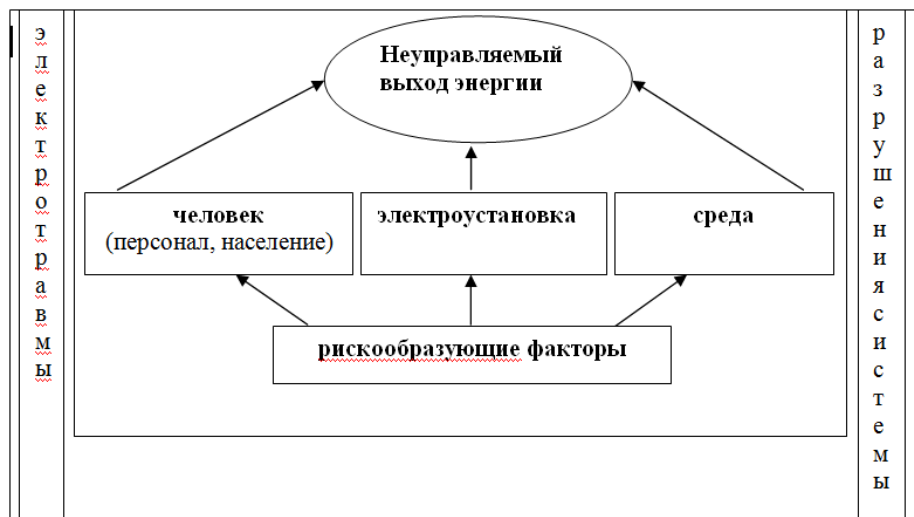
1. Эксплуатация электроустановок потенциально опасна, т.к. связана с электропотреблением и накоплением энергии.

2. Энергия электроустановки обладает свойством переходить в тепло, равномерно распределяемое среди окружающих тел; т.е. система стремится перейти в состояние максимальной энтропии, характеризующее отсутствием энергетических потенциалов. Попытки вывести систему из состояния наибольшей степени дезорганизации требуют преодоления естественных энергетических барьеров и рассматриваются как приводящее ее в неустойчивое опасное состояние.

3. Опасность электроустановки проявляется в результате неуправляемого выброса энергии, накопленной в технологическом электрооборудовании. Выброс энергии приводит к повреждениям электроустановки, электротравматизму людей, загрязнением окружающей среды (пожарам).

4. Возникновение техногенных опасностей обусловлено ошибочными действиями персонала, неисправностью и отказами электроустановок, неблагоприятным влиянием факторов внешней среды.

Таким образом, опасность электроустановок обусловлена естественным стремлением энтропии к постепенному или скачкообразному ухудшению свойств материального объекта из-за разрушения связей между его элементами. Ущерб электроустановки проявляется в процессе ее старения и износа, появления происшествий, которые рассматриваются как результат неконтролируемого высвобождения энергии и опасного её воздействия на человека и среду обитания. Изложенное является основанием считать, что система (Ч-Э-С) относится к категории открытых нелинейных систем, их поведение представляется слабо предсказуемым. Опасные экстремальные явления в электроустановках, связанные с неконтролируемыми выбросами энергии, обуславливаются специфическим режимом функционирования – неустойчивостью техногенной системы, что вызывает поражающие угрозы в виде тяжелых аварий, электротравм и пожаров.



**Рисунок 1 – Иллюстрация техногенных опасностей
человеко-машинной системы (Ч-Э-С)**

Анализ эмпирических распределений опасных выбросов энергии показывает, что эти распределения не описываются нормальным законом, а имеют так называемые «тяжелые хвосты» [4]. Иницирующими или исходными событиями выбросов могут быть внутренние и внешние факторы. Внутренние факторы – это отказы электроустановки и её элементов

(электрической защиты), ошибочные действия персонала и т.д. Внешние факторы опосредованно могут оказывать негативное воздействие на функционирование рассматриваемой человеко-машинной системы (к ним следует отнести состояние законодательной и нормативной базы, макроэкономические показатели региона и др.).

Выделим наиболее типичные виды аварий системы (Ч-Э-С):

- режимные, возникающие при штатном функционировании электроустановки, обеспечивающие прогнозируемые последствия и нормативную защищенность персонала и населения;

- проектные, обусловленные выходом за допустимые пределы эксплуатационных режимов с приемлемым риском и достаточной защищенностью;

- запроектные, вызванные необратимыми повреждениями отдельных элементов электроустановки, гибелью людей и высокими ущербами; Степень защищенности низкая; объекты требуется вывести в ремонт;

- гипотетически экстремальные, характеризуется как не учитывающие проектными решениями возможные варианты и сценарии развития тяжелых аварий и катастроф со значительными человеческими жертвами и потерями, экологическими ущербами; объекты не подлежат восстановительным работам.

В соответствии с рассмотренной выше энергоэнтропийной концепции представляется возможным введение обобщенного понятия безопасности электроустановки, под которой будем понимать имманентное свойство человеко-машинных систем сохранять при ее функционировании в заданных (сложившихся) условиях такое состояние, при котором с достаточно высокой (нормативной) вероятностью исключаются опасные техногенные события, и минимизируется ущерб (непревышающий допустимого уровня) от неизбежных поражающих и вредных энергетических выбросов. Заметим, что при исследовании человеко-машинных систем получили широкое применение метода анализа и синтеза больших систем. Опираясь на эти методы, можно считать, что объектом системного анализа и синтеза является человеко-машинная система (модель «Ч-Э-С»), а предметом изучения – выявление природы объективных закономерностей возникновения и предупреждения техногенных опасностей при её функционировании.

Выводы:

1. Анализ статистических данных о техногенных происшествиях (аварии, травмы, пожары) в электроустановках позволяет выявлять их основные причины. К ним следует отнести: ошибки персонала, отказы системы электроснабжения и техногенного электрооборудования, экстремальные (сверхнормативные) воздействия факторов внешней среды). Эти причины выстраиваются в последовательную цепь предпосылок. Необходимо учитывать, что все технологические процессы (в том числе и обслуживание электроустановок) осуществляются не без участия оператора (электротехнического персонала или населения); их доля ошибок в общих причинах происшествий составляет в среднем 60-70%.

2. Основной опасностью человеко-машинной системы (Ч-Э-С) представляется несанкционированный выброс и последующее распространение потоков электроэнергии, сопровождаемые техногенными происшествиями, гибелью людей, материальным ущербом. Правомерность энергоэнтропийной концепции подтверждается многолетней практикой эксплуатации электроустановок. Эта концепция объясняет противоречие между растущими потребностями людей и увеличением новых для человека вредных техногенных факторов.

Список литературы

1. Карякина, Р.Н Основы электромагнитной совместимости [Текст]: учебник для вузов / Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А. А. Сошников и др.; под ред. Карякина Р.Н. – АлтГТУ им. И. И. Ползунова.– Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007.
2. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. [Текст].

3. Руденко, Ю.Н. Надежность систем энергетики [Текст] / Ю.Н. Руденко, И.А.Ушаков. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

4. Махутов, Н.А. Прочность и безопасность [Текст] / Н.А. Махутов // Фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск: Наука. – 2008.

Черкасова Нина Ильинична, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовского индустриального института АлтГТУ им. И.И. Ползунова; г. Рубцовск, ул. Тракторная д. 2/6; тел.: 8(838557)59875; e-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков Анатолий Федорович, канд. техн. наук, докторант кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: (3852)36-71-29, e-mail: elnis@inbox.ru.

УДК 651.34

О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрена программная реализация метода прогнозирования техногенных рисков в системах сельского электроснабжения на основе теории нечетких множеств. Разработан алгоритм определения показателя интегрального риска электроустановок на основе экспертных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: риск, техногенный, нечеткие, множества, прогнозирование, система

Program realisation of a method of forecasting of technogenic risks in systems of a rural electrical supply on the basis of the theory of indistinct sets is considered. The algorithm of definition of an indicator of integrated risk of electroinstallations on the basis of expert and experimental data is developed.

Keywords: risk, technogenic, indistinct, sets, forecasting, system

Оценка и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса представляет важную задачу стратегического управления техногенной безопасности отрасли. Для оценки интегрального риска R_{Σ} введем пятибальную лингвистическую шкалу (таблица 1) с интервальными значениями согласно нормативно-технической документации [1], [2], [3].

Таблица 1 – Лингвистическая шкала оценки интегрального риска электроустановки

Вид интегрального риска R_{Σ}	Оценка риска [частота событий в год]
Очень малый	Пренебрежительный – ($10^{-7} - 10^{-9}$)
Малый	Приемлемый – ($10^{-5} - 10^{-7}$)
Средний	Допустимый – ($10^{-3} - 10^{-5}$)
Высокий	Неприемлемый – ($10^{-2} - 10^{-3}$)
Очень высокий	Катастрофический – [$>10^{-2}$]

Рассмотрим систему электроснабжения сельских населенных пунктов (сельских поселений). При этом ограничимся воздушными линиями напряжением 0,4 кВ с заземленной нейтралью, питающих от трансформаторных подстанций потребители (производственные и общественные здания и сооружения, частные дома и др.). На рисунке 1 изображена разработанная структурная схема оценки интегрального риска электроустановки (ИРЭ). Структурная схема оценки ИРЭ по рисунку 1 поясняется таблицей 2, которая представлена частично. В таблице 2 представлены рискообразующие факторы (РОФ) системы «Электроустановка» (ЭУ). В таблице 2 ДПВР – доля (вес) в совокупности причин возникновения рисков. ДПВР* – то же самое, но после приведения $X_{13}=0,084$ как наибольшего по величине РОФ в системе к 0,5 (0,5 – значение параметра в окне Membership Function Editor в среде FuzziLogic системы Matlab, обеспечивающее линейность описания поверхности в системе нечеткой логики). Компонент системы «Человек» характеризуется

РОФ $X1 - X12$. Они с помощью промежуточных сверток $Z1, Z2, Z3, Z4, Y1, Y2, S1$ позволяют получить оценку влияния человека на оценку ИРЭ, которая формируется на выходе $S1$.

Аналогично компоненты системы «Электроустановка», «Среда», «Законодательная и нормативная база», «Макроэкономические показатели», «Инновационные показатели» характеризуются, соответственно, РОФ $X13 - X19, X20 - X24, X25 - X27, X28 - X30$ и $X31 - X33$, которые при помощи сверток $Y3, Y4, Y5, S2, Y6, Y7, S3, Y8, S4, Y9, Y10$ позволяют получить оценку влияния ЭУ, среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей на ИРЭ.

На выходе $W1$ получается оценка влияния человека и ЭУ на ИРЭ, а на выходе $W2$ - оценка влияния среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических и инновационных показателей на ИРЭ.

На выходе Q формируется оценка ИРЭ, которая с помощью таблицы 1 преобразуется из оценки риска [частота событий в год] в вид интегрального риска. Таким образом, на выходе системы по рисунку 1 с помощью таблицы 1 получается вид интегрального риска R_{Σ} . Это позволяет применительно к реальным объектам оценивать ИРЭ, что является основанием принятия решения для оптимизации системы безопасности ЭУ.

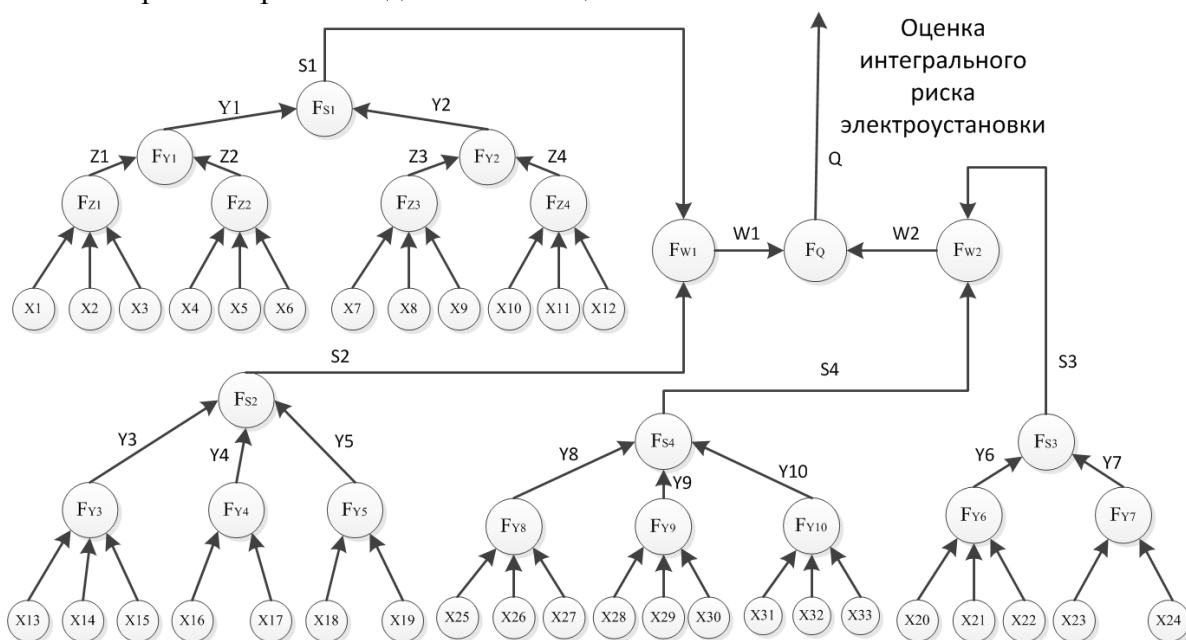


Рисунок 1 – Структурная схема оценки ИРЭ

$X1 - X33$ – рискообразующие факторы; $Y1 - Y7, Z1 - Z4, S4, W1 - W2$ – промежуточные переменные, $F_{Y1}, F_{S1}, F_{S2}, F_{Z1}, F_{W1}, F_{W2}, F_Q \dots$ – свертки РОФ и промежуточных переменных, осуществляемые посредством логического вывода по нечетким базам знаний - нетерминальные вершины, то есть связь между входными и промежуточными переменными; $S1, S2, S3, Y8, Y9, Y10$ – промежуточные переменные формирования влияния на ИРЭ, соответственно, человека, электроустановки, среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей в системе; Q – выходная переменная – интегральный риск электроустановки

Изложенный принцип построения имитационной модели экспертной системы оценки ИРЭ реализован в виде программного комплекса IntRisk на числовом примере, что дало возможность взвешенно подойти к оценке техногенной безопасности производственного объекта. На рисунке 2 приведен пример описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ при изменении $Y10$ в функции $X31$ и $X32$, свидетельствующий о ее высокой линейности. На выходе системы нечеткой логики формируется показатель степени лингвистической оценки ИРЭ по таблице 1 (например, 10^{-7} , где -7 и есть показатель степени лингвистической оценки ИРЭ).

Погрешность определения показателя ИРЭ для разработанной программы не превышает 0,9%, что свидетельствует о высокой точности измерений показателя ИРЭ, а, следовательно, вида интегрального риска R_{Σ} и позволяет производить адекватную оценку и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса и, в конечном счете, управлять техногенной безопасностью отрасли.

Таблица 2 – Рискообразующие факторы системы «Электроустановка»

Компонент системы	Обозначение РОФ	Наименование РОФ	ДПВР	ДПВР*	Лингвистическая оценка ИРЭ
Электроустановка (ЭУ)	X13	Возможность отказа (неназванных) средств электрической защиты	0,084 (0,5/0,084 = 5.95238)	0,084*5,95238=0.5	низкая
					средняя
					высокая
	X14	Длительность воздействия опасных и вредно действующих факторов	0,072	0.428571	малая
					средняя
					большая
	X15	Степень физического износа электропроводки и электрооборудования	0,068	0.404762	низкая
					средняя
					высокая
	X16	Наличие (укомплектованность) средств безопасности электроустановки	0,054	0.321428	неудовлет.
					удовлет.
					хорошее
	X17	Степень морального износа узлов электроустановки	0,047	0.279762	низкая
					средняя
					высокая
	X18	Уровень воздействия в системе источников опасных и вредно действующих факторов	0,041	0.244048	низкий
					средний
					высокий
	X19	Надежность (безотказность) узлов и конструкций электроустановки	0,039	0.232143	низкая
					средняя
					высокая

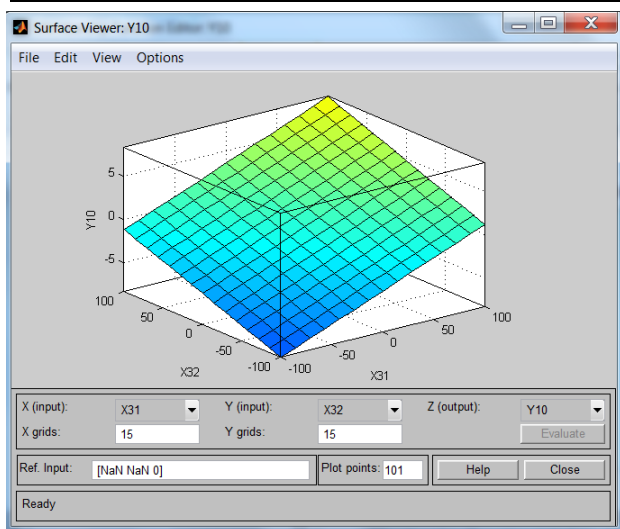


Рисунок 2 – Пример описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ при изменении Y_{10} в функции x_{31} и x_{32}

Нами обследован учебный корпус «В» АлтГТУ им. И.И. Ползунова (г. Барнаул) в программе IntRisk. В качестве экспертов были привлечены Ващев В.В. – руководитель группы по электросбережению и Левченко А.А. – инженер отдела главного энергетика. При обследовании использована электронная база данных АлтГТУ. В ходе обследования выявлены рискообразующие факторы. Получено значение интегрального риска электроустановок корпуса «В» АлтГТУ, Q , равное $10^{-5.8724}$, что свидетельствует о том, что на момент обследования интегральный риск электроустановок в учебном корпусе «В» АлтГТУ ниже средних (средние риски равны $10^{-3.5}$ по таблице 1).

Список литературы

1. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов.

2. Федеральный закон Российской Федерации о пожарной безопасности № 123-ФЗ (Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности»).

3. ГОСТ Р МЭК 60695-1-1-2003. Руководство по оценке пожарной опасности электротехнической продукции. Основные положения.

Воробьев Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта»; тел.: 8(3852)367129; e-mail: vnprol51p@yandex.ru.

Черкасова Нина Ильинична, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(38557)59875; e-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков Анатолий Федорович, канд. техн. наук, докторант кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129; e-mail: elnis@inbox.ru.

УДК 621.311:568.264

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ

Воробьева С.Н., Воробьев Н.П.
Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрена разработка программы по рациональному энергоснабжению потребителя энергии в Алтайском регионе на основе использования альтернативных видов энергии и результаты ее использования.
Ключевые слова: замещаемая, мощность, альтернативные, источники, нечеткая, логика

Program working out on rational power supply of the consumer of energy in the Altay region on the basis of use of alternative kinds of energy and results of its use is considered.

Ключевые слова: замещаемая, мощность, альтернативные, источники, нечеткая, логика
Keywords: replaced, the capacity, alternative, sources, indistinct, logic

Все модули программы находятся в одном файле (Программа.xlsx), а также могут взаимодействовать друг с другом, поэтому их можно считать одной программой.

В программе представлены 3 основных типа ячеек:

- синие ячейки, для введения в них данных;
- желтые ячейки, расчетные ячейки (рассчитываются автоматически при вводе данных в синие ячейки);
- зеленые ячейки, информационные ячейки, с указанными в них рекомендациями по проведению расчетов.

Для примера вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя» представлен на рисунке 1.

Из рисунка 1 следует, что минимальные приведенные затраты, издержки, а также капитальные вложения получаются для варианта биоэлектроустановок.

Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по нечеткой логике» представлен на рисунке 2.

Из рисунка 2 следует, что приведенные затраты на энергоснабжение потребителя с помощью солнечной энергии оказались самыми значительными, а с помощью биоэнергии - минимальными. Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по минимуму приведенных затрат» представлен на рисунке 3.

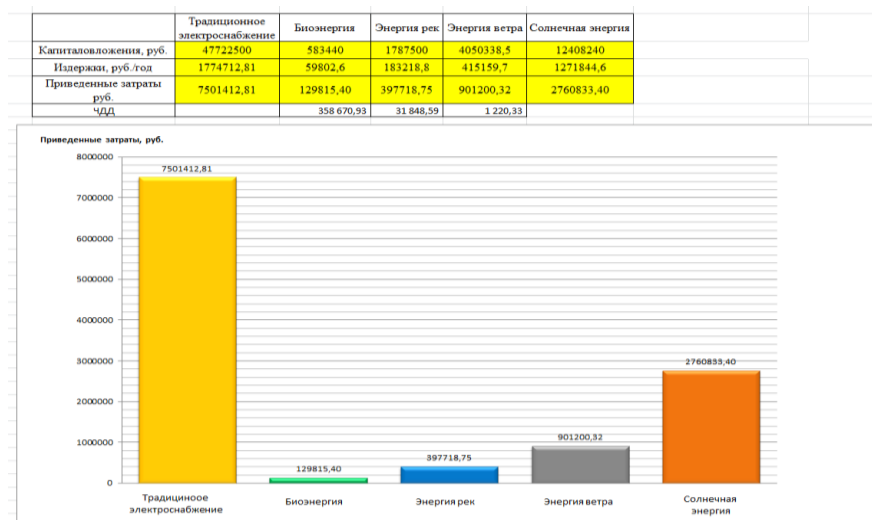


Рисунок 1 – Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и минимума приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя»

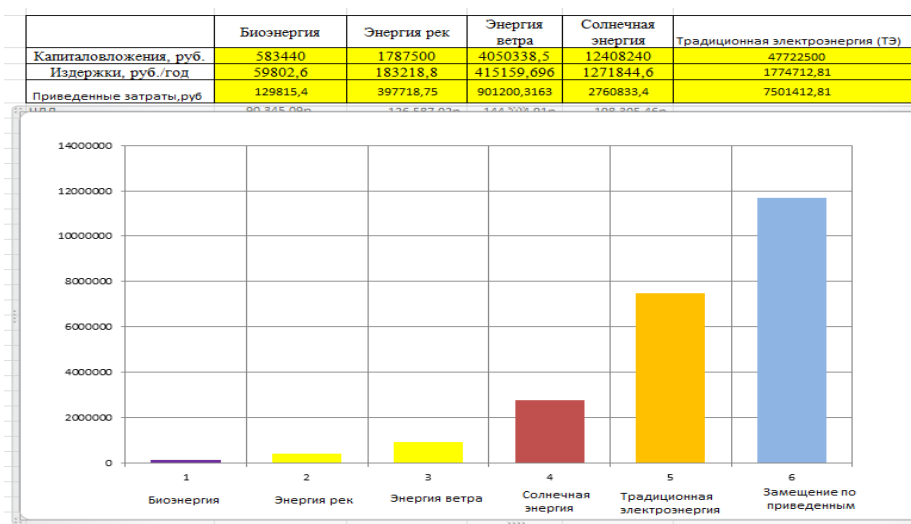


Рисунок 2 - Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по нечеткой логике»

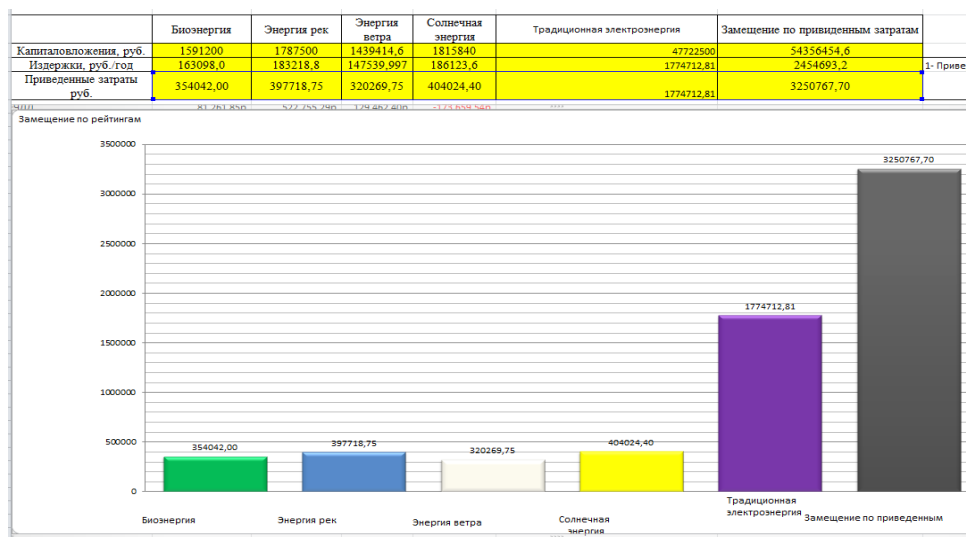


Рисунок 3 - Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по минимуму приведенных затрат»

Из рисунка 3 следует, что приведенные затраты на энергоснабжение потребителя с помощью солнечной энергии оказались самыми значительными, а с помощью энергии ветра – минимальными.

Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по минимуму времени окупаемости» представлен на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует, что приведенные затраты на энергоснабжение потребителя с помощью солнечной энергии оказались самыми значительными, а с помощью биэнергии – минимальными.

Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения» представлен на рисунке 5. В результате трех вариантов расчета затрат по времени окупаемости, по минимуму приведенных затрат, методом нечеткой логики, а также 5 вариантов энергоснабжения от одного источника энергии, получена зависимость распределения суммарных приведенных затрат при различных вариантах смешанного энергоснабжения (рисунок 5).

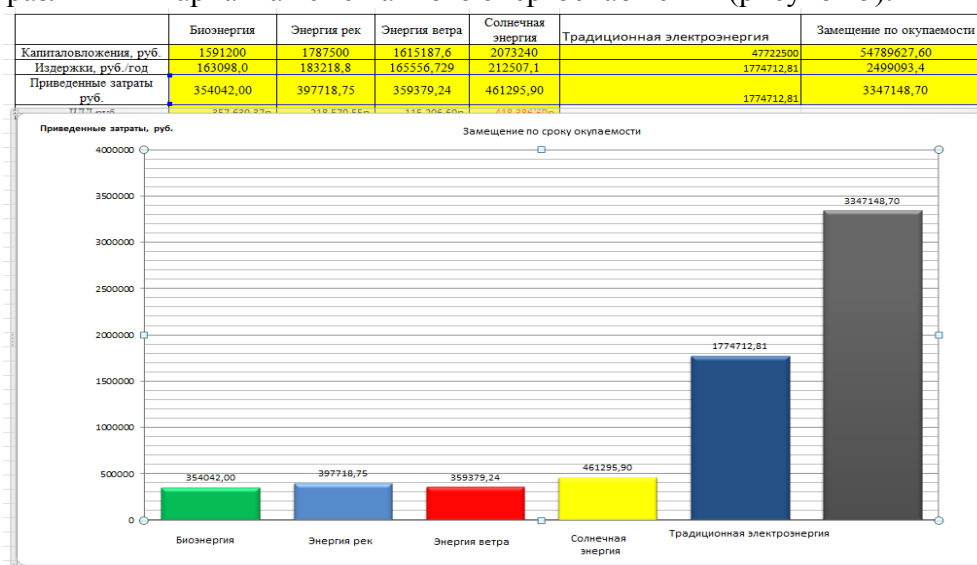


Рисунок 4 - Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения потребителя по минимуму времени окупаемости»

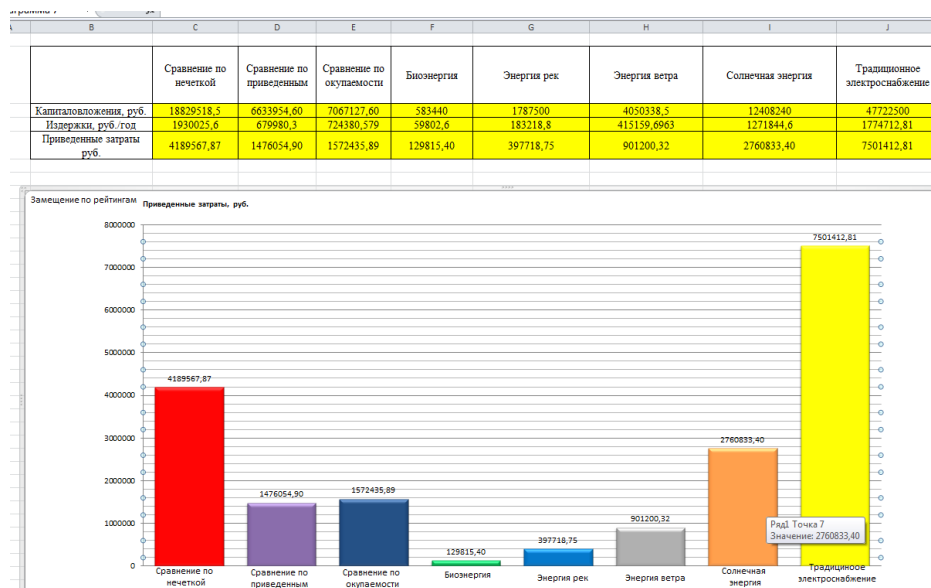


Рисунок 5 - Вид рабочего окна модуля «Сравнение капитальных вложений, издержек и приведенных затрат для различных вариантов энергоснабжения»

Как видно из диаграмм на рисунке 5, минимальные суммарные приведенные затраты получаются при использовании метода замещения электроэнергии по минимуму приведенных затрат. Более дорогим является расчет по минимуму времени окупаемости. Еще более дорогими (в порядке перечисления) вариантами энергоснабжения потребителя являются варианты: по методу нечеткой логики и энергоснабжение от отдельных видов энергии.

Закрывает упомянутый ряд использование электроэнергии, что подтверждает правильность выбранной концепции энергоснабжения потребителя на основе использования альтернативных источников энергии и широкие возможности замещения электрической энергии возобновляемыми источниками энергии.

Воробьева Светлана Николаевна, инженер, тел.: 8(905)9243983.

Воробьев Николай Павлович, д-р техн. наук, доцент кафедры «Электрификация производства и быта», профессор АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: служ. 8(3852)367129, т. 8(961)9999304; e-mail: vnprol51p@ya.ru.

УДК 621.311:568.264

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЕЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ИСТОЧНИКА ТРАДИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Воробьев Н.П., Воробьева С.Н.

Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрено определение замещаемой мощности альтернативных источников энергии и источника традиционного электроснабжения на основе системы нечеткой логики, по приведенным затратам и по сроку окупаемости проектов.

Ключевые слова: замещаемая, мощность, альтернативные, источники, нечеткая, логика

Definition of replaced capacity of alternative energy sources and source of a traditional electrical supply on the basis of system of indistinct logic, on the resulted expenses and on a time of recovery of outlay of projects is considered.

Keywords: replaced, the capacity, alternative, sources, indistinct, logic

При электроснабжении сельских потребителей энергии, имеющих источник традиционного электроснабжения, важно предоставить потребителю различные варианты проектов электроснабжения, отличающиеся величиной затрат, надежностью электроснабжения и сроком окупаемости проектов, с тем, чтобы потребитель сам мог выбрать наиболее приемлемый для него вариант электроснабжения.

Определение замещаемой мощности для каждого из видов альтернативных источников энергии и источника традиционного электроснабжения на основе системы нечеткой логики может быть произведено следующим образом:

- 1) с помощью системы нечеткой логики определяют рейтинг каждого из видов источников;
- 2) находят сумму полученных рейтингов;
- 3) составляют пропорции: сумма рейтингов – мощность, необходимая потребителю; рейтинг одного источника энергии - соответствующая ему (искомая) замещаемая мощность того же источника энергии;
- 4) из составленных пропорций определяют замещаемую мощность по каждому из видов источников;
- 5) численное значение замещаемой мощности передают в программу по рациональному энергоснабжению потребителя в Алтайском регионе, выполненную в среде

Excel;

б) получают приведенные затраты на энергоснабжение потребителя для каждого из видов источников.

Выражают замещаемую мощность одного из источников энергии через известные величины:

$$P_{з.и} = \frac{Q_i \cdot P}{\sum Q}, \quad (1)$$

где $P_{з.и}$ - замещаемая мощность одного из источников энергии;

P - мощность, необходимая автономному потребителю;

Q_i - рейтинг одного из видов источников энергии;

$\sum Q$ - сумма рейтингов источников энергии.

Пример вычислений замещаемой мощности для каждого из видов источников энергии по формуле (1) представлен в таблице 1.

Определение замещаемой мощности для каждого из видов альтернативных источников энергии и источника традиционного электроснабжения по минимуму приведенных затрат может быть произведено следующим образом:

1) берут приведенные затраты на основании результатов работы программы по рациональному энергоснабжению потребителя энергии;

2) вычисляют величину, обратную приведенным затратам каждого из источников энергии;

Таблица 1 – Результаты вычисления замещаемой мощности для каждого источника

Рейтинг альтернативных источников энергии:					
солнечной	биоэнергии	рек	ветра	электро-энергии	Сумма рейтингов
48	44	43	49	51	235
Замещаемая мощность, Вт, для					
солнечной энергии	биоэнергии	энергии рек	энергии ветра	электро-энергии	Мощность, необходимая автономному потребителю, Вт
16748,93	15353,19	15004,25	17097,87	17795,7	82000

3) находят сумму величин, обратных приведенным затратам;

4) составляют пропорции: сумма величин, обратных приведенным затратам – мощность, необходимая потребителю; величина обратная приведенным затратам для одного источника энергии – соответствующая ему искомая замещаемая мощность того же источника энергии;

5) из составленных пропорций определяют замещаемую мощность по каждому из видов источников;

6) численное значение замещаемой мощности передают в программу по рациональному энергоснабжению потребителя в Алтайском регионе, выполненную в среде Excel;

7) получают приведенные затраты на энергоснабжение потребителя для каждого из видов источников.

В составленных пропорциях неизвестной величиной является замещаемая мощность одного из источников энергии, которую получают по формуле:

$$P_{з.и} = \frac{G_i \cdot P}{\sum G}, \quad (2)$$

где $P_{з.и}$ - замещаемая мощность одного из источников энергии;

P - мощность, необходимая потребителю;

G_i - величина, обратная приведенным затратам для одного из видов источников энергии;

$\sum G$ - сумма величин, обратных приведенным затратам.

Пример вычислений замещающей мощности для каждого из видов источников энергии по формуле (2) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычислений замещающей мощности для каждого источника

Приведенные затраты, руб.				
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия
129815,40	397718,75	901200,32	2760833,4	1774712,81

Величина обратная приведенным затратам					Сумма величины обратной приведенным затратам
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия	
$7,7 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Замещаемая мощность, Вт					Мощность, автономному потребителю, Вт
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия	
51552,39	16826,7	7425,97	2424,01	3770,91	82000

Определение замещающей мощности для каждого из видов альтернативных источников энергии и источника традиционного электроснабжения по минимуму времени окупаемости может быть произведено следующим образом:

- 1) берут время окупаемости на основании результатов работы программы по рациональному энергоснабжению потребителя энергии;
- 2) вычисляют величину, обратную времени окупаемости каждого из источников энергии;
- 3) находят сумму величин, обратных времени окупаемости;
- 4) составляют пропорции: сумма величин, обратных времени окупаемости – мощность, необходимая потребителю; величина обратная времени окупаемости для одного источника энергии – соответствующая ему замещаемая мощность того же источника;
- 5) из составленных пропорций определяют замещающую мощность по каждому из видов источников;
- 6) численное значение замещающей мощности передают в программу по рациональному энергоснабжению автономного потребителя в Алтайском регионе, выполненную в среде Excel;
- 7) получают приведенные затраты на энергоснабжение потребителя для каждого из видов источников. В составленных пропорциях неизвестной величиной является замещаемая мощность одного из источников, которую получают по формуле:

$$P_{з.и} = \frac{T_{и} \cdot P}{\sum T} \quad (3)$$

где $P_{з.и}$ - замещаемая мощность одного из источников;

P - мощность, необходимая потребителю;

$T_{и}$ - величина, обратная времени окупаемости для одного из видов источников энергии;

$\sum T$ - сумма величин, обратных времени окупаемости.

Пример вычислений замещающей мощности для каждого из видов источников энергии по формуле (3) представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты вычислений замещающей мощности для каждого источника

Срок окупаемости, лет					
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия	
1,1	3,45	6,85	21,44	77,59	
Величина обратная сроку окупаемости					Сумма величины, обратной времени окупаемости
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия	
0,909	0,290	0,145	0,046	0,012	1,4
Замещающая мощность, Вт					Мощность, необходимая потребителю, Вт
Биоэнергия	Энергия рек	Энергия ветра	Солнечная энергия	Электроэнергия	
53079,11	16931,12	8514,75	2722,69	752,21	82000

Таким образом, для оптимизации энергоснабжения потребителей в Алтайском регионе на основе использования альтернативных источников энергии предложена концепция оптимизации, важнейшей составляющей которой явилась разработка методики определения замещающей мощности для каждого из видов источников энергии: на основе системы нечеткой логики; по минимуму приведенных затрат; по минимуму времени окупаемости проекта энергоснабжения потребителя. Использование предложенной концепции позволяет выбрать либо наиболее дешевый вариант (на основе минимума приведенных затрат), либо наиболее надежный (на основе рейтинга источников энергии), либо вариант с минимальным временем окупаемости вложений (на основе минимума времени окупаемости проекта).

Воробьев Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129; e-mail: vnprol51p@yandex.ru.

Воробьева Светлана Николаевна, аспирант кафедры «Электрификация производства и быта», АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел. служ.: 8(3852)367129.

УДК 651.34

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.
Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрена программная реализация метода прогнозирования техногенных рисков на основе теории нечетких множеств в системах сельского электроснабжения. Разработан алгоритм оценки риска в системах сельского электроснабжения 10/0,4кВ.

Ключевые слова: риск, техногенный, нечеткие, множества, прогнозирование, система

Program realisation of a method of forecasting of technogenic risks on the basis of the theory of indistinct sets in systems of a rural electrical supply is considered. The algorithm of an estimation of risk in systems of a rural electrical supply 10/0,4кВ is developed.

Keywords: risk, technogenic, indistinct, sets, forecasting, system

Для повышения экономического эффекта от оптимизации параметров систем сельского электроснабжения (ССЭ) необходимо совершенствовать методы выбора лучшего варианта сети с учетом вероятностного ущерба (риска эксплуатации ССЭ) в рублях. [1] Риск эксплуатации ССЭ зависит от главных показателей функционирования ССЭ: надежности, экономичности, безопасности и качества электроэнергии. На уровень риска эксплуатации ССЭ косвенно влияют также состояние нормативной базы, пожароопасность ССЭ и электропатология животных. Проанализировав одну из работ в области оценки риска

в системах электроснабжения [2], нами выявлены следующие проблемные особенности изложенной в ней методики количественной оценки риска электроснабжения: вычисления по упомянутой методике чрезвычайно трудоемки, занимают много времени и сил и для реальных систем электроснабжения практически не реализуемы.

С целью решения упомянутых проблем в процессе обоснования риска нами разработана структурная схема системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ (рисунок 1).

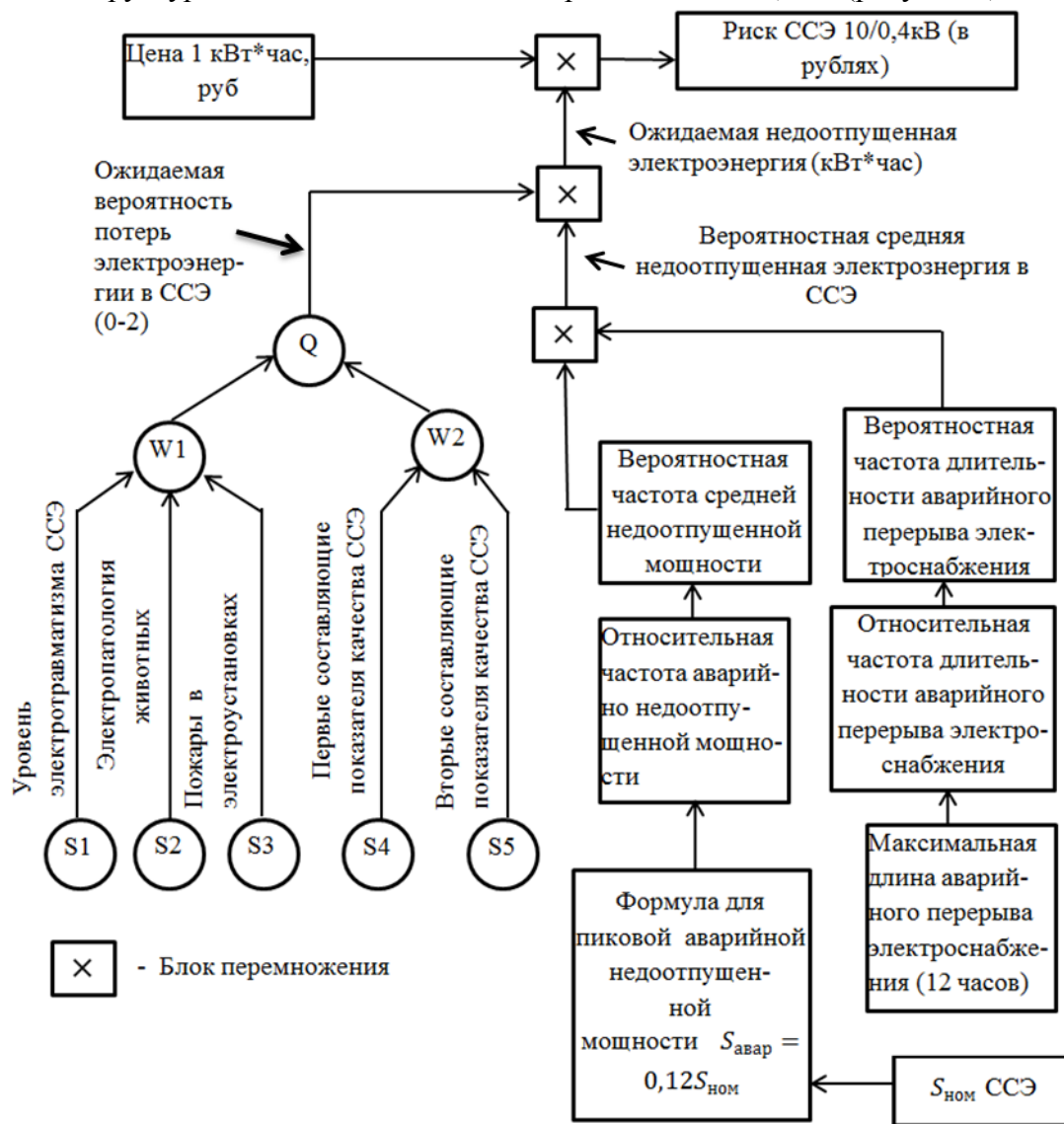


Рисунок 1 — Структурная схема системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ

Q – ожидаемая вероятность потерь электроэнергии в системе сельского электроснабжения; *W1* – оценка опасной техногенной ситуации в ССЭ; *W2* – оценка качества электроэнергии в ССЭ; *S_{ном}* – номинальная мощность; *S_{авр}* – недопоставки аварийной мощности

Она позволяет определить *Q* – ожидаемую вероятность потерь электроэнергии в ССЭ, оценить *W1* – опасную техногенную ситуацию в ССЭ (учитывающую уровень электроотравляемости ССЭ, электропатологию животных и пожары в электроустановках), оценить *W2* – качество электроэнергии в ССЭ, учесть *S_{ном}* – номинальную мощность конкретной ССЭ и *S_{авр}* – недопоставки аварийной мощности в ССЭ.

На рисунке 2, например, представлена разработанная структурная схема для оценки уровня пожаров в ССЭ.

В соответствии с рисунком 2 составлена таблица 1, в которой учтены все влияющие факторы.

В соответствии с изложенным сформирован пакет программ на основе FuzzuLogic по расчету ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ – «OVPE».

Результаты модельных экспериментов по определению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ свидетельствуют о работоспособности системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ, ее высокой линейности и точности по отношению к влияющим факторам, что позволяет оценить риск любой конкретной ССЭ 10/0,4 кВ, а также произвести сравнение различных ССЭ по этому показателю и управлять рисками путем целенаправленного изменения влияющих факторов в системе.

Нами проведена экспериментальная апробация метода определения риска опасной техногенной ситуации (с помощью программы OVPE). Обследовано предприятие «ООО Алтайский дом печати», г. Барнаул. В качестве экспертов участвовали ведущие специалисты упомянутой организации, и ее руководство. Объектом обследования являлись производственные корпуса предприятия. При обследовании использована электронная база данных «ООО Алтайский дом печати». В ходе обследования выявлены рискообразующие факторы. Ожидаемая вероятность потерь электроэнергии составила 0,4956, что ниже среднего значения (равного 1) по рисунку 1, в 2 раза. Следовательно, и техногенные риски «ООО Алтайский дом печати» на момент обследования оцениваются ниже средних по предприятиям аналогичного профиля в 2 раза.

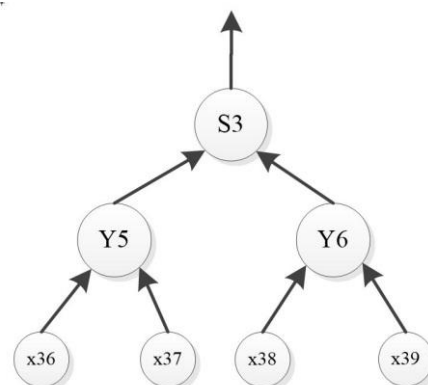


Рисунок 2 — Пожары в электроустановках
S3 – пожары в электроустановках ССЭ

Таблица 1 – Пожары в электроустановках ССЭ

Обозначение промежуточных логических сверток	Наименование промежуточных логических сверток	Обозначение влияющих факторов	Наименование графиков функций принадлежности нечетких термов влияющих факторов
Y5	Свойства сети 0,4 кВ	X36 Зануление	н – установлено
			с – нет данных
			в – не установлено
		X37 УЗО	н – соответствует
			с – нет данных
			в – не соответствует
Y6	Токи в сети 0,4 кВ	X38 [3] В зависимости от конкретного исполнения электропроводки - либо $I_{нтпв} / I_{кз}$, либо $I_{нтпр} / I_{кз}$, либо $I_{нтур} / I_{кз}$	н – 1/3
			с – 0,16
			в – 0
		X39 [3] Отношение верхнего значения тока срабатывания мгновенно действующего расцепителя (отсечки) к ожидаемому току однофазного КЗ	н – 0,9
			с – 0,45
			в – 0
			Примечание: в термах нечеткой логики - н – низкий; с – средний; в – высокий; $I_{нтпв}$ - номинальное значения тока плавкой вставки предохранителя, $I_{нтпр}$ - номинальное значение тока электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, $I_{нтур}$ - значение уставки по току срабатывания расцепителя автоматического выключателя; $I_{кз}$ - ожидаемый ток однофазного КЗ.

Список литературы

1. Лещинская, Т.Б. Методы многокритериальной оптимизации систем электроснабжения сельских районов в условиях неопределенности исходной информации [Текст] / Т.Б. Лещинская. – М.: Агроконсалт, 1998. – 148 с.
2. Мусин, А. Х. Количественная оценка риска электроснабжения городов [Текст] / А. Х. Мусин, С. А. Худорожко // Проблемы энергетики. – 2012. – № 1-2. – С. 95-101.
3. Гончаренко, Г.А. Метод оценки и прогнозирования остаточного ресурса электропроводки на объектах АПК в условиях неопределенности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05. 20. 02 : защищена 10.12.13 : Гончаренко Георгий Александрович. - Барнаул, 2013 - 24 с. – Библиогр.: с. 23.

Воробьев Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129; e-mail: vnprol51p@yandex.ru.

Черкасова Нина Ильинична, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(38557)59875, e-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков Анатолий Федорович, канд. техн. наук, докторант кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129; e-mail: elnis@inbox.ru.

УДК 651.34

МЕТОДИКА НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.
Россия, г. Барнаул, АлтГТУ

Рассмотрены методики оценки техногенного риска систем сельского электроснабжения 10/0,4 кВ и настройки системы нечеткой логики по определению рисков в них.

Ключевые слова: риск, техногенный, нечеткие, множества, прогнозирование, система

Techniques of an estimation of technogenic risk of systems of a rural electrical supply 10/0,4кВ and options of system of indistinct logic by definition of risks in them are considered.

Keywords: risk, technogenic, indistinct, sets, forecasting, system

Системы сельского электроснабжения (ССЭ) характеризуются большим числом аварийных и плановых отключений. Из-за сверхнормативного износа электрических сетей продолжительность перерывов в электроснабжении сельских объектов возросла до 75 часов в год, а потери электроэнергии увеличились на 20 - 25 процентов. [1] Ухудшилось качество электроэнергии (отклонения напряжения потребителей достигают значений от -15% до +15%, несимметрия тока и напряжения и искажение кривых тока и напряжения гораздо выше предельно допустимых значений), что приводит к порче оборудования, браку продукции и дополнительным потерям электроэнергии.

Сельские электрические распределительные сети 10/0,4 кВ, находящиеся в собственности ОАО «Холдинг МРСК», пребывают в крайне тяжелом техническом состоянии. Около 35 - 40 % воздушных линий и трансформаторных подстанций отработали свой нормативный срок. В результате чего обостряются проблемы с надежностью электроснабжения.

Для улучшения состояния сельских электрических сетей необходимо проводить оценку их по многим критериям, оценку вероятности потерь электроэнергии, оценку рисков систем сельского электроснабжения, для чего нами разработан метод определения риска опасной техногенной ситуации в системах сельского электроснабжения.

Метод реализован в структурной схеме (рисунок 1).

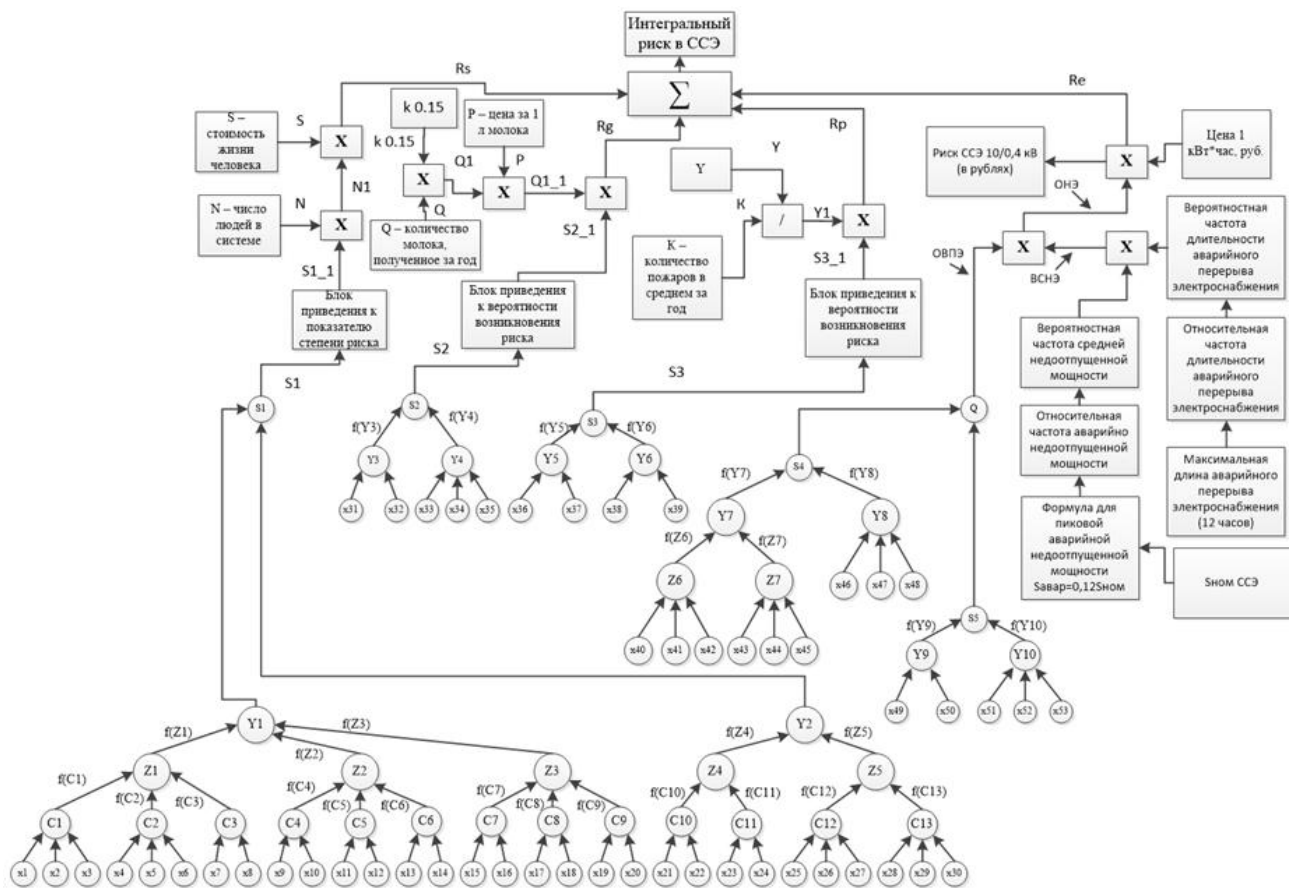


Рисунок 1 — Полная структурная схема системы оценки риска ССЭ 10/0,4кВ

R_s – Ущерб от электротравматизма людей в ССЭ; R_g – Ущерб от электропатологии животных в ССЭ; R_p – Ущерб от пожаров в ССЭ; R_e – Ущерб от снижения показателя качества электроэнергии в ССЭ; $S1_1$ – Показатель степени риска для электротравматизма людей; $N1$ – Число пострадавших в год; $K 0.15$ – Процент снижения удоя молока; $Q1$ – Число недополученного в год; $Q1_1$ – Недополученная прибыль; $S2_1$ – Ожидаемая вероятность возникновения риска для электропатологии животных; $S3_1$ – Ожидаемая вероятность возникновения риска пожаров; Y – Материальный ущерб от пожаров; $Y1$ – Материальный ущерб от одного пожара; Σ – Сумматор; $ОВПЭ$ – Ожидаемая вероятность потери электроэнергии в ССЭ; $ОНЭ$ – Ожидаемая недоотпущенная электроэнергия в ССЭ; $ВСНЭ$ – Вероятностная средняя недоотпущенная электроэнергия в ССЭ; Q – ожидаемая вероятность потерь электроэнергии в системе сельского электроснабжения ($ОВПЭ$); $S_{ном}$ – номинальная мощность в ССЭ; $S_{авр}$ – недопоставки аварийной мощности в ССЭ; $S1$ – уровень электротравматизма ССЭ; $S2$ – электропатология животных в ССЭ; $S3$ – пожары в электроустановках; $S4$ – первые составляющие показателя качества в ССЭ; $S5$ – вторые составляющие показателя качества в ССЭ; $Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Y1, Y2, Y7$ – промежуточные логические свертки; $f(C1) - f(C13), f(Z1) - f(Z7), f(Y1) - f(Y10), f(S1) - f(S5), f(Q)$ – сигналы от промежуточных логических сверток, осуществляемые посредством логического вывода по нечетким базам знаний - нетерминальные вершины, то есть связь между входными и промежуточными переменными; $x1-x53$ – влияющие факторы (ВФ)

Настройка системы нечеткой логики по определению техногенных рисков в системе сельского электроснабжения 10/0,4кВ сводится к следующему. При наилучших значениях ВФ результатом Q_{min} работы системы нечеткой логики по определению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет, например:

$$Q_{max} = 168.7500. \quad (1)$$

При наихудших значениях ВФ результатом Q_{max} работы системы нечеткой логики по определению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет, например:

$$Q_{min} = -168.7500. \quad (2)$$

Так как полученные минимальное и максимальное значения ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ отличаются от требуемого значения (2 и 0), то уравнение для нормирования (приведения к нижней границе ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ) в конце скрипта `cons.m` будем искать в виде:

$$Q = (Q_{mek} + 168.7500), \quad (3)$$

где $Q_{тек}$ – текущее значение ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ;

Q – ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ.

При этом в выражении (3) при нижней границе диапазона ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ будет сформировано $Q = 0$, а при верхней границе диапазона будет сформировано некоторое Q , которое будет отличаться от требуемого максимального значения (равного 2).

Следовательно, необходимо умножить выражение для Q (3) на соответствующий коэффициент x и приравнять к максимальному значению ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ, для которого считаем целесообразно принять не общеупотребительное значение 1, а 2, что обеспечивает возможность корректировки вероятностной средней недоотпущенной электроэнергии в ССЭ в диапазоне $\pm 100\%$ в зависимости от качества ССЭ:

$$(Q_{mek} + 168.7500) * x = 2. \quad (4)$$

То есть:

$$(37.4240+168.7500)*x=2. \quad (5)$$

Окончательно уравнение в конце скрипта `cons.m` запишем в виде:

$$Q = ((Q_{mek} + 168.7500) * 2 / (168.7500 + 168.7500)), \quad (6)$$

или обобщенно в виде:

$$Q = ((Q_{mek} - Q_{min}) * T / (Q_{max} - Q_{min})), \quad (7)$$

где Q – ожидаемая вероятность потерь электроэнергии в ССЭ;

T – диапазон изменения ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ;

$Q_{\text{тек}}$ – текущее значение ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ;

Q_{min} и Q_{max} – значения ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ, соответственно, при наихудших и наилучших значениях ВФ.

[illegible]

Результаты модельных экспериментов по определению уровня ожидаемой вероятности потерь электроэнергии в ССЭ свидетельствуют о работоспособности системы

оценки риска ССЭ 10/0,4кВ, ее высокой линейности, точности и чувствительности по отношению к ВФ.

В результате экспертного обследования корпуса «В» АлтГТУ (г. Барнаул) по предложенной методике (по программе OVPE) установлено, что риск электротравматизма людей равен $10^{-7,07}$ событий в год и соответствует виду интегрального риска «Очень малый». Риск от пожаров в электроустановках равен $10^{-2,25}$ событий в год и соответствует виду интегрального риска «Высокий». Риск от снижения показателей качества электроэнергии в корпусе «В» АлтГТУ ниже среднего (равен 0.4446 при том, что средний риск равен единице), а интегральный риск за год составит 28,15 тыс. рублей.

Список литературы

1. Черкасова, Н.И. Анализ состояния сельских электрических сетей 10 кВ в свете мониторинга отказов [Текст] / Н.И. Черкасова // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.49 - 54.

Воробьев Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(385-2)367129; e-mail: vnprol51p@yandex.ru.

Черкасова Нина Ильинична, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика» Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(38557)59875, e-mail: 4ercas@bk.ru.

Костюков Анатолий Федорович, канд. техн. наук, докторант кафедры «Электрификация производства и быта» АлтГТУ им. И.И. Ползунова; тел.: 8(3852)367129; e-mail: elnis@inbox.ru.

СЕКЦИЯ № 7. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО – И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Руководитель:

Комаристый Александр Семенович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «ЭиЭ» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл.

УДК 658.153:2

ВОПРОСЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБОРОТНЫХ СРЕДСТВ НА СОВРЕМЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Карпычева Е.Ю.

Россия, г. Орёл, ОрёлГИЭТ

В статье рассматриваются вопросы воспроизводства оборотных средств, состав, структура, а также эффективность их использования на предприятии.

Ключевые слова: оборотные средства, состав, структура, управление, концепция, предприятие.

The article deals with the reproduction of the working capital, the composition, structure, and the effectiveness of their use in the enterprise.

Keywords: working capital, composition, structure, management, concept, enterprise.

Развитие социально-ориентированной экономики определяет новые условия ее организации. Неплатежи, высокий темп инфляции и другие кризисные явления вынуждают предприятия изменять свою политику по отношению к оборотным средствам, искать новые источники пополнения, изучать проблему эффективности их пользования. Каждое предприятие для ведения производственной деятельности должно иметь в необходимых размерах оборотные средства. От того, куда вложены оборотные средства, за счет каких источников осуществляется их формирование, во многом зависит финансово стабильное положение предприятия и его платежеспособность [1].

Оборотные средства являются одной из составных частей имущества предприятия. Состояние и эффективность их использования - одно из главных условий успешной деятельности предприятия [3].

Оборотные средства - одна из самых сложных экономических категорий. На протяжении длительного времени выдвигаются различные трактовки этого понятия.

Сироткин С. А. выделяет следующие определения оборотных средств:

- как стоимость товарно-материальных ценностей;
- как стоимость оборотных фондов и фондов обращения;
- как авансированная стоимость, функционирующая в форме оборотных производственных фондов и фондов обращения [4].

В последние годы, как в отдельных предприятиях, так и в целых отраслях национальной экономики сложилась следующие негативные моменты:

- лишение на предприятии собственных оборотных средств;
- прекращение наметившейся тенденции ускорения оборачиваемости оборотных средств;
- использование нерациональной структуры оборотных средств - вследствие несоответствия между материальной и стоимостной их составными частями, а также находящимися в сфере производства и в сфере обращения.
- возникла тенденция сокращения участия ОС в обслуживании материальной сферы и, соответственно, в увеличении их доли в сфере обращения при уменьшении в сфере производства.

В реальных отраслях экономики и национальном хозяйстве в целом преобладающая доля средств находилась в стоимостной форме и в сфере обращения, тогда как их пребывание в натуральной форме и в сфере производства создает более благоприятные условия для их эффективного использования.

Поэтому необходима новая концепция воспроизводства оборотного капитала, соответствующая условиям высокотехнологичной индустриальной экономики. По нашему мнению, при ее разработке следует исходить из целей и задач, стоящих перед национальной экономикой, способствующих выявлению и освоению имеющихся резервов для повышения эффективности использования оборотного капитала.

Такой подход возможен при условии определения оборотного капитала, необходимого для осуществления одного оборота. В этой связи определение его величины должно предусматриваться концепцией воспроизводства оборотного капитала, а не только всей его суммы, являющейся лишь произведением средств, необходимых для осуществления одного оборота, на количество совершенных оборотов.

Новая концепция воспроизводства оборотного капитала должна предусматривать его формирование на основе исчисления его суммы в расчете на 1 руб. реализуемой продукции. При этом за базу можно принять его величину за последние 3-5 лет с учетом корректировки в связи с выявлением и освоением имеющихся резервов повышения эффективности производства. Это обусловлено, прежде всего, необходимостью обеспечения синхронности воспроизводства оборотного капитала и выравнивания оборачиваемости его отдельных элементов и всей его суммы в целом. Достигнуть это можно на основе, как пополнения активов, так и устранения их излишков в разрезе отдельных фаз и стадий кругооборота.

Увеличение производственных запасов приводит к росту платежей, рост незавершенного производства - к замедлению реализации и, таким образом, к уменьшению денежных поступлений. И наоборот, ускорение производственного процесса, уменьшение запасов, увеличение реализации продукции приводят к росту денежных поступлений. В платежах и поступлениях денежных средств каждый момент времени и проявляется движение оборотных средств предприятия. Однако движение материальных ценностей отражается в движении оборотных средств не точно, а именно как динамика платежей и поступлений денег, как результат продаж и покупок. В силу этого на предприятиях сложилась практика обособленной разработки нормативов оборотных средств, кредитных заявок и планов финансирования прироста оборотных средств, что существенно ослабляет планомерную организацию единого процесса и их оборачиваемости.

Применяемые методы нормирования оборотных средств исходят из того, что движение оборотных средств - статический процесс, неизменный на протяжении года или квартала. В основе расчёта норматива лежат средние величины - средний размер поставки, средний интервал между поставками, среднедневной расход материалов, средняя партия отгрузки продукции. В результате норматив отражает не те условия производственной деятельности, которые складываются в тот или иной момент планового периода, а сглаженные, идеализированные условия.

Оперативная хозяйственно-финансовая деятельность должна основываться на оперативных плановых заданиях: месячных, полумесячных, декадных или ежедневных показателях потребности предприятия в оборотных средствах, и определённых на те же даты источников удовлетворения этой потребности (собственные, привлечённые средства, банковские кредиты).

Планирование оборотных средств должно охватывать не только расчёт общей потребности предприятия в средствах, но и источники удовлетворения этой потребности. Прирост собственных источников финансирования оборотных средств и прирост кредитов банка должны быть взаимосвязаны, так как они дополняют друг друга.

Концепция воспроизводства оборотного капитала кроме введения дифференцированной системы учета затрат должна предусматривать обеспечение руководства предприятий оперативной, достоверной и релевантной информацией для принятия

оптимальных управленческих решений. В этой связи необходимо, чтобы предприятия самостоятельно разрабатывали плановые задания по оборачиваемости оборотных средств с учетом обеспечения требования синхронности их кругооборота в разрезе их отдельных фаз и стадий и общей суммы средств в целом. Включение этих плановых заданий в действующую отчетность в сочетании с фактическими показателями оборачиваемости позволит значительно повысить ее информативность при выявлении имеющихся резервов повышения эффективности производства и принятия оптимальных управленческих решений. Это приобретает тем более важное значение в связи с переходом отечественной экономики на международную систему финансовой отчетности.

Основой успешного осуществления расширенного воспроизводства оборотного капитала и решения задач развития является консолидация экономических интересов всех работников разных уровней хозяйствующих субъектов. Поэтому при разработке новой концепции воспроизводства оборотного капитала следует руководствоваться требованиями получения не максимальной прибыли, а добавленной стоимости, в состав которой помимо прибыли должны входить заработная плата и амортизация.

Консолидация интересов будет создавать экономическую основу для успешного воспроизводства оборотного капитала и устойчивого развития предприятия в целом. Принятие рекомендуемой концепции воспроизводства оборотного капитала позволит на базе принципов функционально-стоимостного анализа и моделирования освоить имеющиеся резервы ускорения оборачиваемости и уменьшить потребность в оборотном капитале в целом, в том числе и той его части, которая формируется за счет собственных источников, отказавшись при этом от государственных дотаций на эти цели [2].

Список литературы

1. Булкин, О.А. Дерябина М.А. Направления и методика анализа оборотных средств ОАО «Болховский хлебокомбинат [Текст] / О.А. Булкин, М.А. Дерябина // Научные записки ОрёлГИЭТ. – 2010. – №1 – С. 146-148.
2. Данилин, В.Н. О новой концепции воспроизводства оборотного капитала в современных условиях хозяйствования [Текст] / В.Н. Данилин, Е.И. Данилина // Проблемы современной экономики. – 2012. – №1 – С. 43-46.
3. Коновалова, Г.И. Модель сбалансированного планирования оборотных средств предприятия [Текст]/Г.И.Коновалова//Менеджмент в России и за рубежом. – 2011. – №3 – С. 95-100.
4. Сироткин С.А. Оборотные средства и оборотные активы в современной экономике / С.А.Сироткин // Региональная экономика и управление: электр. науч. журн. – 2007. – №1 (09).

Карпычева Екатерина Юриевна аспирант кафедры «Математика, информатика и информационные технологии» Орловский государственный институт экономики и торговли; 302030, г. Орёл. ул. Набережная Дубровинского д.74, кв. 114; тел. 8(910)3066358; e-mail: katuuffka31@mail.ru.

УДК 338.46:621.31] – 025.13

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СФЕРЕ ПО ПРИНЦИПУ ПЕРФОМАНС-КОНТРАКТА

Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Фелькер В.В.
Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

В статье раскрыта суть инновационного принципа «Перфоманс – контракта» при реализации энергосберегающих проектов в промышленности.

Ключевые слова: инновация, энергосбережение, энергоэффективность.

The article expands the innovative principle of “performance contracts” in the implementation of energy-saving industry projects.

Key-words: innovation, energy conservation, energy efficiency

Федеральный Закон РФ № 261 «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности..», предусматривает применение такой эффективной формы энергосбережения, как перфоманс – контракт, поскольку внедрение этого инновационного проекта, заключается в том, что фактически все затраты на разработку и реализацию проекта компенсируются за счет средств, сэкономленных в результате внедрения на предприятии энергосберегающих технологий, оборудования и мероприятий. Реализация проектов на основании перфоманс-контрактинга осуществляется специализированной энергосервисной компанией (ЭСКО), которая вкладывает собственный капитал во все циклы жизни энергосберегающего проекта.

Перфоманс - контракт самоокупаемый проект. Так как, дивиденды ЭСКО зависят от количества сэкономленных средств.

Основные отличия энергетических перфоманс – контрактов от других проектов заключаются в том, что обычный процесс закупки энергоэффективных усовершенствований требует четырех отдельных требований и выдач заказа. Сначала, Заказчик ищет услуги по инжинирингу для проведения энергоаудита. После его завершения Заказчик выбирает рентабельные усовершенствования и ищет предложения по услугам технического внедрения. Как только Разработчик заканчивает план и спецификации, Заказчик делает, как правило, несколько запросов о ценах подрядчиков, по которым те будут производить усовершенствования. В заключение, Заказчик делает запрос по услугам эксплуатации оборудования, который его собственный штат не может предложить.

Энергетические перфоманс - контракты (ЭПК) заменяют обычную процедуру требований и контрактов на одно единственное предложение, охватывающее все аспекты проекта одним контрактом. Процесс реализации ЭПК начинается с оценки потенциала энергоэффективности предприятия или организации. Если потенциал оказывается значимым, заказчик готовит запрос квалификаций. После получения уведомления о продолжении работы по реализации проекта, ЭСКО производит закупку, монтаж, и запуск энергоэффективного оборудования, а затем приступает к выполнению услуг по обслуживанию и ремонту. На рисунках 1 и 2 показаны, соответственно, - Принципиальная схема реализации проекта «Перфоманс-контракта» и Структурная схема управления и механизм финансирования проектов систем энергосбережения, в организациях реализуемых ЭСКО по принципу Перфоманс – контракта.



Рисунок 1– Принципиальная схема реализации проекта «Перфоманс-контракта»

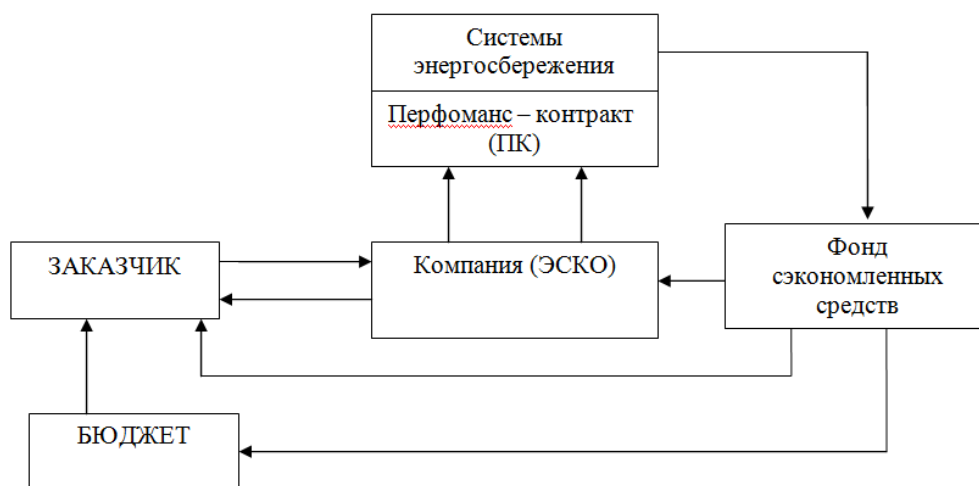


Рисунок 2 – Структурная схема управления и механизм финансирования инновационных проектов систем энергосбережения, в организациях реализуемых ЭСКО по принципу Перфоманс – контракта

Заказчик контролирует ежедневное выполнение обязательств ЭСКО в течение всего процесса реализации проекта. После того, как работа выполнена и принята, Заказчик контролирует выполнение обязательств ЭСКО по обслуживанию и ремонту оборудования, стандарты обслуживания и комфорта, а также уровень достигнутых сбережений ТЭР.

Выгоды от реализации энергетических перфоманс – контрактов наглядно продемонстрированы на рисунке 3.

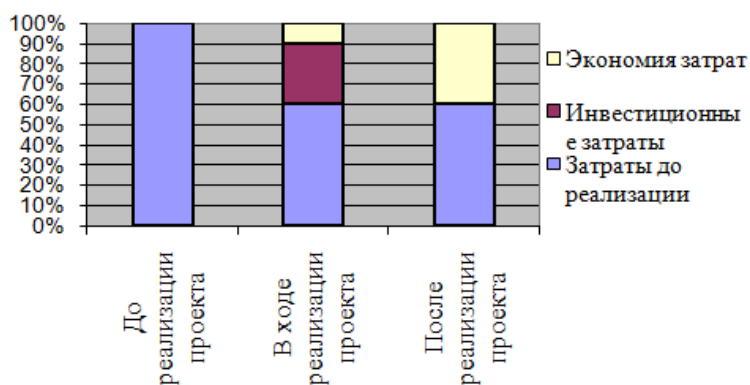


Рисунок 3 – Результаты экономии применения энергетического перфоманс-контракта

Энергетические перфоманс - контракты рационализируя процесс покупки проектов энергоэффективности, сокращают не только затраты, но, что особенно важно и время. Энергосервисная компания берет на себя ответственность за проектирование, монтаж, финансирование, и эксплуатацию всех необходимых усовершенствований. ЭСКО может использовать консультантов и субподрядчиков, но за окончательный результат проекта

отвечает единолично. Это обстоятельство делает проект ЭСКО более удобным в управлении, чем традиционный проект.

В результате повышения уровня эффективности энергопотребления, достигнутого через перфоманс - контракт, технология и оборудование работают эффективнее, служат дольше, и обладают более сильной долгосрочной поддержкой администраторов Заказчика, штата обслуживания, и непосредственно пользователей, чем другие проекты.

Комаристый Александр Семенович, канд. экон. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК; тел.: 8(4862)419830.

Комаристая Людмила Семеновна, ст. препод. кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК; тел.: 8(4862)419830.

Молоканов Евгений Егорович, доцент кафедры Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК, тел.: 8(4862)419830.

Фелькер Виктория Владимировна, студентка группы 31-ЭО, Госуниверситет – УНПК, тел.: 8(953)8146529.

УНИФИКАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»

В статье приведены два блока унифицированных энергосберегающих мероприятий для внедрения в промышленное производство.

Ключевые слова: унификация, энергосбережение.

The article presents 2 blocks of unified energy-saving measures for the introduction in the industrial production.

Key-words: unification, energy conservation

Все процессы, связанные с энергосбережением в любой сфере промышленного производства можно условно разделить на два основных блока:

1. Блок организационных мероприятий:

- внутренний финансовый аудит и определение доли энергозатрат в структуре себестоимости;
- энергетическое обследование предприятия;
- составление энергетического паспорта предприятия и его отдельных объектов;
- разработка мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности применительно к технологическим условиям деятельности предприятия;
- разработка положения о материальном стимулировании получения эффекта от проведения мероприятий повышения энергоэффективности и снижения издержек на приобретение энергоресурсов;
- аудит договоров энергоснабжения предприятия и их оптимизация;
- планирование и организация коммерческого учёта потребления энергии и энергоресурсов;
- планирование и организация технологического учёта потребления энергии и энергоресурсов;
- реализация низкзатратных организационных мероприятий по энергосбережению;
- обучение персонала правилам энергосбережения и рационального использования энергоресурсов;
- информационное обеспечение энергосбережения (регламент совещаний, распространения организационной и технической информации)
- реализация низкзатратной части мероприятий энергосбережения;
- бизнеспланирование мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше 1 года;
- реализация мероприятий повышения энергоэффективности и технического перевооружения со сроками окупаемости свыше одного года;
- мониторинг исполнения внутренних регламентов энергопользования;
- мониторинг исполнения договоров на поставку энергетических ресурсов;
- мониторинг технического состояния приборов учёта потребления энергии и энергоресурсов и системы коммерческих расчетов;
- мониторинг исполнения мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;
- организация финансового и бухгалтерского учёта при реализации мероприятий энергосбережения и повышения энергоэффективности;
- материальное и моральное стимулирование участников энергосберегающих мероприятий.

2. Блок технических мероприятий по повышению энергоэффективности промышленного производства:

- установка узлов учета тепла на предприятии и его объектах (резко снижает затраты на тепло, окупаемость затрат на установку узла учета 2 - 6 месяца, установка узлов регулирования подачи теплоносителя в тепловых пунктах снижает расход тепла на 20-30%);
- технологически оправданная замена систем объемного нагрева на локальные инфракрасные (ИК) системы обогрева (снижает затраты на обогрев помещений в 2 - 3 раза. (Окупаемость 9 –12 месяцев);
- замена традиционных схем обогрева на подогрев полов прокладкой пластиковых труб (снижает издержки на отопление в 1,7 раза. Окупаемость 1 - 2 года);
- установка блочных миникотельных на удалённых объектах (снижает издержки от 2 до 6 раз, окупаемость 1 - 1,5 года);
- установка электротеплогенераторов на базе ГПУ, ГТУ. (снижает издержки предприятия на приобретение электроэнергии, теплоснабжение в 2 – 4 раза. Окупаемость, при оптимальной нагрузке, 2 - 3 года);
- теплоизоляция наружных теплотрасс. (Срок окупаемости - 1 отопительный сезон);
- снижение температуры обратной сетевой воды (подогрев полов помещений, воздуха, поступающего в помещения);
- отбор тепла из промышленных стоков, канализации, технологических сред. (Установка тепловых насосов, окупаемость 6 -12 месяцев);
- замена градирен на пароструйные инжекторы (использование тепла пара, жидкостей для отопления или иных производственных нужд окупаемость 6-12 месяцев);
- внедрение систем частотного регулирования приводов электродвигателей в системах вентиляции, на насосных станциях и других объектах с переменной нагрузкой. (Экономия электроэнергии 40-70%, окупаемость до 1,5 года);
- оптимизация нагрузки низковольтных трансформаторов (до 10% снижения потерь);
- автоматизация управлением вентиляционных систем (снижение потребления 10-15% при окупаемости 5 месяцев);
- установка счетчиков воды на производственных участках, корпусах (снижает расход воды в 2 и более раз. (Окупаемость 2 - 3 месяца);
- внедрение систем оборотного водоснабжения. (Снижает расход воды до 95%, окупаемость до 1 года);
- использование нажимных кранов снижает расход воды в 4-6 раз;
- внедрение схем рекуперации и автоматизации процесса горения в нагревательных и кузнечных печах экономит 30-50% газа;
- внедрение энергоэффективных светильников новых конструкций. Применение люминесцентных ламп снижает потребление в 5 раз, светодиодных светильников в 8 раз. (Окупаемость 1 – 1,5 года);
- внедрение модернизированных пусковых реле. (Снижает потребление в 2,2 раза, увеличивает срок работы ламп в 2 раза);
- внедрение реле – регуляторов светильников снижает расход до 40%. Окупаемость 2 мес.
- регулярная чистка окон (позволяет снизить затраты на освещение на 30-40%);
- покраска стен помещений светлой краской (позволяет снизить затраты на освещение на 10 %);
- применение световолоконной подсветки при освещении подвалов и глухих помещений (позволяет частично отказаться от применения электроосвещения и использовать централизованные светодиодные подсветки в тёмное время суток);
- внедрение графиков отопления, освещения снижает расход до 20% в производственных и до - 40% в административных помещениях.

- использование вторичных энергоресурсов (опилки, щепа в газогенераторных установках, отходы производства в экологических утилизаторах, рекуператоры в системах вентиляции). Стоимость полученной энергии от ВЭР в 3 - 4 раза ниже покупной. (Окупаемость около 2 лет.)
- герметизация зданий (окна, двери, швы, подвалы, выходы вентиляции, инженерных коммуникаций. (снижает потребление тепла на 10-15%. (Окупаемость 2-4 месяца);
- устранение и термоизоляция мостиков холода в конструкциях зданий. (Окупаемость 1-2 месяца);
- использование отработанного тепла холодильников и кондиционеров для подогрева воды;
- установка ИК - отражающего остекления (снижает лучистые потери через окна до 50%, обеспечивает повышение комфортности, как в зимний, так и в летний период);
- мероприятия по теплоизоляции, герметизации, снижению лучистых потерь дают снижение теплотребления в 2-3 раза. (Окупаемость мероприятий 1,5 - 2,5 года);
- установка тепловых насосов в подвалах (обеспечивает дополнительное отопление зимой и снижение затрат на кондиционирование летом. (Окупаемость - до 1 года);
- подогрев притока воздуха в помещение за счёт его подогрева отводимыми газами;
- установка солнечных коллекторов для подогрева воды и отопления;
- применение фотопреобразователей и солнечных батарей для энергообеспечения.

Комаристый Александр Семенович, канд. экон. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК; тел.: 8(4862)419830.

Комаристая Людмила Семеновна, ст. препод. кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК; тел.: 8(4862)419830.

Молоканов Евгений Егорович, доцент кафедры Электрооборудование и энергосбережение», Госуниверситет – УНПК, тел.: 8(4862)419830.

Фелькер Виктория Владимировна, студентка группы 31-ЭО, Госуниверситет – УНПК, тел.: 8(953)8146529.

УДК 338.012

ББК 65.2/ 4

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ЭКОНОМИКИ РОССИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Чернов С.С., Бельчикова Е.С.
Россия, г. Новосибирск, НГТУ

В статье проведен сравнительный анализ экономики РФ с экономиками других стран по показателю энергоемкости. Раскрыта проблематика постановки задачи повышения энергоэффективности российской экономики. Определены основные перспективы программ энергосбережения и повышения энергоэффективности в России.

Ключевые слова: энергопотребление, энергоэффективность экономики, энергосбережение, энергоемкость ВВП, энергоэффективность экономики РФ, программы по энергосбережению.

A comparative study of energy intensity in the economy of Russia and other nations is conducted in the article. The issues of setting increasing the energy efficiency goals in the Russian economy are covered. The main prospects of energy savings and energy efficiency programs in Russia are defined.

Keywords: energy consumption, energy efficiency of economy, energy conservation, GDP energy intensity, energy efficiency of the Russian economy, energy saving programs.

Вопрос повышения энергоэффективности достаточно давно является актуальным для различных стран мира в связи с ухудшением экологической ситуации, результатами оценок запасов ископаемого топлива и значительной волатильностью цен на топливно-энергетические ресурсы. Для России этот вопрос является не менее актуальным, но при этом

имеет свои предпосылки: появившаяся необходимость разработки труднодоступных месторождений ископаемого топлива, зависимость от мировых цен на углеводородное сырье, экологические аспекты. При этом нужно отметить, что реализацию программ повышения энергоэффективности на настоящий момент в стране нельзя назвать успешной. По данным РЭА активность субъектов РФ в разрезе федеральных округов по выполнению региональных программ и мероприятий в рамках ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» по состоянию на март 2012 года составила менее 50%, при этом сам федеральный закон введен в действие в ноябре 2009 года. Фактические данные о выполнении целевых показателей предоставляют только 69,87 % от общего числа субъектов РФ.

С учетом задачи снижения энергоемкости ВВП России на 40 % к 2020 г., поставленной Указом Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889, которая при текущих условиях по прогнозам Минэнерго России не будет выполнена [1], возникает ряд вопросов: действительно ли экономика России менее энергоэффективна, чем экономика других стран? Насколько корректно поставлены задачи в этой области?

Для первичного сравнения экономики России с экономиками других стран было выбрано десять стран с максимальным потреблением первичной энергии в мире [2]. Полученные данные говорят о том, что Россия среди стран с максимальным потреблением первичных энергоресурсов обладает самой энергоемкой экономикой. При этом в выборку попали самые разнообразные страны, отличающиеся по климатическим условиям, размерам территории, структуре экономики и уровню дохода на душу населения. В целом тенденция такова, что большинство стран с максимальным энергопотреблением (6 стран из 10) характеризуются показателем энергоемкости в 2012 году ниже среднемирового (в мире в 2012 году энергоемкость ВВП по ППС в среднем составила 0,15 т.н.э./тыс. \$) [2].

Говоря о корректности поставленных задач в области повышения энергоэффективности в России, следует особо отметить тот факт, что снижение энергоемкости стран с максимальным потреблением первичных энергоресурсов, таких как Китай, Индия, Канада, Бразилия и Корея, сопровождается ростом их энергопотребления. Такое снижение энергоемкости характеризует рост именно энергоэффективности экономики страны – снижение показателя энергоемкости не за счет снижения потребления энергоресурсов, а за счет повышения результативности их использования – за счет роста ВВП. Это обстоятельство приводит к необходимости пересмотреть постановку задачи повышения энергоэффективности в России, которая преимущественно основана на попытках экономии первичной энергии. Эта ситуация становится более чем наглядной при анализе официальной информации о текущем состоянии программ повышения энергоэффективности, а в первую очередь – при анализе целей самой Государственной программы энергосбережения и повышения энергоэффективности до 2020 года.

Основной целью Программы является обеспечение рационального использования топливно-энергетических ресурсов за счёт реализации энергосберегающих мероприятий, повышения энергоэффективности в секторах экономики Российской Федерации и снижения энергоемкости ВВП к 2020 году на 13,5 процентов. В то же время фактические значения показателя отсутствуют, выделяется только планируемый ежегодный процент снижения от уровня 2005 года [3]. Основными индикаторами выполнения Программы являются: обеспечение снижения энергоемкости ВВП; обеспечение годовой экономии первичной энергии; обеспечение суммарной за весь период экономии энергии. Таким образом, вклад запланированных Программой мероприятий в общий объем снижения энергоемкости ВВП на 40 % к 2020 г. за счет энергосбережения составляет 13,5 %. Еще 26,5 % могут быть обеспечены за счет изменения структуры ВВП, автономного технического прогресса, что в совокупности позволит решить задачу, поставленную руководством страны [4]. Но для достижения обозначенных 26,5 процентов не создано конкретной программы, и в рассматриваемом документе об этих 26,5 % речи также не идет. При этом согласно выводам Министерства Энергетики РФ, в снижении энергоемкости российской экономики

с 2000 г. по 2012 г. на 33 % именно структурный сдвиг стал основным фактором: доля промышленности в ВВП сократилась на 4 % за счет роста доли сферы услуг [1].

Таким образом, текущее состояние энергоэффективности экономики России характеризует ее как действительно энергоемкую экономику. Цели, поставленные в рамках нормативного обеспечения программ энергосбережения и повышения энергоэффективности в Российской Федерации, преимущественно соответствуют только первой части названия этих программ – «энергосбережению». Постановка задачи энергосбережения на настоящий момент представляется нецелесообразной по нескольким причинам. Во-первых, для России характерны достаточно низкие уровни электропотребления в бытовом секторе и в отраслях промышленности (в бытовом секторе душевое электропотребление – около 1000 кВт·ч в год; в промышленности – около 7000 кВт·ч в год; в развитых странах этот показатель выше в 4,5 и 2 раза соответственно). При этом расход электроэнергии в бытовом секторе признан экспертами ООН одним из индикаторов уровня жизни населения. Следовательно, повышение уровня жизни населения России приведет к увеличению обеспеченности электроприборами, что вступает вразрез с целями повышения энергосбережения. Во-вторых, рост энергопотребления предприятий и в частности промышленности может определяться расширением масштабов деятельности. Таким образом, при постановке цели в первую очередь экономии энергоресурсов законодательно закрепляется сдерживание экономического роста и развития страны. В противовес энергосбережению, повышение энергоэффективности – действительно актуальная задача, какой бы уровень энергопотребления не был зафиксирован на уровне домохозяйств, предприятий и экономики в целом.

Список литературы

1. Новак, А.В. Итоги работы ТЭК России в 2013 году. Задачи на среднесрочную перспективу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/press/doklady>.
2. Чернов, С.С. Оценка состояния и перспектив повышения энергетической эффективности в России [Текст] / С.С. Чернов, Е.С. Бельчикова // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2014. – № 2 (27). – С. 76–80.
3. Чернов, С.С. Состояние энергосбережения и повышения энергоэффективности в России [Текст] / С.С. Чернов // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2013. – № 4 (25). – С. 136–140.
4. Государственная программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rosenergo.gov.ru/info/docs>.

Чернов Сергей Сергеевич, канд.экон. наук, доцент, заведующий кафедрой Систем управления и экономики энергетики факультета Энергетики Новосибирского Государственного Технического Университета; 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, к.2; тел.: 2917901; e-mail: chss@ngs.ru.

Бельчикова Екатерина Святославовна, аспирант, ассистент кафедры Систем управления и экономики энергетики факультета Энергетики Новосибирского Государственного Технического Университета; 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, к.2; тел.: 2917901; e-mail: belchikova@mail.ru.

УДК 004.057.4

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ О НАРУШЕНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ЗАДАЧАХ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Шульгин Р. Н.

г. Орёл, Академия ФСО России

В статье рассматривается архитектура программного средства анализа процессов о нарушениях функционирования в задачах энерго- и ресурсосбережениях, базирующаяся на разработанных модели

и алгоритме и отличающаяся решающими правилами в системе принятия решений по административному управлению вычислительной сетью АСУ ПХД.

Ключевые слова: нарушения, поток запросов, процесс информационного обмена, производственно-хозяйственная деятельность.

In article the architecture of a software of the analysis of processes about functioning violations in tasks power - and the resursoberezheniyakh, based on developed model and algorithm and differing by decisive rules in decision-making system on administrative management by the PHD ACS computer network is considered.

Keywords: violations, stream of inquiries, process of information exchange, production economic activity.

Введение

Современное газотранспортное предприятие представляет объект со сложной инфраструктурой и отличается функциями административного аппарата и функциями филиалов (подразделений). Каждое подразделение имеет цеховую и административную структуры. Возникновение множества подуровней управления состоит в географической распределенности, которая затрудняет коммуникации и оперативное управление филиалами [1].

Из-за прогресса в технологиях сбора и обработки данных число конечных точек в вычислительных сетях АСУ ПХД растет и моделирование таких сетей становится затруднительным как для прогнозирования, так и для анализа. В вычислительных сетях АСУ ПХД трудно определять нагрузку между каждой парой оконечных точек. При использовании соединений «точка-точка» увеличивается сложность определения требований к качеству обслуживания. Для этого предлагается использовать гибкую модель услуги вычислительных сетей АСУ ПХД, которая названа потоком [2].

Диагностирование состояний и защита сетевых ресурсов в компонентах вычислительной сети газотранспортного предприятия требует оперативного выявления состояний компонентов, приводящих к потере ее работоспособности, являющихся следствием отказов оборудования, сбоев программного обеспечения и приложений, проникновения вирусов и результат получения несанкционированного доступа. Обнаружение этих состояний позволит своевременно выявить причину и нейтрализовать возможные последствия.

Проблемам информационного обмена в интегрированной информационной среде промышленных предприятий посвящен целый ряд работ [3-7]. Однако за рамками их рассмотрения остаются вопросы критериев оценки нарушений функционирования и своевременности их обнаружения.

Постановка задачи

Для обеспечения функциональности разработанной модели сбора и анализа данных о нарушениях функционирования и алгоритма обработки данных о нарушениях функционирования элементов вычислительной сети разработана архитектура подсистемы контроля нарушений функционирования, состоящая из следующих компонентов: агентов анализа нарушений функционирования; подсистемы управления ресурсами; подсистема визуального отображения и анализа данных. На рисунке 1 изображена связь между ними.

Формулировка требований к программному средству анализа нарушений функционирования. Основу программного средства составляет подсистема контроля нарушений функционирования, дополняющая функции систем, используемых в данный момент в сетях для решения вопросов диагностирования и позволяет существенно повысить эффективность решения вопросов выявления нарушений.

На подсистему контроля нарушений функционирования целесообразно возложить следующие задачи: осуществление мониторинга функционирования вычислительной сети АСУ ПХД; определение степени защищенности ресурсов сети.

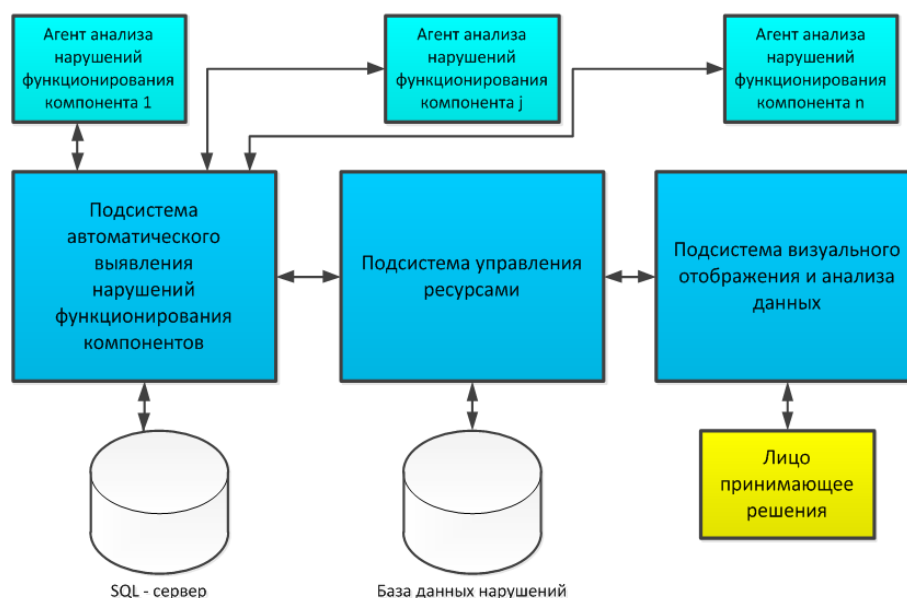


Рисунок 1 – Общая архитектура ПКНФ

Эти задачи могут решаться в системе аудита вычислительной сети на основе: автоматизированного выявления нарушений нормального функционирования в отношении подсистемы управления, основанного на предпочтениях лица принимающего решения; анализа истории сетевых взаимодействий, позволяющего оценивать различные аспекты функционирования подсистемы управления

Подсистема контроля нарушений функционирования должна стать инструментом, позволяющим сетевому администратору обнаруживать наличие нарушений нормального функционирования по отношению к подсистеме управления, определять их причины, оценивать текущее и предыдущие состояния компонентов вычислительной сети. Информация, полученная с помощью подсистемы контроля нарушений функционирования, позволяет сетевому администратору корректировать настройки сетевых компонентов, программного обеспечения и средств защиты. Таким образом, работа сетевого администратора становится более эффективной для решения задач по диагностированию и защите ресурсов сети.

Источником таких данных для подсистемы контроля нарушений функционирования является поток передачи данных, который извлекается из сетевой среды, структурируется и сохраняется в базе данных. Отмечается, что подсистема контроля нарушений функционирования обнаруживает распределенные во времени нарушения нормального функционирования со сдвигом по времени, что обусловлено самой природой нарушений нормального функционирования, а не в реальном масштабе времени.

Подсистема контроля нарушений функционирования способна обнаружить нарушения нормального функционирования в момент их появления (фиксация факта нарушения нормального функционирования при проникновении в сети вируса), или по их дальнейшему проявлению (фиксация факта размножения вируса).

Подсистема управления для регистрации нарушений функционирования представлена в виде отдельных программных модулей, которые интегрируются в подсистеме контроля нарушений функционирования.

Для обеспечения функциональности разработана архитектура подсистемы контроля нарушений функционирования, состоящая из следующих компонентов: агентов анализа нарушений функционирования (ААНФ); подсистемы управления ресурсами (ПУР); подсистема визуального отображения и анализа данных (ПВОАД).

Распределенность процесса анализа достигается в программном средстве нарушения функционирования на основе возможности размещения ААНФ в различных компонентах вычислительной сети АСУ ПХД (в том числе и удаленных). ААНФ предоставляют данные

в ПУР по каналам вычислительной сети с помощью разработанного специального протокола на прикладном уровне, который работает на протоколах ТСР/ІР. Все это позволит решать вопросы диагностики и защиты крупной корпоративной сети, имеющей удаленные структурные подразделения.

Минимизация всевозможных потерь данных сетевых потоков решается в ААНФ при использовании программного захвата потока передачи данных с помощью свободно распространяемой библиотеки libpcap. Данная библиотека стала стандартом при разработке сетевых приложений, которые решают задачи анализа данных сетевых потоков и оптимизации структуры данных для их хранения в выделенной агентами анализа нарушений функционирования оперативной памяти.

Дополнительное обеспечение этого требования можно достигнуть на этапе внедрения данной системы при помощи оптимального выбора и тонкой настройки программной и аппаратной платформ сетевых компонент с устанавливаемым агентом анализа нарушений функционирования.

Процедура выявления нарушений функционирования, распределенных во времени.

Особенности поведения характеристик сетевого компонента вычислительной сети АСУ ПХД при «нормальном» функционировании и при возникновении нарушения, подчиняется общим свойствам и особенностям поведения злоумышленника.

Выявление нарушения функционирования, может базировать на оценке по факту и количеству появления маловероятных событий (группы событий) относительно нормального поведения. Наиболее вероятное событие, характеризующее функционирование сетевого компонента вычислительной сети АСУ ПХД, как правило, располагается в центре кластера событий и вероятность их появления начинает уменьшаться при удалении от центра.

Предложено, для оценки событий, характеризующих поведение сетевого компонента вычислительной сети АСУ ПХД, определить ряд пороговых значений отклонения от нормального появления событий от центра нормального кластера.

Определение таких границ отклонения от профиля эталонного поведения позволяет более точно классифицировать степень отклонения.

В результате, администратор вычислительной сети АСУ ПХД сможет выявлять степень отклонения от профиля эталонного поведения сетевого компонента вычислительной сети АСУ ПХД по динамике попадания отдельных событий и групп событий в соответствующие зоны отклонения от профиля эталонного поведения.

Способы и приемы формализации сбора и обработки данных на нарушение функционирования. На начальном этапе происходит извлечение данных из запросов, поступающих на вход системы. Обеспечивается проверка наличия прогнозов на предшествующем временном отрезке. Для построения прогноза используется блок прогнозирования, результаты прогнозирования которого сохраняются в базе данных. Сохранение осуществляется на основе принятого решения администратором вычислительной сети АСУ ПХД.

Циклический анализ нарушения функционирования, распределенных во времени, связан с малым набором точек ряда. Для получения устойчивой циклической закономерности требуется 11-16 повторений на интервале анализа для обнаружения нарушений статистическими методами. На практике, для выявления закономерностей, используют от 800 до 1600 точек анализа. При уменьшении интервалов анализа и получении большего количества точек данных (более 3500), характеризующие обычные запросы и запросы на нарушения функционирования существенно возрастают объемы вычислений.

Для устранения случайных запросов используется метод скользящего среднего.

Полученные запросы проверяются на статистическую значимость за определенный интервал анализа. С помощью теста проверяется надежность поступления запросов на нарушения функционирования. Полученные результаты обрабатываются и сохраняются для дальнейшего использования в профиле эталонного поведения. Особое значение имеет для

внешней подсети разовое посещение сайтов и поэтому добавление разовых IP – адресов является нецелесообразно. Что касается интервалов прогнозирования, то практический опыт показывает целесообразность увеличения интервалов прогноза не более чем на 1/3. Это позволяет гибко реагировать на изменение профиля поведения и обеспечивать интервал анализа при минимальной нагрузке на сервер.

Такая схема прогнозирования позволяет учесть искусственное изменение объемов запросов в течение определенного времени и допустимого отклонения нагрузки. Предлагаемые алгоритмы автоматически отслеживают запросы на нарушение функционирования и сравнительный анализ.

На основе имеющихся данных администратор вычислительной сети АСУ ПХД может принять решение о законности изменения потока запроса и разрешить построение новой модели с учетом необходимых изменений. Получение текущего прогноза позволяет осуществить обработку данных о нарушениях функционирования.

На основе сравнения скользящей средней реальных запросов с предсказанным значением. В последующем производится поиск источника появления запросов на нарушения функционирования с учетом внешних и внутренних подсетей.

Для внешней подсети поиск источников о нарушениях функционирования первоначально происходит на основе сравнения реального потока данных от каждого источника. Полученные последовательности осуществляется поиск источников появления запросов, среднее значение которых значительно отличается от среднего значения, а также осуществляется поиск запросов на нарушения функционирования. Данные источники помечаются как подозрительные. В последующем производится поиск запроса на нарушения функционирования на основе сигнатурного анализа.

Для внутренней подсети вычислительной сети АСУ ПХД имеется реальная возможность определить не только но и провести анализ реального и прогнозируемого запроса для каждого источника. В случае отклонения запросов от профиля эталонного поведения, вступает в действие блок сигнатурного анализа.

Программное средство содержит пять основных экранных форм: «Загрузка вычислительной сети АСУ ПХД»; «Подсети (внешние и внутренние)»; «Система поддержки и принятия решения о нарушениях функционирования»; «Фильтрация запросов на нарушения функционирования»; «Журнализация событий».

«Загрузка сети» - позволяет отслеживать интенсивность поступления запросов от различных компонентов. Для отслеживания изменений в потоке данных запросов необходимо выбрать интерфейс пользователя из списка «Сетевые интерфейсы», обеспечивающие доступ к внешним и внутренним подсетям. Экранная форма внешней и внутренней подсети позволяет управлять процессом фильтрации запросов. В верхней области экранной формы представлено поле «подсети внутренние и внешние». Внешние подсети создаются администратором и в них используются точные настройки правил фильтрации.

В случае, если запрос не попадает на основе сигнатурного анализа профиля эталонного поведения не в одну из ранее определенных форм, его обработка осуществляется на основе заданных правил, т.е. запрещено все, что не разрешено.

При создании подсети настраиваются следующие параметры:

- адрес подсети вычислительной сети АСУ ПХД;
- маска подсети вычислительной сети АСУ ПХД;
- адрес интерфейса администратора;
- направление потока данных запроса;
- тип подсети;
- окно сглаживания потока данных запроса.

Два первых компонента, а также адрес администратора определяет область действия настроек и является основой при принятии решения. При этом входящий и исходящий поток запросов, циркулирующий в других подсетях, не учитывается в виду ограниченности

вычислительного ресурса. Правила предусматривают, какие запросы целесообразно фильтровать. Необходимо отметить, что предложенная методика использует разные алгоритмы для внутренних и внешних подсетей.

В блоке система поддержки и принятия решения о нарушениях функционирования должны быть предусмотрены необходимые правила по корректировке времени фильтрации адресов подозрительных компонентов.

Настройка времени фильтрации осуществляется в зависимости от нарушений функционирования.

С помощью данного интерфейса задаются параметры и пороговые значения для определения нарушения функционирования в общем потоке данных запроса:

- порог отклонения потока запросов от компонента вычислительной сети;
- пороговая частота поступления запросов на нарушение функционирования: параметр определяет, какую частоту поступления запросов следует считать «постоянной»;
- пороговое число компонента вычислительной сети АСУ ПХД. Формирующий запросы на нарушение функционирования: параметр определяет, какое количество нарушений функционирования следует определять как «достаточно».

Программное средство с помощью правил, представленных ранее, предусматривает обучение администратора вычислительной сети АСУ ПХД. С этой целью производится редактирование правил администратора вычислительной сети АСУ ПХД.

При формировании правил при режиме обучения используются четыре параметра:

- Величина отклонения числа запросов на нарушения функционирования V .
- Частота появления запросов на нарушения функционирования M .
- Количество компонентов, формирующих запросов на нарушения функционирования i .
- Средний объем запросов от одного компонента вычислительной сети W .
- Интенсивность функционирования E .

Автоматизированное рабочее место администратора, которое позволяет ему работать с системой, представляет собой обычный компьютер, имеющий в наличии WEB-браузер. Протоколом взаимодействия между АРМом и ПВОАД является HTTP (Hyper Text Transfer Protocol). Взаимодействие ПУР и ПВОАД основано на интерфейсе, реализованном на XML.

Заключение. Разработана архитектура ПС, представляющая собой распределенную систему, состоящую из трех типов компонент: сетевых агентов (СА), подсистемы управления ресурсами (ПУР) ВС и подсистемы визуализации и анализа данных (ПВАД). Предложенная архитектура предусматривает: разделение функциональности между компонентами ВС, позволяющее проводить гибкую интеграцию в существующую сетевую инфраструктуру; возможность централизации управления при контроле множества территориально удаленных сетевых компонентов.

Основу программного средства анализа процессов нарушения функционирования составляет свободно-распространяемая библиотека `libpear`, используемая для захвата пакетов, являющейся стандартом де-факто при разработке сетевых приложений, анализирующих сетевой трафик, а также позволяющая оптимизировать структуры данных для хранения в базе и осуществлять визуальный анализ истории взаимодействий.

Список литературы

1. Якименко, А.А. Особенности совершенствования системы управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс] / А.А. Якименко. – Режим доступа – <http://do.gendocs.ru/docs/index-380553.html>.
2. Автоматизация диспетчерского управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.informtransgas.ru/acstp-gofo-2.html>.

3. Еременко, В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин [Текст] / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, С.А. Максаков, А.И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 9. – С. 46 – 49.
4. Афонин, С.И. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ [Текст] / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 6 – С. 35 – 42.
5. Еременко, В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов [Текст] / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, и др. // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 1 – С.78 – 84.
6. Еременко, В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных совместимых с неблокируемой маршрутизацией [Текст] / В. Т. Еременко, А.И. Офицеров, С. А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 4. – С. 38 – 46.
7. Еременко, В.Т. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП [Текст] / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов, С.А. Черепков, А.Е. Георгиевский // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 6. – С. 114-119.

Шульгин Роман Николаевич, преподаватель, Академия ФСО России; тел.: 8(953)6120311; e-mail: romanspartak1977@mail.ru.

УДК 620.9: 351.711

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ В МНОГОУРОВНЕВЫХ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Степанова Е.Ю., Рыжикова Е.Ю.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Дан анализ состояния и возможностей энергосбережения в университетах, его цели, задачи, показатели, примеры реализации. Показана роль комплексных центров энергосбережения и энергоэффективности, моделей государственно-частного партнерства и университетов в реализации политики энергосбережения и энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоёмкость, энергосбережение, энергоэффективность, многоуровневый университетский комплекс, государственные программы, способы энергосбережения, модели государственно-частного партнерства, роль вузов

The analysis of a state and energy saving opportunities at universities, its purposes, a task, indicators, realization examples is given. The role of the complex centers of energy saving and energy efficiency, models of state-private partnership and universities in realization of policy of energy saving and energy efficiency is shown.

Keywords: power consumption, energy saving, energy efficiency, multilevel university complex, state programs, ways of energy saving, model of state-private partnership, role of higher education institutions.

Экономика нашей страны является одной из самых энергоемких экономик мира, опережая КНР в 2, США – в 2,3, Индию, Японию и Европу в 3 раза по этому показателю. Поэтому в «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» энергосбережение на всех этапах от добычи, переработки, транспортировки до реализации продукции объявлено важнейшим приоритетом. До 2030 года энергоёмкость должна быть уменьшена в 3 раза [1]. Потенциал энергосбережения, по оценкам специалистов, составляет около 45% от текущего потребления.

Политика энергосбережения и энергоэффективности в России базируется на:

- Федеральном законе РФ 261-ФЗ [2], который создает экономико-правовые и организационные условия стимулирования энергосбережения и повышения энергоэффективности;

- Государственной программе РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [3], которая является главным инструментом практической реализации политики государства в этой области.

- Государственной программе РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики» [4].

Указом Президента РФ № 889 от 04.06.2008 года энергоемкость ВВП России должна быть снижена на 40% к 2020 году по сравнению с 2007 годом. При этом 13,5% должна обеспечить реализация Государственной программы за весь срок, а оставшиеся 26,5 % - за счет структурных преобразований, продуктовых изменений, научно-технического прогресса, влияния цен на энергоносители и инноваций, которые заложены в «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года». При этом предполагается использование как продуктовых, так и процессных инноваций.

Интеграционные и модернизационные процессы в образовательной сфере привели к созданию крупных многоуровневых университетских комплексов холдингового типа, которые являются крупными потребителями энергоресурсов. В структуре таких вузов насчитываются десятки, а иногда сотни подразделений, зданий, сооружений, чаще всего территориально разбросанных. Для них проблемы повышения энергоэффективности стоят еще более остро.

Затраты на коммунальные услуги в российских образовательных учреждениях ежегодно возрастают на 25-30%. При этом потребление энергии на 1 квадратной метр площади в них в 2-4 раза превышает аналогичный показатель западных стран.

Ежегодное потребление энергоресурсов в учреждениях, подведомственных Минобрнауки, составляет около 17 миллиардов рублей. Энергосбережение должно сэкономить порядка 2,5 млрд. руб.

Считается, что истоки низкой отечественной энергоэффективности имеют давнюю историю, связанную с низкой квалификацией обслуживающего персонала, низкими ценами на энергоресурсы и воду в СССР, которые не стимулировали режим сбережения, отсутствие корректного учета и контроля [5].

В соответствии с 261-ФЗ, начиная с 01.01.2010 года государственное (муниципальное) учреждение обязано обеспечить снижение в сопоставимых условиях объема потребленных им воды, дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля в течение пяти лет не менее чем на 15% от объема, фактически потребленного им в 2009 году каждого из указанных ресурсов с ежегодным снижением такого объема не менее чем на 3%.

В вузах проведен энергоаудит, разработаны Программы энергосбережения и энергоэффективности, разработаны энергетические паспорта.

Минобрнауки России политику по энергосбережению и энергоэффективности в подведомственных учреждениях проводит через Центр комплексной энергоэффективности и энергосбережения Института профессионального администрирования и комплексной энергоэффективности как головной организации и сеть создаваемых региональных комплексных центров образования в области энергоэффективности с участием ведущих производителей энергоэффективного оборудования. За 2012-2013 годы планировалось открытие 16 центров на базе ведущих федеральных университетов во всех Федеральных округах, и в первую очередь в крупных городах. Первые восемь в 2012 году были созданы в Москве, Казани, Архангельске, Ставрополе, Калининграде, Ханты-Мансийске, Ростов-на-

Дону, Якутске. Главной целью центров является интеграция образовательной, проектной и научно-исследовательской деятельности в области повышения энергоэффективности. Все они были сформированы по единому стандарту и охватывали все сферы энергосбережения.

Ранее созданные еще в нулевые годы центры энергосбережения в стране, в том числе и вузах, много сделавшие в области энергосбережения, по мнению Минобрнауки, в новых условиях перестали соответствовать требованиям времени. Одни работают только с бюджетными организациями и не учитывают возможности научно-практической работы и реализации бизнес-проектов (центры, созданные местными органами власти). Для других энергосбережение в большей степени является имиджевой составляющей (центры при энергообеспечивающих организациях), так как они не заинтересованы в уменьшении потребления энергии. Третьи, при производителях продукции, используются для ее рекламирования [6].

Хотя индикаторы энергосбережения установлены для учреждений бюджетной сферы, работа в этой области рассчитана на длительный срок.

Анализ ряда сайтов университетов позволил установить, какие мероприятия в основном реализуются в вузах:

- замена приборов и системы энергообеспечения,
- замена лампочек накаливания на энергосберегающие компактные люминесцентные лампы (или светодиодные, которые позволяют получить экономию до 50%);
- установка датчиков движения и регуляторов освещения помещений,
- автоматическое регулирование электрического освещения путём использования сенсоров освещенности помещений (для учёта погодных условий и времени суток);
- внедрение систем целевого энергетического мониторинга;
- замена индукционных счетчиков для коммерческого учета на электронные двухтарифные в студенческих общежитиях;
- автоматизация теплоснабжения в зданиях;
- использование автономного теплоснабжения;
- установка теплоотражающих экранов между стеной и батареями;
- внедрение диспетчеризации потребления энергоресурсов (сети освещения, тепловой энергии и воды);
- внедрение автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электрической энергии;
- диспетчеризация температуры в зависимости от времени суток и дня недели;
- установка приборов коммерческого учета тепловой энергии и воды;
- реконструкция тепловых узлов и теплообменников;
- утепление кровли, подвалов;
- замена окон на современные стеклопакеты;
- замена отопительных батарей;
- частотное регулирование электроприводов насосных агрегатов водоснабжения.
- очистка окон (позволяет снизить затраты на освещение до 40%);
- покраска стен в светлые тона (позволяет снизить затраты на освещение на 10%);
- окраска стен краской, которая сохраняет тепло;
- создание утепленного вентилируемого фасада;
- реализация энергосервисных контрактов;
- создание демонстрационных форм;

- обучение в области энергосбережения.

В общей сложности сегодня насчитывается около 600 доступных способов сбережения энергоресурсов и более 20 тысяч вариантов реализации этих способов [7].

Из перечисленных мероприятий видно, что стоимость их реализации разная и не все мероприятия доступны по стоимости. Объемы финансовых ресурсов, необходимых для реализации программ энергоэффективности достигает десятков и сотен миллионов рублей. При этом предполагается использовать многоканальные источники финансирования: из бюджета вуза, бюджета министерства, привлечение инвесторов.

По мнению руководителей Центра энергосбережения и энергоэффективности Минобрнауки до 2015 года не все подведомственные организации обеспечат снижение потребления энергоресурсов на 15% и причинами такого положения стали [8]:

- отсутствие целостности в этой работе (бессистемности и бесконтрольности);
- отсутствия финансирования.

Первое решено путем разработки Ведомственного стандарта администрирования процессов и структур целостного создания и развития энергоменеджмента для повышения энергоэффективности системы профессионального образования РФ.

Для решения второй проблемы Минобрнауки разработало в 2013 году 4 модели финансирования энергосберегающих проектов в рамках государственно-частного партнерства (ГЧП), которое для системы образования является новым:

- договорная модель,
- модель лизинга,
- модель концессии,
- модель оператора.

Эти модели могут быть реализованы при капитальном ремонте объектов образовательных учреждений. Инвестор вкладывает свои средства в мероприятия по энергоэффективности и энергосбережению, а отдачу получает в виде средств от экономии энергоресурсов. Однако несовершенство финансово-экономических отношений в высшей школе особенно не привлекают инвесторов.

Кроме того, область внедрения энергосберегающих инноваций и технологий в образовательной сфере значительно ограничена по сравнению с промышленными предприятиями. Экономить вузы могут в основном за счет экономии на освещении, отоплении, водопотреблении.

Положительным примером реализации проекта государственно-частного партнерства в виде привлечения энергосервисных компаний как бизнес-структур для финансирования расходов на дорогие технологические инновации является Ухтинский ГТУ. Этот университет один из первых заключил крупный энергосервисный контракт, который позволит сэкономить ему до 40 миллионов рублей.

И все же главной задачей вузов в этой области является подготовка и переподготовка кадров. Это привычная для вузов сфера, а учебно-методические материалы и рекомендации уже подготовлены Комплексными центрами энергосбережения и энергоэффективности.

Министерство энергетики РФ совместно с ведущими вузами в 2014 году реализует свой всероссийский проект по повышению квалификации представителей федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, а также лиц, ответственных за энергосбережение и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях бюджетной сферы.

Обучение проводится на базе программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» в рамках ГП РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03.04.2013 № 512-р [4]. Состав слушателей этой программы: представители организаций и учреждений бюджетной сферы, ответственные за энергосбережение и повышение энергетической эффективности. В итоге слушатели должны получить компетенции по разработке конкретных проектов по энергосбережению и энергоэффективности для своих конкретных условий и рабочих мест, по внесению изменений в региональные или муниципальные программы, по проведению мероприятий по пропаганде и популяризации энергосбережения и энергоэффективности на всех уровнях управления.

Выводы:

Высшая школа должна обеспечить выполнение не только индикаторов энергоэффективности и энергосбережения в своих структурах, но обеспечить подготовку в Комплексных центрах специалистов для реализации программных мероприятий, а также способствовать формированию у выпускников вузов энерго-, ресурсосберегающего и энергоэффективного отношения к ресурсам страны.

Список литературы

1. Степанова, Е.Ю. Энергосбережение как приоритетное направление экономической политики многоуровневых компаний [Текст] / Е.Ю. Степанова // Энерго- ресурсосбережение-XXI век: Сборник материалов IX-ой международной научно-практической Интернет-конференции / Под редакцией д.т.н., проф. В.А. Голенкова, д.т.н., проф. А.Н. Качанова, д.т.н., проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2011. – С. 251-256.
2. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=157266&utm_campaign=allsite_dynamic&utm_source=google.adwords&utm_medium=cpc&utm_content=1&gclid=CNH62eLOt8CFasBwwodnQgAuA. - Дата обращения 07.07.2014.
3. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [Текст]. – Утв. Постановлением Правительства РФ №2446-р от 27 декабря 2010 года.
4. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Текст]. – Утв. Распоряжением Правительства РФ № 512-р от 3 апреля 2013 года.
5. Шурыгина, А.В. Мониторинг энергопотребления и реализация потенциала энергосбережения высших учебных заведений [Электронный ресурс] /А.В. Шурыгина. – Режим доступа: <http://econf.rae.ru/pdf/2013/06/shurigina.pdf>. – Дата обращения: 25.05.2014.
6. Фролов, В.В. Комплексные центры образования помогут повысить качество работ в сфере энергосбережения [Текст]/В.В. Фролов // Вестник энергоэффективности. – 2013. – №2 (02). – С. 1- 2
7. Веремеев, В. В. МГЮА имени О.Е Кутафина переходит в режим энергоэкономии [Текст] / В.В. Веремеев, С.С. Игитханян // Вестник энергоэффективности. – 2013. – №2 (02). – С. 12-14.
8. Официальный сайт Центра комплексной энергоэффективности и энергосбережения Минобрнауки России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energoeducation.ru>. – Дата обращения: 25.05.2014.

Степанова Елена Юрьевна, канд. экон. наук, доцент, Госуниверситет – УНПК; 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40; тел.: 89066601144; e-mail: eco-nauka@ya.ru.

Рыжикова Елена Юрьевна, экономист, Госуниверситет – УНПК; 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 40.

СЕКЦИЯ № 8. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Руководители:

Степанов Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, директор НОЦ нанотехнологий ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орёл.

Любимов Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, член – корр. РАЕН, заведующий кафедрой «Физико – химические процессы и технологии», директор НОЦ «Нанотехнологии» ТулГТУ, г. Тула.

УДК 538.97; 621.382.037.37

ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ

Матюхин С.И., Турин В.О.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Ставцев А.В.

Россия, г. Орёл, ЗАО «Протон-Электротекс»

Представлены результаты теоретического исследования влияния накопленной дозы радиации на вольтамперные характеристики мощных полупроводниковых диодов и тиристоров. Показано, что в отличие от малоомощных приборов, у которых действие радиации приводит к падению порогового напряжения и росту дифференциального сопротивления, пороговое напряжение мощных высоковольтных приборов под действием радиации, как правило, растёт, а дифференциальное сопротивление не меняется.

Ключевые слова: математическое моделирование; полупроводниковые приборы; вольтамперная характеристика; воздействие радиации

The results of theoretical studies of the radiation accumulated dose effect on the current-voltage characteristics of silicon power semiconductor diodes and thyristors are presented. It is shown that in contrast to the low-power devices where the radiation effect leads to decrease of the threshold voltage and increase of the differential resistance, the threshold voltage of the power devices under influence of radiation usually increases, and the differential resistance does not change.

Keywords: mathematical modeling, power semiconductor devices, current-voltage characteristic, radiation effect

В настоящее время построенные на базе мощных полупроводниковых приборов устройства силовой электроники используются в самых разных областях человеческой деятельности: в быту (пылесосы, холодильники, кондиционеры, стиральные машины и т.д.), в энергетике (преобразователи частоты и напряжения на электростанциях, регуляторы производительности технологических процессов), в коммунальном хозяйстве (лифтовое оборудование и освещение), в автомобилестроении (роботизированные сборочные линии, сварочные аппараты, системы управления традиционными и гибридными двигателями), в аэрокосмической промышленности (системы электропитания и электроприводы), на транспорте (системы мягкого пуска и управления электродвигателями). Большую долю силовых полупроводниковых приборов (СПП) потребляют также металлургия и связь (индукционные печи, высокоэффективные источники питания, преобразователи и управляющие устройства).

Как считают ведущие эксперты в области прогнозирования мировых тенденций развития науки и техники, компьютерная и силовая электроника, отвечающие за работу, соответственно, «разума» и «мускулов» современной техники, становятся важнейшими технологиями сверхавтоматизированного XXI века. При этом силовая электроника, проникая практически во все сферы экономики, превращается ещё и в мощный фактор энерго-

и ресурсосбережения, поскольку позволяет заметно снизить потери, связанные с преобразованием одних видов энергии в другие.

Как показывает мировой опыт, введение одного только электронного регулирования без изменения технологии по существу обеспечивает снижение удельного расхода энергии на 20 – 30 %. Широкомасштабное же использование новых технологий, существенной частью которых является силовая электроника, обеспечивает многократное снижение расхода энергии и материалов. В то же время это приводит и к постоянному расширению спектра условий, в которых приходится функционировать полупроводниковым приборам.

Часть этих условий связана с воздействием на СПП проникающей радиации. Это, в частности, обусловлено внедрением новейших электронных разработок в атомной энергетике и в ускорительной технике, на высотном воздушном транспорте, а также всё более и более интенсивным применением силовой электроники в космических исследованиях, включая межпланетные перелёты. Всё это, совместно с современными требованиями к уровням безопасности и безотказной работы силовых устройств и приборов, делает исследования в области воздействия радиации на различные характеристики СПП весьма актуальными.

Одной из важнейших является вольтамперная характеристика (ВАХ) СПП, поскольку от нее в значительной мере зависит нагрузочная способность приборов и их КПД. Обзоры работ, посвященных исследованиям влияния радиации на ВАХ и другие характеристики полупроводниковых приборов, в настоящее время достаточно широко представлены в литературе (см., например, [1–9]). Однако главное внимание в этих работах обычно уделяется области сравнительно малых плотностей тока (до 50 А/см^2), в которой основным физическим эффектом, определяющим ВАХ, является взаимодействие инжектированных носителей заряда с глубокими примесными уровнями, играющими роль центров рекомбинации и прилипания. В настоящей работе теоретически исследовано влияние накопленной дозы радиации на мощные высоковольтные приборы, которые, в отличие от маломощных низковольтных, как правило, работают при высоких плотностях тока (свыше 50 А/см^2) и высоких уровнях инжекции и в которых существенными становятся эффекты, определяемые взаимодействием носителей друг с другом: снижение коэффициентов инжекции эмиттерных переходов, электронно-дырочное рассеяние (ЭДР) и появление дополнительного канала Оже-рекомбинации.

Учет этих эффектов приводит к тому, что поведение под действием радиации ВАХ мощных высоковольтных приборов существенно отличается от аналогичного поведения маломощных приборов, в которых указанные эффекты отсутствуют. В частности, в отличие от маломощных приборов, у которых действие радиации приводит к падению порогового напряжения и росту дифференциального сопротивления, определяемое процессами ЭДР сопротивление высоковольтных приборов под действием радиации практически не меняется, а пороговое напряжение, как правило, растёт (рисунок 1).

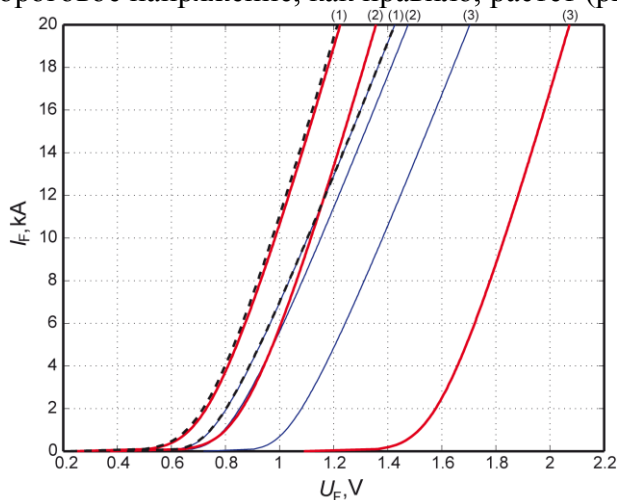


Рисунок 1 – Теоретические ВАХ сварочного диода Д053-7100 (ЗАО «Протон-Электротекс», г.Орёл), облученного нейтронами

Сплошные кривые:

(1) – $\Phi = 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$;

(2) – $\Phi = 10^{13} \text{ см}^{-2}$;

(3) – $\Phi = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$.

Тонкие кривые: – $T = 298 \text{ К}$

Жирные – $T = 443 \text{ К}$

Пунктир – ВАХ необлученного диода.

Скорость изменения порогового напряжения U_{T0} в зависимости от флюенса Φ определяется, в основном, деградацией времени жизни носителей заряда и равна

$$\frac{dU_{T0}}{d\Phi} \approx \frac{kT}{e} \left\{ 0,75 \frac{W_n}{L_p(\Phi)} \exp\left(\frac{W_n}{2L_p(\Phi)}\right) - \eta f\left(\frac{W_n}{L_p(\Phi)}\right) \right\} \frac{K_\tau^{(n)} \tau_p(\Phi)}{2}, \quad (1)$$

где $1 \leq f(x) \leq 2$:

$$f(x) = 1 + x \coth(x) - x \frac{b \operatorname{sh}(x)}{b \operatorname{ch}(x) + 1}. \quad (2)$$

В формуле (1) величина k – это постоянная Больцмана; e – элементарный заряд; T – абсолютная температура структуры; $\eta \approx 1,6$ – фактор идеальности; W_n – толщина низколегированной базы; $L_p(\Phi)$ – амбиполярная длина диффузии неосновных носителей заряда (дырок) в базе, $\tau_p(\Phi)$ – их время жизни; K_τ – радиационная константа, определяющая скорость деградации времени жизни [10]. В формуле (2) величина b представляет собой отношение подвижностей электронов и дырок (для кремния $b \approx 2,7$).

Обращает на себя внимание сильная зависимость скорости изменения напряжения (1) от отношения W_n/L_p . Эта зависимость приводит к тому, что у приборов с тонкой базой $W_n < 2L_p$ при малых фленсах Φ пороговое напряжение при облучении может снижаться. Однако с увеличением накопленной дозы радиации и в случае $W_n \geq 2L_p$ пороговое напряжение СПП достаточно быстро увеличивается вследствие опережающего в сравнении с падающим напряжением на p - n -переходе [второе слагаемое в формуле (1)] роста напряжения на базе [первое слагаемое в (1)]. При этом, как показывают наши вычисления, деградация времени жизни носителей заряда $\tau_p(\Phi)$ приводит к увеличению обратного тока приборов при любых флюенсах.

Вызванное радиацией повышение обратного тока и порогового напряжения СПП в целом приводит к росту тепловых потерь, а следовательно, – к падению эффективности преобразования энергии при помощи устройств силовой электроники.

Работа выполнена в рамках программы развития нанотехнологий НОЦ ОрёлНано [11].

Список литературы

1. Вавилов, В.С. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах [Текст] / В.С. Вавилов, Н.А. Ухин. – М., 1969. – 312 с.
2. Коршунов, Ф.П. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах [Текст] / Ф.П. Коршунов, Г.В. Гатальский, Г.М. Иванов. – Минск, 1978. – 231 с.
3. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники [Текст] / Под ред. Е.А. Ладыгина. – М., 1980. – 224 с.
4. Коршунов, Ф.П. Воздействие радиации на интегральные микросхемы [Текст] / Ф.П. Коршунов, Ю.В. Богатырев, В.А. Вавилов. – Минск, 1986. – 254 с.
5. Никифоров, А.Ю. Радиационные эффекты в КМОП ИС [Текст] / А.Ю. Никифоров, В.А. Телец, А.И. Чумаков. – М., 1994. – 164 с.
6. Зебрев, Г.И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах высокой степени интеграции [Текст] / Г.И. Зебрев. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 148 с.
7. Таперо, К.И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения [Текст] / К.И. Таперо, В.Н. Улимов, А.М. Членов. – М., 2012. – 304 с.
8. Вологдин, Э.Н. Радиационные эффекты в некоторых классах полупроводниковых приборах [Текст] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – М., 2001. – 70 с.
9. Вологдин, Э.Н. Радиационная стойкость биполярных транзисторов [Текст] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – М., 2000. – 102 с.

10. Вологдин, Э.Н. Интегральные радиационные изменения параметров полупроводниковых материалов [Текст] / Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко. – М., 1998. – 94 с.

Матюхин Сергей Иванович, д-р физ.-мат. наук, доцент, ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», декан факультета естественнонаучного и гуманитарного образования; тел.: 8(4862)419881; e-mail: sim1@mail.ru.

Турин Валентин Олегович, канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой «Физика» ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»; тел.: 8(4862)419889; e-mail: voturin@ostu.ru.

Ставец Александр Валерьевич, технический директор ЗАО «Протон-Электротекс»; тел.: 8(4862) 434142; e-mail: a.stavtsev@proton-electrotex.com.

УДК 621.9.048.7

УЛЬТРАСТРУЙНАЯ ДИАГНОСТИКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Абашин М.И., Галиновский А.Л., Хафизов М.В.

Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Осипков А.С.

Россия, г. Москва, ООО "НТК МГТУ им. Н.Э. Баумана"

В статье рассмотрена проблема оценки остаточного ресурса тонкопленочных защитных покрытий, используемых в различных изделиях машиностроения. Данная задача является особенно актуальной в случае антифрикционных покрытий. Для оценки остаточного ресурса в статье было предложено использование нового метода – ультразвуковой диагностики (УСД). Данный метод позволяет оценить свойства поверхностного слоя исследуемого материала по результатам воздействия на него высокоскоростной струи жидкости. С целью изучения процессов, происходящих при УСД покрытий, было проведено конечно-элементное моделирование взаимодействия высокоскоростной водяной струи с тонкопленочными покрытиями различной степени целостности. Для проверки результатов моделирования были проведены соответствующие эксперименты на гидроустановке. Средствами моделирования, теоретически и экспериментально доказано, что УСД диагностика может быть эффективным методом оценки качества данных покрытий. Показано, что по полученным в результате УСД информативным параметрам может быть установлен ресурс изделий, использующих тонкопленочные покрытия и, как следствие, выданы рекомендации по проведению плановых ремонтных работ и др.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, тонкопленочные покрытия, математическое моделирование, остаточный ресурс

This article considers the problem of residual resource estimation of thin-film coatings used in various engineering products. This problem is particularly acute in the case of anti-friction coatings. To estimate coatings residual life, in article proposed the using of a new method – high-speed water jet diagnostics (HWJD). This method allows estimating the surface material properties by the results of impact on it with high-speed water jet. In order to study the processes, occurring in surface material and coatings during the HWJD, was conducted a finite element simulation of high-speed water jet impact in the target material with thin-film coatings of varying intactness degrees. To verify the simulation results, corresponding experiments have been made. Modeling tools, both theoretically and experimentally proved that HWJD can be used as an effective method for the coatings quality estimation. It is shown, that residual resource of thin-film coatings products can be defined by means of HWJD and, as a result, recommendations for maintenance planning can be issued.

Keywords: high-speed water jet diagnostics, thin-film coatings, mathematical simulation, residual resource

Как показал анализ особенностей эксплуатации изделий, имеющих тонкопленочные покрытия (ТПП) актуальной является задача оценки остаточного ресурса [1]. Данная проблема в некоторых случаях имеет даже большее значение, чем оценка этого параметра для деталей, не имеющих покрытия. В особенности это касается изделий, где используются антифрикционные покрытия, например пары трения. Это связано с тем, что разрушенное высокопрочное керамическое покрытие будет заметно увеличивать износ взаимодействующих между собой элементов конструкции при попадании его частиц между взаимодействующими элементами. Высокую степень актуальности этой проблемы подчеркивает факт отсутствия отечественных стандартов для оценки качества ТПП.

Проведенные ранее в МГТУ им. Н.Э. Баумана исследования по созданию инженерной методики ультразвуковой диагностики (УСД) поверхностного слоя материала показали свою перспективность на примере целой серии экспериментальных и теоретических исследований [2, 3]. УСД позволяет оценить свойства поверхностного слоя исследуемого материала по результатам воздействия на него высокоскоростной струи жидкости. Одной из особенностей данной методики является создание диагностического нестационарного воздействия, механизм развития которого близок к механизму усталостного разрушения. Таким образом, имитируется ускоренная эксплуатация, а по информативным признакам гидроэрозионного разрушения можно оценить остаточный ресурс испытываемого изделия [4].

Самостоятельным разделом исследования стала разработка математических моделей, описывающих взаимодействие высокоскоростной ультразвуковой струи жидкости с материалом, имеющим покрытие. Причем состояние покрытия имитировалось таким образом, чтобы было возможным провести корреляционные связи между результатами расчетов и данными усталостных испытаний. Для этого искусственно вводилась различная степень его предразрушения, характерная для различного числа циклов нагружения образцов с ТПП. В результате проведенных расчетов была получена серия количественных данных о параметрах глубины гидрокаверны, образованной на поверхности образца, и о качественном состоянии самого покрытия.

Было установлено, что увеличению глубины гидрокаверны на числе циклов более $6 \cdot 10^4$ способствуют оторвавшиеся от поверхности частицы покрытия, потерявшие адгезию с подложкой и, по сути, представляющие из себя высокотвердый абразив, стимулирующий процесс гидроэрозии.

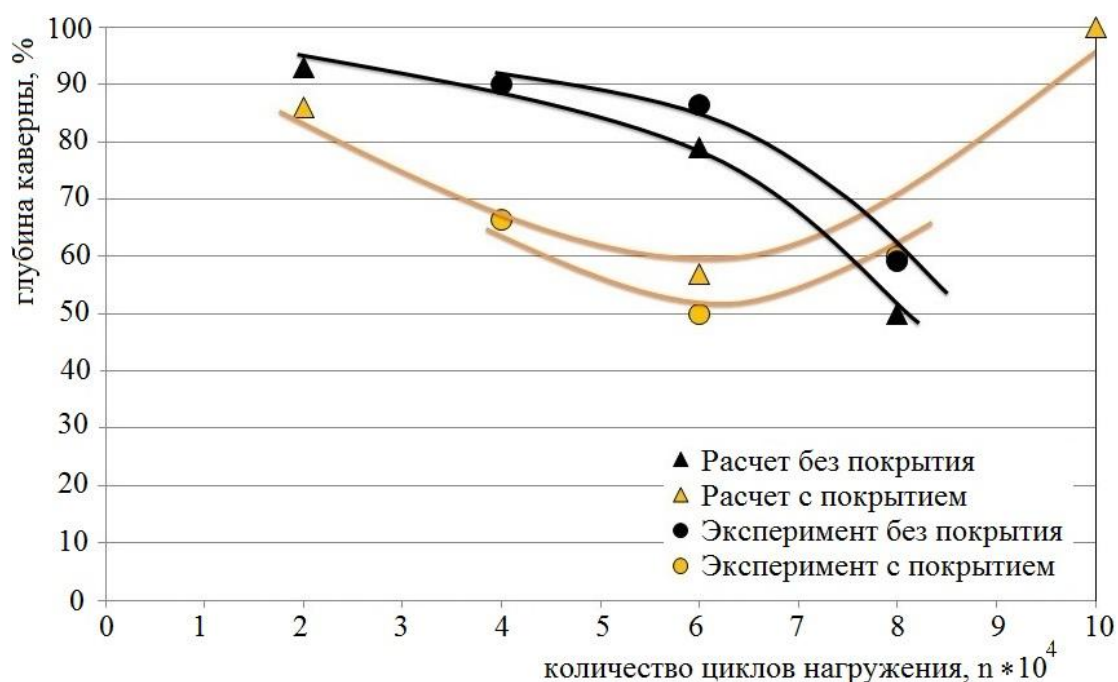


Рисунок 1 – Сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными

Используя данные экспериментальных исследований по УСД образцов, проводимых параллельно с моделированием по разработанному методическому плану стало возможным построить зависимости относительной глубины гидрокаверн с разным числом циклов усталостного нагружения. Из рис. 1 видно, что данные моделирования и эксперимента

имеют высокую линейную корреляцию $r = 0,753$, а разница результатов не превышает в среднем 10-15%.

Таким образом, в результате сопоставительного анализа данных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать ряд научно-методических выводов:

- 1) Метод УСД позволяет приближенно оценить остаточный ресурс деталей, имеющих ТПП;
- 2) Разработанные конечно-элементные модели могут быть использованы для предварительной оценки эксплуатационных свойств ТПП;
- 3) На основе результатов моделирования и данных экспериментов следует, что значительное влияние на эксплуатационные показатели ТПП оказывают физико-механические характеристики подложки, прежде всего ее твердость и шероховатость поверхности.

В тоже время, полученные результаты не являются основанием для формулирования окончательных научно-практических выводов. В ближайшей перспективе исследования будут продолжены в соответствии с намеченным методическим планом. В том числе, покрытия разных типов (TiN, TiCN, DLC, ...) будут нанесены на ножи промышленной установки по переработке автомобильных шин. Будет проведено сравнение поведения покрытия на различных этапах его работы на примере конкретной детали с износом, возникающим при воздействии на такую же деталь высокоскоростной струи жидкости.

Данное исследование проводилось в рамках гранта РФФИ №12-08-33022-мол_а_вед.

Список литературы

1. Zinin, P. V. Detection and localization of the subsurface defects in DLC films by acoustic microscopy [Text] / P.V. Zinin, D. Fei, D.A. Rebinsky, R.M. Lemor, E.C. Weiss, S. Berezina, C. Arnoud, W. Arnold, and K. Kraemer // Materials of IEEE International Ultrasonics Symposium 2003 on Honolulu Hawaii. – 2003. – №1. – P. 881 - 884.
2. Абашин, М.И. Возможности экспресс-оценки информационно-диагностических параметров изделий ультразвуковым методом [Текст] / М.И. Абашин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – №288. – С. 129-133.
3. Абашин, М.И. Ультразвуковая экспресс-диагностика материалов и изделий машиностроения [Текст] / Абашин М.И., Барзов А.А., Галиновский А.Л., Шутеев В.А. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – №123. – С.141-147.
4. Абашин, М.И. Ускоренное определение параметров качества поверхностного слоя материала изделий по результатам воздействия на него сверхзвуковой струи жидкости [Текст]: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / М.И. Абашина. – М., 2013. – 16 с.

Галиновский Андрей Леонидович, канд. техн. наук, профессор кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(916)1580064; e-mail: galcomputer@mail.ru.

Абашин Михаил Иванович, канд. техн. наук, ассистент кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(916)7524269; e-mail: texhelp@list.ru.

Осипков Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, директор ООО "НТК МГТУ им. Н.Э. Баумана"; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(916)1144589, e-mail: osipkov@bmstu.ru.

Хафизов Максим Васильевич, аспирант кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(915)3987985, e-mail: m-khafizov@mail.ru.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОДОБАВОК ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В СРЕДСТВАХ БРОНЕЗАЩИТЫ**Судник Л.В.***Беларусь, г. Минск, НИИ ИП с ОП***Абашин М.И., Галиновский А.Л., Хафизов М.В.***Россия, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

В статье рассматривается задача получения новых наноструктурированных материалов содержащих ультрамелкодисперсные порошки на основе бемита. Данные порошки обладают большей, в сравнении с обычными порошками, адгезионной активностью и, как показали исследования, могут изменять ряд функционально-эксплуатационных характеристик композиционной конструкционной керамики (ККК) и высокомолекулярного полиэтилена (ВМП). В статье делаются выводы, что tandem применение данных материалов в слоистых конструкциях средств индивидуальной бронезащиты позволит повысить ее эффективность.

Ключевые слова: нанопорошок, бемит, высокомолекулярный полиэтилен, композитная керамика, прочность, бронезащитный элемент

In the article is considered the problem of a new nanostructured materials creation which containing ultrafine powders on a basis of boehmite. These powders possess bigger adhesive activity, in comparison with usual powders, and as showed researches, can change a number of functional and operational characteristics of composite constructional ceramics and high-molecular polyethylene. In the article conclusions are drawn that tandem application of these materials in layered designs of means of an individual armored protection will allow increasing its efficiency.

Keywords: nanopowder, boehmite, high-molecular polyethylene, composite ceramic, strength, hard plate

Высокомолекулярный полиэтилен (ВМП) занимает свою нишу в производстве изделий машиностроения. Учитывая его высокие прочностные характеристики и малый вес, этот материал широко используется для изготовления панелей обладающих бронезащитными свойствами [1]. Опыт совместных исследований МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия) и НИИ ИП с ОП (Республика Беларусь) показали, что применение нанопорошков бемита (γ -AlO(OH)) может значительно улучшить эксплуатационные свойства композиционной конструкционной керамики (ККК), и, прежде всего, ее динамические характеристики [2, 3]. При этом морфология исходных частиц бемита регулируется параметрами синтеза, что позволяет в достаточно широком диапазоне варьировать морфологию исходного материала и его свойства [2, 4]. Однако до сих пор бемит не применялся при изготовлении ВМП. Учитывая невозможность теоретически оценить выходные эксплуатационные характеристики такого материала, в основе исследования была заложена экспериментальная отработка технологии его изготовления и контроля.

На первом этапе была поставлена задача изготовления партии экспериментальных образцов ВМП с добавками нанопорошка бемита. Известный факт существования оптимальной (с точки зрения динамических характеристик материала) концентрации нанопорошка, полученный на образцах из ККК, позволил сформировать гипотезу о наличии аналогичного оптимума значения концентрации бемита в ВМП. Отсутствие данных и невозможность получить их теоретически стали предпосылками для создания партии образцов, один из которых представлял собой чистый ВМП, а остальные содержали бемит в разной концентрации согласно установленному шагу.

Изучение морфологии образцов показало равномерное сеточное распределение бемита в образцах с рациональными значениями концентрации, а также наличие крупных конгломератов нанопорошка в образцах с высоким содержанием бемита (рис. 1г). Очевидно, при взаимодействии с ударником именно в данных конгломератах происходит зарождение и распространение трещин, что и приводит к хрупкому разрушению образца.

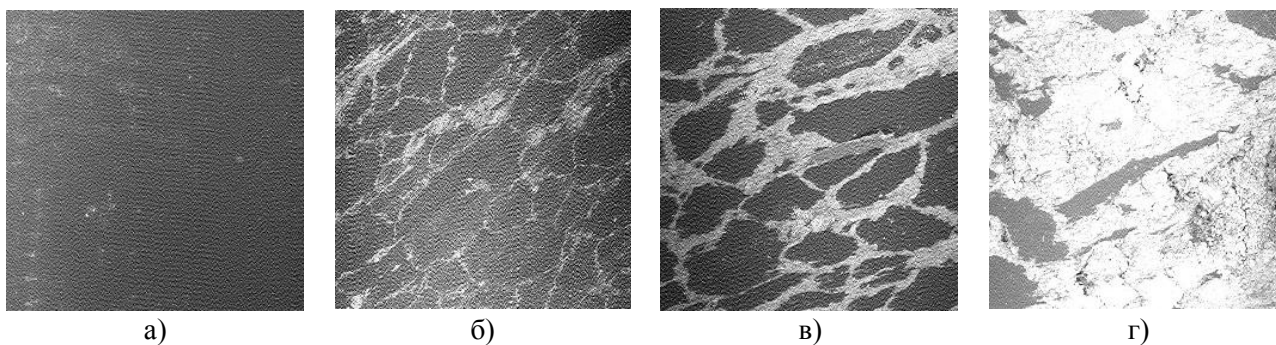


Рисунок 1 – сравнение морфологии образцов

Чистый ВМП - образец №1 (а), низкое содержание порошка бемита – образец №2 (б), умеренное содержание бемита - образец №5 (в), высокое содержание бемита - образец №9 (г);
Электронный микроскоп, увеличение x300;

Следующим этапом стала проверка эксплуатационных свойств данного материала. В результате лабораторных испытаний на разрывной машине были получены диаграммы растяжения для всех из рассмотренных образцов. Полученные данные показывают, что поведение образца под нагрузкой и характер разрушения зависит от содержания в нем порошка бемита (рис. 2). При высокой концентрации бемита участок пластического течения исчезает, разрушение становится хрупким. Было установлено, что наличие нанопорошка бемита в ВМП, увеличивает его прочность на разрыв.

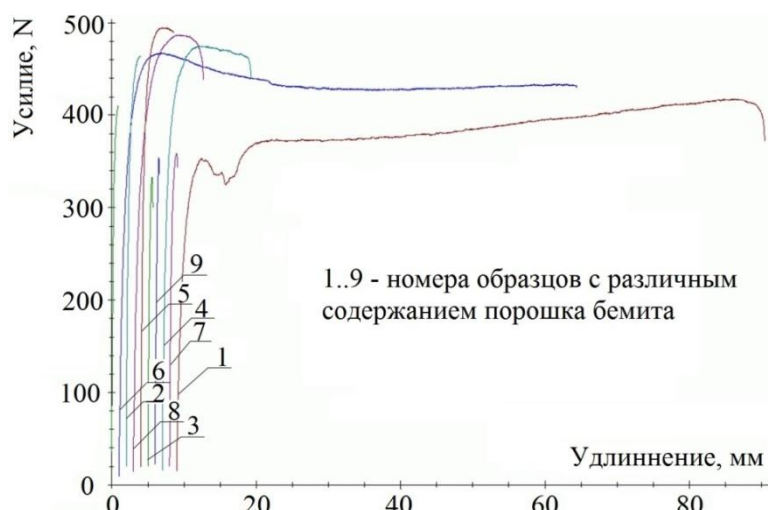


Рисунок 2 – Полученные диаграммы растяжения образцов ВМП с различным содержанием бемита

Таблица 1 –Результаты испытаний на прочность образцов ВМП

Номер образца	1	6	4	8	5	2	7	3	9
Удлинение образца в %, по сравнению с чистым ВМП	100	79	13,6	11,1	6,2	2,5	1,9	1,5	1,2
Усилие в %, по сравнению с чистым ВМП	100	109	115	115	117	110	86	78	83

Из данных табл. 1 следует, что существует некоторая оптимальная концентрация по критерию обеспечения максимальной прочности при растяжении. Однако следует учитывать, что увеличение концентрации нанопорошка бемита способно повысить весовые характеристики изделий, что неблагоприятно скажется на эксплуатационных и эргономических свойствах готового изделия средств индивидуальной бронезащиты.

На следующем этапе были проведены динамические испытания образцов из ВМП с применением высокоскоростного сердечника с целью оценки их соответствующих

характеристик. В результате было показано, что характер разрушения ВМП при динамическом воздействии также зависит от содержания в нем порошка бемита.

Таким образом было показано, что добавление нанопорошка бемита в ВМП позволяет значительным образом изменить его характеристики. При этом, меняя концентрацию бемита можно подстроить свойства модифицированного ВМП под решение определенной технической задачи, например, повысить его прочность при снижении пластичности, что, в частности, важно для снижения запреградного действия в средствах индивидуальной бронезащиты. В заключении отметим, что учитывая повышение прочностных характеристик рассмотренных в работе бронематериалов можно предположить повышение эффективности их совместной работы в составе многослойного тандемного пакета.

Данное исследование проводилось в рамках гранта РФФИ №12-08-33022-мол_a_вед.

Список литературы

1. Чистяков, Е.Н. Российские бронежилеты и новые броневые материалы [Текст] / Е.Н. Чистяков // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – 2013. – №8. – С. 2 – 5.
2. Галиновский, А.Л. Технологические особенности создания конструкционной керамики с использованием наноразмерного порошка бемита и возможность её ультразвуковой диагностики [Текст] / А.Л. Галиновский, С.Г. Муляр, Л.В. Судник // Известия вузов. Машиностроение. – 2013. – №11. – С. 64 – 69.
3. Галиновский, А.Л. Применение гибридной диагностики для оценки эксплуатационных свойств конструкционной керамики [Текст] / А.Л. Галиновский, С.Г. Муляр, М.В. Хафизов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2012. – №9. – С. 65 – 69.
4. Галиновский, А.Л. Формирование и ультразвуковая диагностика спечённого материала из наноразмерного порошка бемита [Текст] / А.Л. Галиновский, Л.В. Судник, М.И. Колпаков, М.В. Хафизов, С.Г. Муляр, Р.Р. Сайфутдинов // Научно-производственный журнал «Наноинженерия». – 2013. – №1(19). – С. 26 - 31.

Судник Лариса Владимировна, д-р техн. наук, заместитель директора ГНУ "Институт порошковой металлургии"; республика Беларусь, г. Минск, ул. Платонова, 12-Б; тел.: (+37517) 2947541; e-mail: Lsudnik@tut.by.

Галиновский Андрей Леонидович, канд. техн. наук, профессор кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(916)1580064; e-mail: galcomputer@mail.ru.

Хафизов Максим Васильевич, аспирант кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(915)3987985; e-mail: m-khafizov@mail.ru

Абашин Михаил Иванович, канд. техн. наук, ассистент кафедры "Технология ракетно-космической техники" МГТУ им. Н.Э. Баумана; г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5; тел.: 8(916)7524269, e-mail: texhelp@list.ru.

УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НАНОТЕХНОЛОГИИ

Власова Е.В., Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет

Проанализированы высокоэффективные метрологические средства, такие как коррекция, градуировка и калибровка; и выявлены перспективы их применения в нанотехнологии.

Ключевые слова: метрологические средства, коррекция, градуировка, калибровка.

Analyzed by high-performance metrology tools such as correction, calibration and calibration, and identified prospects of their application in nanotechnology.

Key words: metrology tools, correction, calibration, calibration

На современном этапе ни одна отрасль знаний немыслима без измерений, а уровень точности и достоверности измерений способны либо стимулировать развитие отрасли знаний, либо служить сдерживающим фактором. Нанотехнологии сейчас развиваются очень бурно, что влечет за собой необходимость опережающего развития метрологии в этой отрасли.

Метрологические средства (МС) представляют собой совокупность мер и методов оценки, способов и критериев повышения точности [1,2]. Основой метрологических средств служат способы повышения точности и оценки качества измерений компьютерных анализаторов и микропроцессорных приборов мониторинга нанотехнологии.

Учитывая порядок цифр, которыми оперирует нанотехнология, метрологические средства для них должны отличаться наивысшей точностью, чувствительностью и возможностью реагировать на малейшие изменения оцениваемых показателей наноуровня. Современная метрология немыслима без электронных приборов, представляющих собой гибкие микропроцессорные устройства [1,3].

Стандартизованные метрологические средства предназначены для приборов с жесткой структурой, не учитывают гибкость микропроцессорных средств, что сводит современные измерительные устройства до узкоспециализированных тестеров, не позволяя использовать их возможности в полной мере. Приборы с жесткой структурой регламентирует ГОСТ, предлагающий статистическую градуировочную характеристику по множеству случайных взаимозависимых переменных [4 с. 125-129] без нормируемых мер и закономерностей.

Компьютерные анализаторы с гибкой архитектурой требуют для автоматического контроля априори программно управляемые характеристики с нормированными информативными параметрами, оптимизирующими измеренную градуировочную характеристику к действительным значениям идеальной характеристики, принимаемой за эквивалент за счет образцовых мер адаптивного диапазона (например, известных сигналов или материалов, состава или свойств веществ, пациентов или врачей и т.д), диктуемыми физикой и закономерностями аналитического контроля, теоретическими знаниями и инженерным опытом творчества.

Незнание закономерностей аналитического контроля электрических величин, амплитуды и площади реограммы, - диктует измерения электрических, геометрических и физических взаимозависимых величин. Это обусловлено физикой измерения амплитуды (напряжения и тока, сопротивления и проводимости) нелинейной вольтамперной характеристики электродов реографа. Например, вектор развития измерения сопротивления на постоянном токе направлен от множества переменных нелинейных сопротивлений R_i через удельное ρ и диффузионное R_0 к предельному R_{0S} . Творчество без знаний закономерностей представляет итерационный анализ поиска «иголки в стогу сена» с числом итерации $n! \times m! \times l! \times k!$ для выявления градуировочных характеристик и информативных параметров, нормируемых мер и методов повышения эффективности. Знания закономерностей сокращают поиск нового решения на несколько порядков за счет целенаправленного поиска инноваций по вектору развития творчества.

Следовательно, компьютерные анализаторы реализуют физику и нормируемую метрологию совокупных измерений для автоматизации аналитического контроля БМТ, использующих как инструмент «математический метод обсчета исследуемых показателей». Технические алгоритмы представляют решение задачи в явном виде с минимумом информативных параметров. Калибровка по нормируемым эквивалентам адекватно отражает физику процесса совокупных нормированных измерений и позволяет решать задачу нормированного определения действительных значений a_{priori} , тем самым, повышая метрологическую эффективность предлагаемого способа за счет снижения методической погрешности.

1. Жесткая градуировка, стандартизирующая приборы с неуправляемой структурой тестера, сводит на нет гибкую архитектуру компьютерных анализаторов биомедицинской

техники (БМТ). Градуировка исключает универсальность математического обеспечения и эффективность адаптивных метрологических средств (автоматизации метрологических характеристик и информативных параметров, образцовых мер и границ диапазона, способов адаптации и критериев оценки). Компьютерный анализатор с регламентируемой градуировкой ограничен правилами примитивных стандартов тестера, работающих в узких диапазонах с разрывом нелинейных характеристик, без правил автоматизации измерений в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер границ поддиапазонов.

2. Неопределенность переменных без нормированных мер отсчета по координатам приводит к нелинейности как статической характеристики градуировки (или коррекции, или калибровки), так и в свою очередь взаимозависимых переменных по абсциссе и ординате, что исключает адекватность измерений, искажающих сущность процесса градуировки. Ненормированные метрологические средства компенсируют множеством случайных измерений с максимально большой выборкой.

В компьютерных анализаторах случайные измерения (переменные) пользуют:

1) при калибровке нормированных предельных информативных параметров-эквивалентов по нормированным алгоритмам для измеренных и известных значений на границах диапазона,

2) при измерении действительных значений за счет сравнения измеренных переменных с нормированными предельными информативными параметрами нормированной действительной характеристики-эквивалента.

Перспективным представляется использование в сфере нанотехнологии высокоэффективных метрологических средств, таких как коррекция, градуировка и калибровка. Проведен сравнительный анализ этих высокоэффективных метрологических средств и выявлены их достоинства и недостатки.

В ходе анализа выявлено, что метрологическая эффективность *коррекции* регламентирована только в узком диапазоне нормы наноконтроллеров и нерациональна в широком диапазоне мониторинга нанотехнологии; у *градуировки* в отличие от коррекции невысокая метрологическая эффективность, коэффициенты a и b не несут физического смысла, а лишь определяют форму градуировочной кривой, поэтому входные и выходные данные сопоставляются по абстрактной, «не физической» модели. Низкая метрологическая эффективность обусловлена ГОСТированием градуировки для приборов с жесткой структурой, т.к. она не предполагает наличия гибкой архитектуры микропроцессора с адаптивными МС нанотехнологии; *калибровка* корректирует градуировочную функцию по нескольким образцовым мерам, выбираемым на границах диапазонов и поддиапазонов для их априорного нормирования с заданной точностью. За счёт множества эталонов калибровка устраняет не только аддитивные и мультипликативные погрешности, но и учитывает нелинейность функции аналитического контроля. Алгоритмы калибровки регламентируют целенаправленную последовательность отличительных признаков.

Таким образом, калибровка, в отличие от градуировки и коррекции позволяет сводить погрешность к минимуму, приемлемому для наноуровня, и оперировать числами, соответствующего нанотехнологии порядка. Также эффективность метрологических средств реализует универсальность аппаратного и программного обеспечения архитектуры, развивает информативность математического обеспечения и повышает коммуникабельность компьютерных анализаторов и микропроцессорных приборов для мониторинга научных и практических задач нанотехнологии.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Технология аналого-цифровых преобразователей [Текст]: монография / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 140 с.
2. Форзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы [Текст] / Н.Г. Форзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-заде – М.: Высшая школа, 1989, §3.6, С.82-86.
3. Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных систем [Текст] / Е.И. Глинкин. - Тамбов: ТГТУ, 1998, §4.2, С.62-64.

4. Глинкин, Е.И. Схемотехника аналоговых интегральных схем [Текст] / Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168 с.

Власова Елена Викторовна, аспирант кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; 392005, г. Тамбов, ул.Астраханская, д.195, корп.5, кв.98; тел.: 8(920)2328191; e-mail: birukova-ev@rambler.ru.

Глинкин Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; 392032, г. Тамбов, ул.Мичуринская, д.126, кв.81; e-mail: glinkinei@rambler.ru.

УДК 621.317.331

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТРИБОСИСТЕМАХ

Захаров М.Г.

Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Рассмотрен вопрос о возможности оценки затрат энергии на преодоление сил трения при эксплуатации трибосистем в различных режимах функционирования. В качестве критерия предлагается использовать состояние пленки смазочного материала разделяющего рабочие поверхности трибосистемы. Оценка производится электропараметрическим методом по параметрам проводимости.

Ключевые слова: трение, трибосистема, рабочие поверхности, пленка смазочного материала, электропараметрический метод, проводимость.

The question of possibility of an assessment of expenses of energy on overcoming of forces of a friction at operation tribosisty in various modes of functioning is considered. As criterion it is offered to use a condition of a film of lubricant dividing working surfaces тpибосистемы. The assessment is made by an electroparametrical method on conductivity parameters.

Keywords: friction, тpибосистема, working surfaces, lubricant film, electroparametrical method, conductivity.

Современное развитие средств автоматизации предполагает комплексный подход, связанный с внедрением и широким применением компьютерных технологий в совокупности с совершенными исполнительными устройствами, базирующимися на использовании новых конструкций и материалов позволяющих улучшить не только массогабаритные характеристики, но и снизить энергетические потери вызванные, например неэффективной работой трибосистем.

Имея разное конструктивное воплощение, трибосистемы широко используются во многих механических устройствах и узлах, например в виде подшипников качения и скольжения, которые в зависимости от назначения в значительной степени различаются точностью, габаритами, массой, параметрами рабочих поверхностей, скоростными характеристиками, системой смазки и т.д.

В процессе функционирования в трибосистеме под воздействием совокупности стохастически изменяющихся внешних и внутренних факторов происходит непрерывное контактное взаимодействие рабочих поверхностей её деталей. При благоприятных условиях функционирования в зоне трения смазанной трибосистемы образуется устойчивая пленка смазочного материала разделяющего поверхности трения. Однако если суммарная высота микронеровностей рабочих поверхностей превышает толщину пленки, то происходит их контактирование по вершинам микронеровностей. Такое взаимодействие в свою очередь приводит не только к интенсификации всех видов износа рабочих поверхностей трибосистемы, но также и проявляется в увеличении сил трения, а следовательно в затратах энергии на их преодоление.

В зависимости от режима смазки изменяется характер взаимодействия рабочих поверхностей, который в значительной степени влияет на возникающие силы трения.

Наиболее благоприятным режимом смазки для трибосопряжения является жидкостная смазка, когда в течение длительного времени поверхности полностью разделены пленкой

смазочного материала. При этом затраты энергии на преодоление трения минимальны. В противном случае наблюдается режим граничной смазки, сопровождающийся непосредственным микроконтактированием рабочих поверхностей с существенным ростом сил трения. Очевидно состояние пленки смазочного материала характеризует не только режим смазки, но и затраты энергии на преодоление сил трения.

Оценка состояния смазочной пленки разделяющей рабочие поверхности функционирующей трибосистемы может быть выполнена, например, при использовании электропараметрического метода [1, 2]. В этом случае зона трения представляется, например проводимостью, параметры которой характеризуют состояние смазочной пленки. Трибосистема включается в единый электрический контур со средством измерения и источником тестового воздействия. Ток протекающий в измерительной цепи и вызванный источником тестового воздействия связан с изменением проводимости зоны трения, а следовательно характеризует затраты энергии на преодоления трения.

Предположим, что при функционировании проводимость трибосистемы в основном определяется первой гармоникой и постоянной составляющей

$$g_x = g_o (1 + m_g \cos \omega_g t),$$

где g_o, g_m, ω_g, m_g – соответственно постоянная составляющая, амплитуда, угловая частота и коэффициент вариации проводимости, $m_g = g_m / g_o$.

При постоянном значения тестового воздействия, т.е. $E_o = \text{const}$ ток, протекающий в измерительном контуре, в первом приближении представляется в виде:

$$i_x = E_o g_o (1 + m_g \cos \omega_g t).$$

Средний ток, в измерительном контуре, который часто используется в качестве параметра характеризующего смазку, для принятых условий определяется выражением:

$$I_x = \frac{1}{T} \int_0^T i_x dt = E_o \left(g_o + \frac{g_m}{\omega_g T} \sin \omega_g T \right).$$

Если обеспечить выполнение условия $T = T_1 = 2\pi / \omega_g$, то получим следующее выражение для среднего тока $I_{x1} = g_o E_o$, из которого просто находится значение постоянной составляющей проводимости g_o . Соответственно для времени интегрирования $T = T_2 = 0,5\pi / \omega_g$, средний ток выразится в виде: $I_{x2} = g_o E_o (1 + m_g / 0,5\pi)$.

Совместное решение приведенных выше уравнений определяющих значения среднего тока I_{x1} и I_{x2} позволяет получить коэффициент вариации m_g и амплитуду проводимости g_m :

$$m_g = 0,5\pi(I_{x2} - I_{x1})/I_{x1}, \quad g_m = 0,5\pi(I_{x2} - I_{x1})/E_o.$$

Найденные значения постоянной, переменной составляющей и вариации проводимости зоны трения характеризуют также соответственно постоянную, переменную составляющую и вариацию затрат энергии на преодоление сил трения возникающих при функционировании трибосистемы, которые можно оценить при наличии соответствующих экспериментальных зависимостей.

Список литературы

1. Подмастерьев, К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения [Текст] / К.В. Подмастерьев. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
2. Захаров, М.Г. Особенности диагностирования трибосистем электропараметрическими методами [Текст] / М.Г. Захаров // ОрёлГТУ. – Серия Машиностроение. Приборостроение. – Орёл: ОрёлГТУ, 2006. – №1. – С. 46–50.

Захаров Михаил Георгиевич, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»; тел.: 8(4862) 419876, e-mail: pms35@ostu.ru.

СЕКЦИЯ №9. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Руководители:

Савин Леонид Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг» ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орёл.

Иноземцев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные станочные системы» ТулГУ, г. Тула.

УДК 629.4.027.4: 656.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОМ ПРИВОДЕ ЛОКОМОТИВА

Пугачев А.А., Волохов С.Г., Измеров О.В.

Россия, г. Брянск, Брянский государственный технический университет

Корчагин В.О.

Россия, Москва, Российская открытая академия транспорта МИИТ

Рассмотрена задача влияния усилителей сцепления колес локомотива с рельсами, как средства снижения потерь энергии при движении поезда на конструкцию механической части тягового привода. С помощью метода реинвентирования определена логика рационального выбора между двумя вариантами решений. Установлено, что при использовании усилителей сцепления групповой привод дает больше возможностей для размещения устройств увеличения сцепления и упрощает задачу создания противобоксовочной системы.

Ключевые слова: тяговый привод, снижение потерь, система защиты от боксования, система «колесо-рельс»

The problem of choice the solution of locomotive traction drive with systems for minimization the losses of energy in system "traction motor-wheel-rail" by influence of a magnetic field and electric current is considered. The logic of a rational choice is defined. It is established that monomotor drive gives more possibilities to place the wheel-slip prevention devices and simplifies a wheel-slip prevention control system.

Key words: traction drive, losses minimization, wheel-slip prevention control system, "wheel-rail" system

Снижение потерь энергии путем оптимизации противобоксовочных устройств в системе "колесо-рельс" [1] требует изменения основной функции противобоксовочных устройств, а именно перехода от приведения режимов работы тягового привода в соответствие со стихийно формирующимися условиями сцепления к управлению самими условиями сцепления путем воздействия на систему «колесо-рельс». Рассмотрим, как влияет изменение данной функции на процесс выбора оптимальной схемы механической части тягового привода локомотива, конкретно – на выбор между индивидуальным и групповым приводом, с помощью метода анализа логики решений путем реинвентирования [2].

Удалось установить интервалы времени, когда возникала проблема выбора между индивидуальным и групповым приводом. Согласно периодизации [2], это начало этапа потребности в серийном производстве новых видов локомотивов, этапа реконструкции тяги и нынешнего этапа поиска инновационных решений тяговых приводов.

На этапе **начала серийного производства** тепловозов и электровозов основной решаемой проблемой было быстрое налаживание производства этих локомотивов на существующей технологической базе паровозного производства. Это определило конструктивную схему в виде параллельно-кривошипного привода [2]. С точки зрения потерь энергии такой групповой привод был неоптимален, поскольку ограничивал число

цепных осей расположением их в жесткой раме, и попытки увеличить силу тяги при ограниченном сцепном весе приводили к боксованию. Поэтому основным путем решения задачи стало предельное упрощение индивидуального привода.

На этапе **реконструкции тяги** и массового выпуска тепловозов и электровозов групповой привод за счет существенного улучшения сцепных свойств путем механического спаривания осей создавал принципиальную возможность снизить материалоемкость локомотива, совокупные затраты энергии на его производства, получить экономию энергии в эксплуатации за счет снижения энергозатрат на перемещение самого локомотива, а также на ремонт тяговых электродвигателей (ТЭД), за счет размещения их на раме тележки. Однако при производстве группового привода на той же технологической базе, что и локомотивов с индивидуальным приводом, для группового привода были выявлено наличие следующих проблем:

- ограничение мощности коллекторного ТЭД, приводящего несколько осей;
- рост стоимости изготовления тяговых передач и передаточных механизмов, приводящий к росту стоимости локомотива в целом;
- невысокое качество изготовления зубчатых передач, что вело к их износу, потерю зубьями эвольвентного профиля и, в результате, росту потерь энергии при передаче (например, к.п.д. одноступенчатой зубчатой передачи тепловоза с опорно-осевым приводом в соответствии с ГОСТ 2582-72 было положено принимать равным 0,965-0,915 в зависимости от мощности).
- более высокие динамические нагрузки, чем в индивидуальном, в режиме боксования [3].

Альтернативой групповому приводу в этот период было совершенствование индивидуального. Предполагалось, что механическое спаривание осей будет достаточно просто заменить электрическим посредством использования асинхронных ТЭД с питанием от общей шины, при этом надежность ТЭД даже при опорно-осевом приводе останется высокой благодаря более высокой устойчивости асинхронных ТЭД к ударным и вибрационным нагрузкам по сравнению с коллекторными. Реализация этого пути к нашему времени выявила ряд новых факторов, которые ранее не учитывались при выборе механической части тягового привода.

Во-первых, при питании от общей шины для снижения разброса токов между асинхронными ТЭД требуется повышение скольжения ротора ТЭД относительно магнитного поля статора до 0,04-0,06 в номинальном режиме [4], что увеличивает потери в обмотке ротора. В связи с этим, например, на электровозе 2ЭС10, применяется питание каждого ТЭД от индивидуального преобразователя частоты, с отдельными управлениями режимами для каждой оси. При этом на электровозе 2ЭС10 при возникновении избыточного скольжения колесной пары из-за ухудшения сцепления, система управления соответствующего тягового преобразователя снижает заданную силу тяги, а при повторяющейся потере сцепления этой колесной парой, для нее на некоторое время сила тяги снижается. Боксование определяется по несоответствию фактической активной мощности ТЭД и требуемой при отсутствии потери сцепления [5], т.е. когда скольжение колесной пары достигает значения, которое может зарегистрировать система управления, при этом к.п.д. пары «колесо-рельс» снижается на величину относительного скольжения. В то же время при механическом спаривании осей, даже незначительное увеличение упругого скольжения одной из колесных пар тележки приводит к перераспределению тяговой нагрузки на остальные колесные пары, предупреждая боксование до перехода от упругого к реальному скольжению всех сочлененных колесных пар.

Во-вторых, в эксплуатируемых локомотивах с бесколлекторными ТЭД из-за необходимости упрощения конструкции и ограничений по подшипникам, не полностью реализованы возможности снижения массы за счет реализации более высокой предельной окружной скорости ротора по сравнению с коллекторными ТЭД. Так, у грузового электровоза 2ЭС10 передаточное число одноступенчатой зубчатой передачи всего 3,44

(86:25), и при максимальной скорости электровоза частота вращения ротора составляет всего 1800 об/мин, в то время как для ТЭД электровоза E121 фирмы ABB-Henshel производства 80-х годов прошлого века максимальная частота вращения составляла около 4000 об/мин. При многоступенчатом редукторе в групповом приводе один двигатель таких габаритов и массы может приводить обе колесные пары тележки за счет повышения частоты вращения вдвое. Как показано в [6], предельная окружная скорость ротора асинхронной машины может быть доведена до 400 м/с (для массивного ротора) против 75 м/с у коллекторных ТЭД. Проблема надежности подшипников при высоком числе оборотов в групповом приводе решается легче за счет многопоточности быстроходной ступени передачи.

В-третьих, стоимость электровозов, имеющих привод с асинхронными ТЭД, в настоящее время значительно выше, чем коллекторных, за счет стоимости преобразовательного оборудования, в результате чего рост стоимости группового привода за счет усложнения тяговой передачи перестает играть такую важную роль, как раньше.

На современном *этапе поиска инновационных решений тяговых приводов* появляется возможность использования в производстве любых из применяемых в мировой практике технологий, в результате чего в качестве основной становится проблема надсистемы – снижение потерь энергии при боксовании с помощью увеличителей сцепления (УС), использующих воздействие тока и магнитного поля [1]. Известные конструкции групповых приводов могут быть достаточно легко приспособлены к установке оборудования для воздействия на контакт «колесо-рельс» электрического тока, поскольку колесная пара может быть без особых трудностей электрически изолирована от частей тележки, во избежание замыкания тока через тележку. Изолирующими элементами служат резиновые втулки поводков букс, передаточные механизмы (поводковые или с резинокордными муфтами), а в варианте с осевыми редукторами – резиновые втулки реактивных тяг редукторов.

При индивидуальном приводе колесная пара может быть легко изолирована от тележки только при опорно-рамном подвешивании ТЭД, при опорно-осевом приводе возникает проблема изоляции моторно-осевых подшипников. При размещении на тележке индуктора для воздействия на систему «колесо-рельс» магнитного поля, групповой привод, у которого двигатель удален от колесных пар, позволяет разместить обмотки индуктора на оси колесной пары, подобно тому, как это в порядке эксперимента делали на паровозах. В индивидуальном приводе для размещения обмотки индуктора усилителя сцепления на оси необходимо вводить в тяговую передачу промежуточные колеса или делать ее двухступенчатой. При этом теряется основное преимущество индивидуального тягового привода над групповым – простота конструкции.

С точки зрения динамических нагрузок при боксовании концепция применения усилителей сцепления основана на том, что данные усилители исключают работу привода в режиме боксования, и, таким образом, в этом плане индивидуальный и групповой привод становятся равноценны.

Результаты анализа логики выбора решения, представленные в виде схемы рис.1., приводят к выводу о необходимости проведения более глубоких исследований технико-экономических характеристик групповых тяговых приводов локомотивов в условиях применения усилителей сцепления по следующим причинам:

- групповые тяговые приводы дают больше возможностей для размещения на экипажной части локомотива усилителей сцепления, использующий воздействие на контакт колеса и рельса электрического тока и магнитного поля;

- механическое сочленение колесных пар в тележке, обеспечивая перераспределение тяговых усилий в соответствии с условиями сцепления колесных пар упрощает создание противобоксовочной системы для усилителей сцепления, сокращая число объектов, для которых необходимо прогнозировать изменение сцепных свойств, при этом исключение режима боксования дает синергический эффект, снижая динамические нагрузки в групповом приводе.

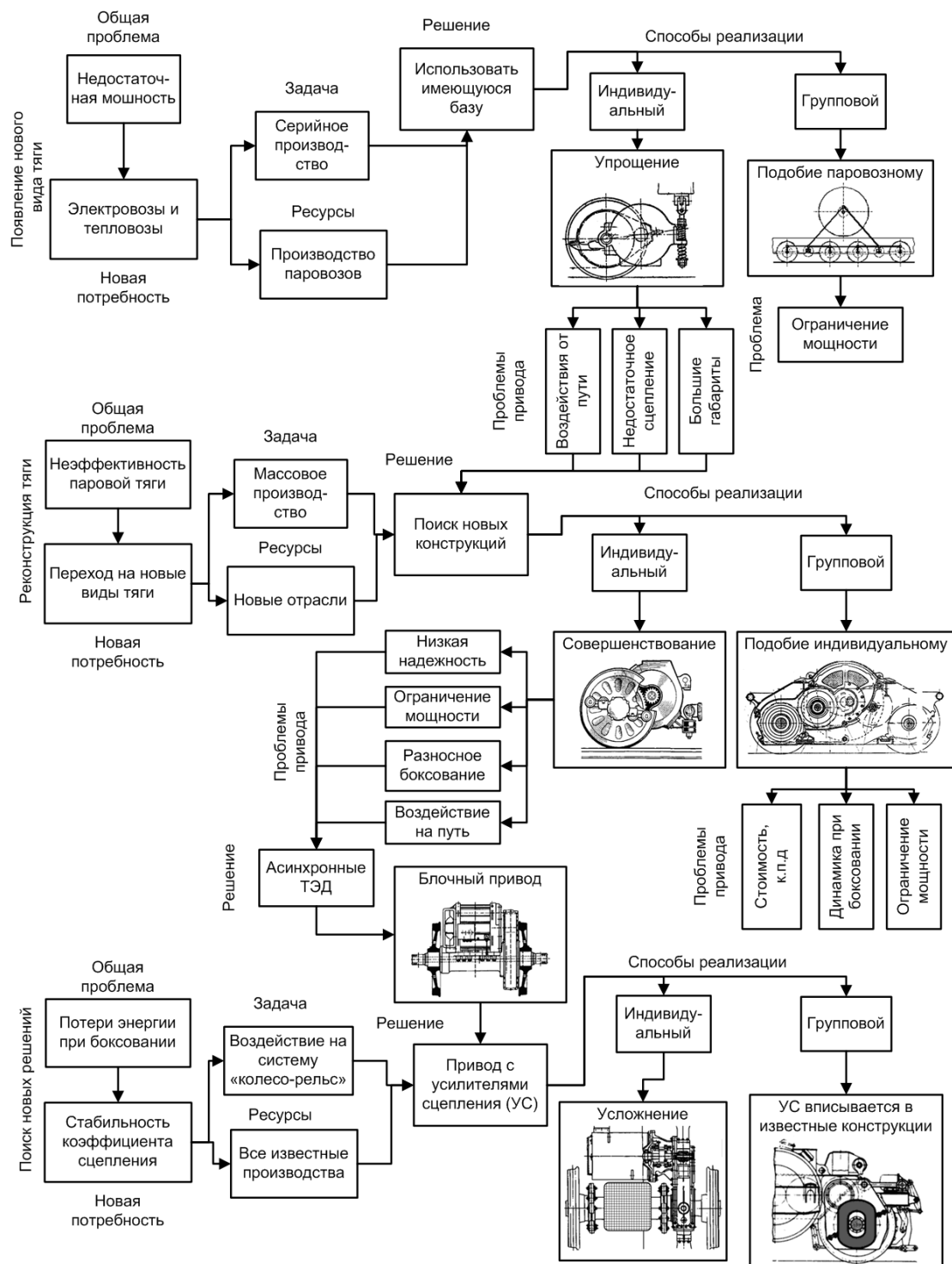


Рисунок 1 – Схема модели рационального выбора между групповым и индивидуальным тяговым приводом локомотива на разных стадиях развития

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, научный проект № 14-08-31274

Список литературы

1. Пугачев, А.А. Снижение потерь энергии путем оптимизации противобоксовочных устройств в системе «колесо-рельс» [Текст] / А.А. Пугачев, О.В. Измеров, С.Г. Волохов // 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. 239 – 242.

2. Измеров, О.В. Техническая инновационика. Рациональный выбор технических решений при проектировании: монография [Текст] / О. В. Измеров и др.; под ред. О. В. Измерова. – Орёл: Госуниверситет - УНПК, 2013. – 340 с.

3. Измеров, О.В. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин [Текст]: монография / О.В. Измеров и др.; под ред. чл.-кор. Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А. С. Космодамианского. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2013. – 415 с.

4. Захарченко, Д.Д. Подвижной состав электрических железных дорог. Ч.2. Тяговые электрические машины [Текст] : учебное пособие / Д.Д. Захарченко, П.Н. Шляхто // Издание второе, переработанное. М., Трансжелдориздат, 1959. – 236 с.

5. Электровоз грузовой постоянного тока с асинхронными электродвигателями. Руководство по эксплуатации, часть 1 ЭЭС10.00.000.000 РЭ., ОАО «СТМ», 2009. – 101 с.

6. Фаренюк, А.П. Установившиеся и переходные режимы асинхронного генератора с емкостным возбуждением для автономных энергоустановок: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / А.П. Фаренюк // Институт электродинамики АН УССР, Киев, 1984. – 266 с.

Пугачев Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, б-р. 50-летия Октября, д. 7; тел.: 8(919)1928870; alexander-pugachev@rambler.ru.

Измеров Олег Васильевич, соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, ул. Бузинова, д.2. кв. 6; тел.: 56-14-44; e-mail: izmerov@yandex.ru.

Волохов Станислав Григорьевич, соискатель кафедры «Детали машин», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, б-р. 50-летия Октября, д. 7.

Корчагин Вадим Олегович, ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав», Российская открытая академия транспорта Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ); 125993, Москва, Часовая ул., д. 22/2.

УДК 629.4.027.4: 656.2

МЕТОДЫ ПОИСКА КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ ЭНЕРГИИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Воробьев В.И., Измеров О.В., Волохов С.Г.

Россия, г.Брянск, Брянский государственный технический университет

Корчагин В.О.

Россия, Москва, Российская открытая академия транспорта МИИТ

Рассмотрена задача синтеза технического решения тягового привода локомотива с минимальными потерями энергии в системе «колесно-моторный блок-рельс» путем воздействия магнитного поля. Определены требования к идеальной схеме такого привода и предложен практически реализуемый вариант такой схемы.

Ключевые слова: тяговый привод, минимум потерь, магнитное поле, система «колесо-рельс»

The problem of synthesis of a technical solution of locomotive traction drive with the minimum losses of energy in system "traction motor-wheel-rail" by influence of a magnetic field is considered. Requirements to the ideal scheme of such drive are defined and almost realized version of such scheme is offered.

Key words: traction drive, minimum of losses, magnetic field, "wheel-rail" system

В настоящее время основным источником энергетических потерь в механической части тягового привода железнодорожного локомотива является контакт между колесом и рельсом. Как было показано в [1], существенное снижение потерь энергии в системе

«колесо-рельс» возможно путем создания противобоксочных устройств следующего поколения, в которых реализовано управление физическими свойствами колеса и рельса в точке контакта с помощью усилителей сцепления, регулирование которых осуществляется на основе прогнозирования изменения указанных свойств под влиянием внешних факторов, к которым в настоящее время можно отнести воздействие электрического тока и магнитного поля. Последнее представляет собой особенный интерес, поскольку известно, что воздействие магнитного поля на стальные детали позволяет улучшить их некоторые эксплуатационные свойства, в частности, износостойкость [2], и, это дает основания ожидать синергического эффекта от применения магнитных усилителей сцепления.

Основным препятствием для дальнейшего использования магнитных усилителей коэффициентов сцепления локомотива (МУКС) в настоящее время является недостаточный опыт создания таких конструкций и неоднозначные полученные результаты. Можно констатировать, что метод проб и ошибок к настоящему времени не позволил найти конструктивную схему МУКС, которая обеспечивала бы существенное повышение тяговых свойств локомотива при компоновке в габаритах его экипажной части. Авторы статьи предлагают использовать для поиска технических решений следующие принципы технической инноватики:

- создание классификации конструкций МУКС в виде схематизированного алгоритма перехода от базовых физических свойств узла к его конкретным конструкциям [3];
- анализ противоречий в требованиях к МУКС для каждой из конструктивных схем и выявление объективных противоположностей свойств узла, вызвавших указанные противоречия, как это было предложено в [4];
- формулировка технической идеи и возможных способов ее реализации.

Предложенная авторами классификация технических решений МУКС показана на рис. 1. Для ее построения была использована информация как об электромагнитных усилителях сцепления, т.е. устройствах, предназначенных для увеличения коэффициента сцепления в контакте «колесо-рельс» под воздействием магнитного поля, так и об электромагнитных догрузжателях, т.е. устройствах, предназначенных для увеличения нагрузки на ось локомотива с помощью магнитного поля, т.к. физической основой действия обоих видов устройств является создание магнитного поля, а применение электромагнитных догрузжателей также ведет к намагничиванию рельса.

Классификация имеет четыре уровня, каждому из которых соответствует свой критерий различения. На первом уровне МУКС предлагается различать по особенностям физики действия на МУКС с магнитной системой, которая близка к замкнутой, т.е. такой, у которой геометрические размеры воздушного зазора невелики по сравнению с размерами ферромагнитных элементов, и разомкнутой, в которой магнитный поток проходит в основном по воздуху. На втором уровне в качестве классификационного признака предложены особенности геометрии МУКС, т.е. расположение индуктора по отношению к колесу (на колесе, вне колеса, на оси колесной пары).

Третий уровень классификации представляет собой группировку МУКС по их конструктивным схемам, соответствующим геометрии их компоновки, а четвертый – примеры различных технических исполнений для каждой из схем. Соответственно, для разомкнутой магнитной системы при размещении индуктора на оси получаем схему с компоновкой обмоток МУКС вдоль оси, реализованную на опытном локомотиве СО17-2877, при размещении на колесе – хордовое размещение индуктора, который может быть подвешен к необрессоренным массам тележки, как в [5], или к обрессоренным, как в отечественном локомотиве ТЭМ2УС, вне колеса – в межосевом пространстве, как, например в [6,7], при этом индуктор также может быть расположен как на необрессоренных, так и на обрессоренных массах экипажа. Выбор замкнутой схемы магнитопровода индуктора и размещение его в колесе ведет к необходимости применять разрезное колесо с расположенными внутри секторными обмотками индуктора [8] либо с внешним индуктором, расположенным с торца колеса, обод которого разделен немагнитной вставкой

[9]. При расположении индуктора вне колеса компоновка индуктора на экипажной части аналогична индуктору с разомкнутой магнитной системой (например, [10]), и здесь различия предлагаемых решений в основном связаны со способами подвешивания индуктора к обрессоренным и необрессоренным частям.

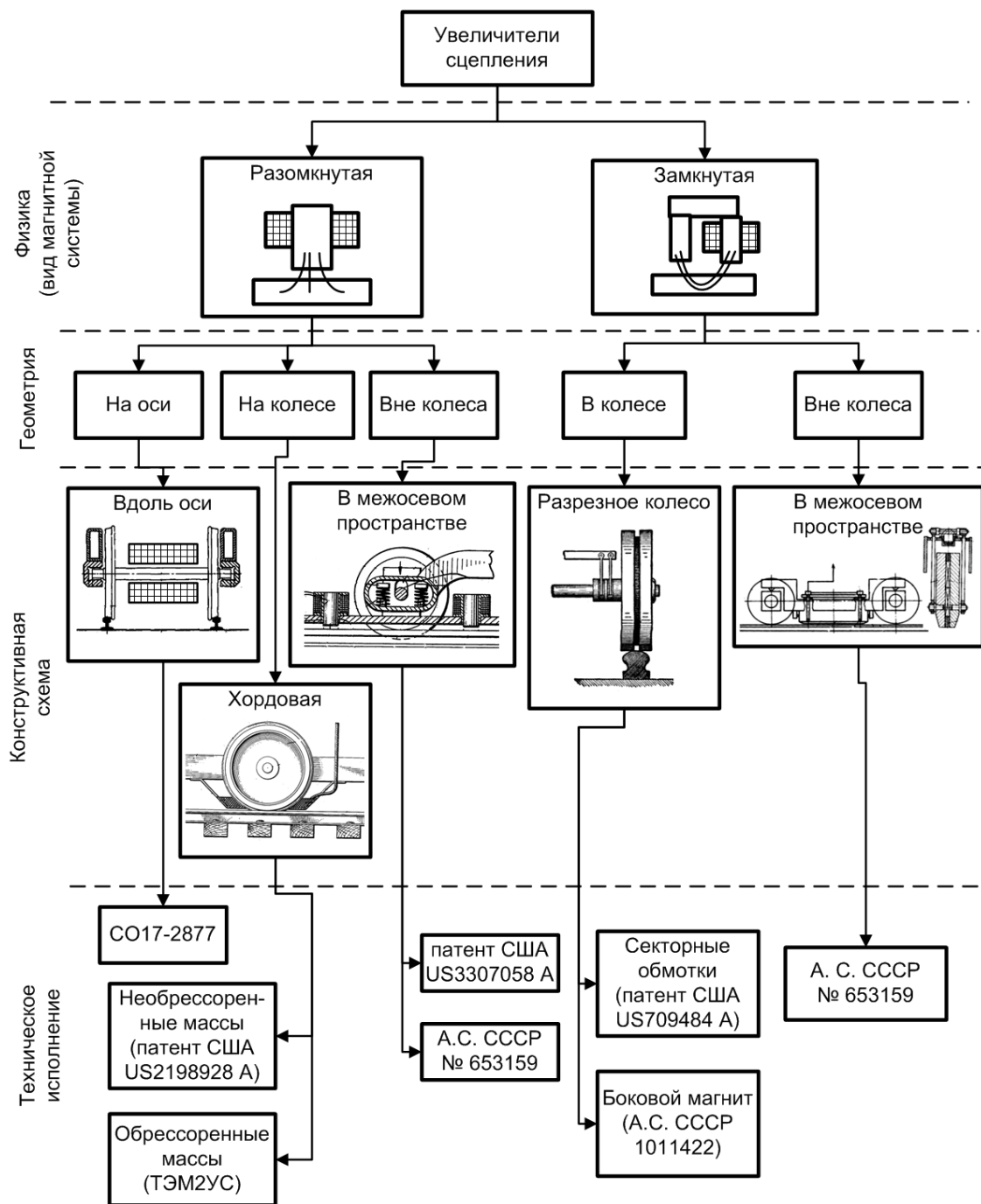


Рисунок 1 – Классификация технических решений увеличителей сцепления

Перейдем к анализу противоречий к требованиям для МУКС каждой из конструктивных схем.

При расположении обмотки индуктора вдоль оси колесной пары основным противоречием является то, что при использовании в качестве сердечника индуктора оси колесной пары для увеличения магнитного потока и, соответственно, эффективности МУКС, радиальные габариты обмотки должны быть по возможности больше, а для размещения электродвигателя тягового привода – по возможности меньше, т.к. обмотка расположена

между осью и корпусом электродвигателя. Располагать индуктор с отдельным сердечником параллельно оси колесной пары в этом случае нецелесообразно, т.к. возникают два дополнительных зазора между полюсами индуктора и дисками колес, а ось шунтирует магнитный поток, снижая напряженность поля в точках контакта колес с рельсом. В связи с этим данная схема была реализована на паровозе СО17-2877, где колеса приводятся дышловым механизмом, и потом в отечественной практике не использовалась.

При расположении обмотки индуктора вокруг колеса по его хорде возникают противоречия двух видов. Во-первых, это противоречия между размерами обмотки индуктора и ограничениями со стороны пути и других деталей экипажной части. Во-вторых, это противоречия между необходимостью уменьшить воздушный зазор между обмоткой индуктора, рельсом и колесом, и необходимостью увеличивать воздушный зазор для обеспечения вертикального и поперечного перемещения колесной пары. Противоречивость этих требований привели к низкой эффективности МУКС на тепловозе ТЭМ2УС, в результате чего предельная сила тяги при испытаниях возросла лишь на несколько процентов [11]. Крепление индуктора на необрессоренных массах экипажа (буксе и т.п.) для локомотивов, используемых на ж.д. путях общего назначения и имеющих конструкционную скорость 100 км/ч и выше, приводит к воздействию на индуктор высоких ускорений при проезде неровностей пути (порядка десятков g), что противоречит требованиям к механической прочности и надежности работы обмотки индуктора. Другое противоречие для хордовой компоновки индуктора заключается в том, что магнитный поток, создаваемый хордовой обмоткой, должен быть как можно больше для увеличения сцепления, и в то же время должен быть как можно меньше, для снижения сопротивления движению, вызванного появлением вихревых токов в колесе при его вращении в магнитном поле, созданном обмоткой.

Расположение индуктора между колесными парами позволяет снизить противоречия, обусловленные внешним ограничением габаритов, однако при креплении такого индуктора на обрессоренных массах экипажа его эффективность снижается вследствие необходимости обеспечить зазор между индуктором и рельсом порядка нескольких десятков миллиметров, при креплении индуктора к необрессоренным массам возникают те же проблемы, что и для описанных выше индукторов с расположением обмотки по хорде колеса. То же самое относится и к МУКС с замкнутой магнитной системой индуктора при размещении между колесными парами. В настоящее время В.В. Процивом, О.В. Новицким и А.И. Самойловым в [12] обосновано применение подобных МУКС для шахтных локомотивов в режиме торможения, с опусканием индуктора на рельс, как альтернатива электромагнитным рельсовым тормозам.

При расположении индуктора в самом колесе возникает противоречие, которое можно сформулировать так: «колесо должно быть разрезным, чтобы значительная часть магнитного потока проходила через контакт колеса и рельса, и должно быть цельным, чтобы различие в механических и, в частности, прочностных свойствах магнитной части колеса не различались». В то же время, учитывая общую тенденцию создания мотор-колес для низкопольного моторвагонного подвижного состава, нельзя отбрасывать принципиальную возможность создания для этого вида рельсового транспорта МУКС с размещением индуктора в колесе.

Из перечисленного следует, что компоновка МУКС для локомотивов должен отвечать следующим основным требованиям:

- в индукторе не должно быть собственных деталей магнитопровода, имеющих большой вес и материалоемкость, т.е. в качестве магнитопровода должны быть использованы сами детали экипажной части;
- компоновка должна обеспечивать достаточное пространство для размещения обмотки индуктора;
- между магнитопроводом и колесом не должно быть значительного промежуточного воздушного зазора, снижающего эффективность индуктора.

Указанным требованиям в наибольшей степени отвечает компоновка МУКС с обмоткой индуктора, размещенной вокруг оси колесной пары. Противоречие, вызванное габаритными ограничениями, в последнее время можно считать частично разрешенным за счет появления асинхронных электродвигателей, имеющих уменьшенные габариты и применения зубчатых передач с промежуточными колесами.

Список литературы

1. Пугачев, А.А. Снижение потерь энергии путем оптимизации противобоксочных устройств в системе «колесо-рельс» [Текст] / А.А. Пугачев, О.В. Измеров, С.Г. Волохов // 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. 239 – 242.
2. Комшина, А. В. Перспективность метода низкоэнергетической обработки материалов с использованием магнитного поля [Текст] / А.В. Комшина, А.С. Помельникова // «Наука и образование». – 2012. – № 9. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С. 463-488.
3. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава [Текст] / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // "Мир транспорта и технологических машин". – 2012. – №4 (39). – С. 53-60.
4. Измеров, О.В. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин: монография [Текст] / [О.В. Измеров и др.]; под ред. чл.- кор. Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А. С. Космодамианского. – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2013. – 415с.
5. Wehner David E. Electromagnetic traction increaser. Патент США US2198928 А, 2 декабря 1936 г.
6. Karel Kucera. Electromagnetic adhesion means for railroad locomotives. Патент США US3307058 А от 20 января 1964 года.
7. Магнитный догрузатель рельсового транспортного средства / В. В. Мишин, В. А. Зябрев, А. И. Лебедев, В. А. Салов и Э. М. Шляхов. Авторское свидетельство СССР № 653159, Бюл. № 4 30.01.87.
8. John Otto Heinze Jr. Magnetic wheel. Патент США US709484 А, 24 февраля 1902 г.
9. Устройство для увеличения давления колес транспортного средства на рельсы [Текст] / В.Л. Салов. Авторское свидетельство СССР № 1011422, Бюл. № 14. 15.04.83.
10. Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Устройство для увеличения нагрузки на оси рельсового транспортного средства [Текст] / В.Л. Салов, В. Б. Шацкин и В. Н. Дорожкин. Авторское свидетельство СССР № 653159, Бюл. № 34 (72). 15.09.84.
11. Ситников, Е.А. Исследования по повышению тяговых свойств маневровых тепловозов путем применения электромагнитного увеличения сцепления и более оптимальных схем соединения тяговых электродвигателей [Текст] / Е.А. Ситников, И.Н. Родионов, В.П. Гриневиц // Отчет ВНИТИ № И-108-82. – Коломна, 1982. – 83 с.
12. Проців В.В., Новицький О.В., Самойлов А. І. Переваги магнитореєкового довантажувача над рейковим галмом у шахтного локомотиві.- «Науковий вісник НГУ». – 2012. –№ 4. – С. 79-83.

Воробьев Владимир Иванович, канд.техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, б-р. 50-летия Октября, д. 7; тел.: 8(960)5643845.

Измеров Олег Васильевич, соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, ул Бузинова, д.2. кв. 6; тел. 56-14-44; e-mail: izmerov@yandex.ru.

Волохов Станислав Григорьевич, соискатель кафедры «Детали машин», Брянский государственный технический университет; 241035, г. Брянск, б-р. 50-летия Октября, д. 7.

Корчагин Вадим Олегович, ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав», Российская открытая академия транспорта Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ); 125993, Москва, Часовая ул., д. 22/2.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИМПЕДАНСА

Глинкин Е.И., Наумова А.В.

Россия, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет

Доказана эффективность способа аналитического контроля составляющих импеданса биологического объекта по точности и оперативности для систематизации закономерностей в информационную технологию проектирования.

Ключевые слова: эффективность, точность, оперативность, закономерности, импеданс, информационные технологии.

The effectiveness of the method of analytical control of the impedance components of a biological object to the precision and efficiency for systematization of patterns in information technology design is proved.

Key words: effectiveness, precision, efficiency, rules, impedance, information technology.

В последнее время широкое распространение получают направления научных и диагностических исследований биологических объектов, предусматривающие анализ параметров измеренного комплексного сопротивления (импеданса) различных участков тела биообъекта, так называемые импедансные методы.

В большинстве известных способов математическое обеспечение не представляет модели процесса в явном виде, что обуславливает необходимость применения итерационных алгоритмов поиска решения с последующим построением статистической градуировочной характеристики и аппаратной реализацией в приборах с жесткой структурой. Вследствие этого снижаются точность и оперативность измерений.

Вектор развития синтеза инноваций направлен в сторону высокоэффективных метрологических средств с а priori оптимальными характеристиками и параметрами, нормируемыми мерами границ диапазона и адаптивными эквивалентами автоматического контроля, простыми алгоритмами и моделями в явной форме, согласованными с компонентами компьютерных анализаторов.

Цель: повысить точность и оперативность измерения составляющих комплексного сопротивления биообъекта.

Задачи:

1. Провести анализ известных способов измерения составляющих импеданса биообъекта для выявления недостатков прототипа.
2. Представить инновационный способ, учитывающий закономерности прототипа.
3. Доказать метрологическую эффективность способа-инновации относительно прототипа по методической и динамической погрешности.

Известен способ определения составляющих импеданса биообъекта [1], заключающийся в том, что на биообъект подается через электроды импульс стабилизированного тока определенной полярности (например, положительной) и амплитудой I_0 . Вследствие емкостного характера реактивной составляющей импеданса биообъекта происходит переходной процесс нарастания напряжения на биообъекте, которое измеряется в фиксированные два момента времени t_1 и t_2 после начала импульса тока, получая соответственно значения напряжения U_1 и U_2 . Измерение в момент времени t_2 производится, когда емкость тканей биообъекта заряжена полностью и переходной процесс закончился.

Величина стабилизированного тока I_0 выбирается такой, чтобы за время действия импульса тока произошел полный заряд емкости тканей биообъекта. Тогда напряжение на биообъекте пропорционально величине активной составляющей импеданса биообъекта.

Активное сопротивление R биообъекта определяется по формуле (при параллельной схеме замещения биообъекта)

$$R = U_2 / I_0.$$

Эквивалентная емкость C тканей биообъекта вычисляется с помощью выражения

$$C = (I_0 / U_1 - 1 / R) \cdot t_1.$$

Недостатками способа являются: низкая точность из-за наличия динамической и методической погрешности и невысокая оперативность, вызванные необходимостью ожидания установившегося режима динамической характеристики.

В данном способе за информативные параметры принимаются переменные для статистической градуировки импеданса, что значительно отдаляет результаты измерений от истинных значений за счет регламентируемой дисперсии.

В инновационном способе определения составляющих импеданса биологического объекта [2] информативными параметрами служат предельные эквиваленты, а именно установившийся потенциал E и постоянная времени T импульсной динамической характеристики (ИДХ).

По аналогии со способом [1] на биообъект подается импульс стабилизированного тока, измеряется напряжение на биообъекте в фиксированные два момента времени после начала импульса тока. В способе [2] дополнительно измеряется амплитуда стабилизированного тока I_0 , моменты времени фиксации напряжения представляют собой t_1 и t_2 , причем $t_2 = 2t_1$; а в качестве составляющих импеданса биообъекта определяют активное сопротивление R и эквивалентную емкость C тканей биообъекта, которые рассчитывают по следующим формулам:

$$R = E / I_0,$$

где E – установившееся значение потенциала с постоянной времени T ,

причем предельные эквиваленты оптимизируют по алгоритмам:

$$E = U_1^2 / (2U_1 - U_2),$$

$$T = -t_1 / \ln(U_2 / U_1 - 1),$$

где U_1 и U_2 , соответственно, напряжение на биообъекте в моменты времени t_1 и t_2 ;

при этом $C = T / R$.

Методика способа позволяет расширить диапазон измерений и осуществить переход от построения статистических зависимостей к применению высокоэффективных калибровочных характеристик.

Повышение точности за счет исключения методической и динамической погрешности приведем на примере активного сопротивления:

$$R = U / I = E (1 - e^{-t/T}) / I_H \cdot e^{-t/T},$$

где $R_H = \text{const}$ - информативный параметр ИДХ сопротивления.

Эффективность по точности определяется нелинейностью η сопротивления R относительно постоянного сопротивления R_H способа [2]:

$$\eta = R / R_H = (e^{t/T} - 1).$$

Сопротивление $R=R(t)$ в способе [1] нелинейно, изменяется по экспоненте относительно постоянного параметра R_n способа [2], что обусловлено методической погрешностью.

Динамическая погрешность ε определяется нелинейностью η :

$$\varepsilon_i = |(R_0 - R)/R_0| = |1 - R/R_0| = |1 - \eta|,$$

т.е. $\varepsilon_i = |e^{t/T}|$ и также растет по экспоненте с увеличением времени t , в то время как мгновенное значение U ИДХ стремится по асимптоте к установившемуся потенциалу.

Следовательно, способ [2], в отличие от способа [1], устраняет и методическую, и динамическую погрешность.

Повышение оперативности способа [2] оценивается эффективностью времени измерения t . В способе [2] $t \leq T$ измерения не превышает постоянную времени, а для способа [1] в 3-5 раз больше $t_n = (3-5)T$ для погрешности (5-1)% определения установившегося потенциала E .

Из эффективности, $\eta_t = (3-5)T/T = (3-5)$ следует, что оперативность предлагаемого способа в 3-5 раз выше известных способов.

Выводы:

1. Способы определения составляющих комплексного сопротивления биообъекта, использующие информативными параметрами переменные величины для статистической градуировки импеданса, обладают низкой точностью и оперативностью из-за методической и динамической погрешности, регламентируемой метрологическими стандартами итерационного анализа и оценки приборов с жесткой структурой.

2. Способы, отражающие физику процесса по адекватным моделям в явном виде с алгоритмами оптимизации информативных параметров калибровочных характеристик, позволяют измерять импеданс в адаптивном диапазоне с нормируемой точностью и оперативностью известных мер границ аналитического контроля.

3. Повышение метрологической эффективности достигается исключением методической и динамической погрешности благодаря систематизации закономерностей анализа и синтеза в информационную технологию проектирования высокоэффективных метрологических средств компьютерных анализаторов с гибкой ассоциативной архитектурой.

Список литературы

1. А. с. 1397024 (СССР), МКИ А 61 В 5/05. Способ определения составляющих импеданса биологического объекта и устройство для его осуществления / И.Ф. Барцлавский, А.В. Галиновский, В.З. Кузьменко. – 1988. – Б.И. № 19.

2. Патент 2509531 (РФ) по заявке 2012128278/14, кл. А61В5/053. Способ определения составляющих импеданса биообъекта / Е.И. Глинкин, А.В. Наумова. – 2014. – Бюл. № 8.

Наумова Анна Викторовна, магистрант кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; г. Тамбов, ул. Моршанское шоссе, д. 40а, кв. 28; тел: 8(953)7296782; e-mail: anna.naumova.19911@mail.ru.

Глинкин Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; г. Тамбов, ул. Ленинградская, 8, кв. 3; тел.: 8(910)8516847; e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Коробов А.А., Глинкин Е.И.

Россия, Тамбов, ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет

Проведён анализ существующих оценок регулирования и предложена оптимальная мера оценки эффективности позиционного регулирования на примере прецизионного критерия для повышения эффективности и точности управления.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, регулирование, автоматизация

The analysis of existing and proposed management evaluations assess the effectiveness of the optimal measure of position control on the example of the precision criteria to improve the efficiency and accuracy of control.

Key words: intelligent technology, regulation, automation.

Автоматизация процессов регулирования климатических параметров объектов – сложная задача из-за ручной настройки оператором коэффициентов ПИД регулирования последовательным приближением к произвольным параметрам ненормированными случайными мерами характеризуется грубой воспроизводимостью и низкой достоверностью, исключающими автоматическое регулирование [1 – 3].

Цель: повышение достоверности и объективности меры оценки эффективности позиционного регулирования методом анализа исследуемых характеристик с нормируемыми эквивалентами.

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.

Основными критериями оценки качества работы пропорционального регулирования являются погрешность и время выхода на установившееся значение динамической характеристики.

Стандартной и самой распространённой мерой оценки считается разность между установившимся и текущим значением, что объясняется простотой её вычисления [1,2]. Но достоверность и объективность этой оценки условны из-за отсутствия оптимального эквивалента.

Относительная погрешность стандартного критерия находится по формуле :

$$\varepsilon_1 = \frac{E-U}{E}.$$

Для доказательства или опровержения гипотезы о целесообразности использования стандартной меры оценки введём две следующих меры оценки, мультипликативно-симметричную и прецизионную меру.

Погрешность по мультипликативно-симметричному критерию (МСК) вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_2 = 1 - \frac{\sqrt{EU}}{\frac{1}{2}(E+U)}.$$

Погрешность по прецизионному критерию вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_3 = \left(\frac{E-U}{E+U} \right)^2.$$

На рис.1 показан вид графика П-регулирования, на котором погрешность по стандартному критерию [2] находится по формуле: $\Delta=E-U$, где E – это установившееся значение, а U – значение в данный момент времени.

На рис. 1 показаны графики временных характеристик наиболее оптимально отрегулированного в ручном режиме стандартного 1 критерия, МСК 2 и прецизионного 3 критерия.

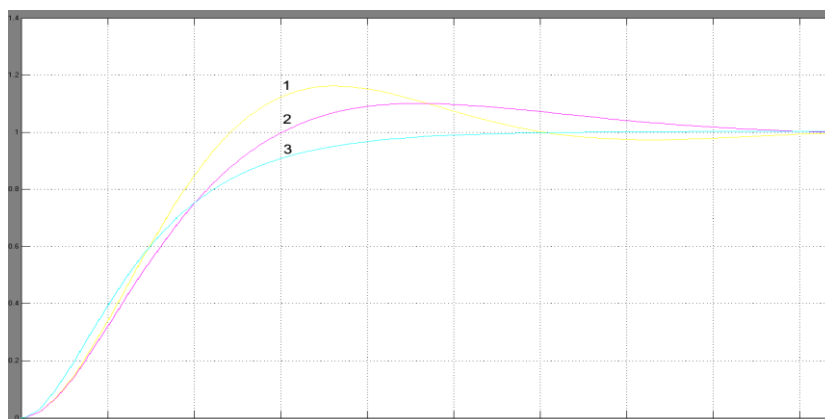
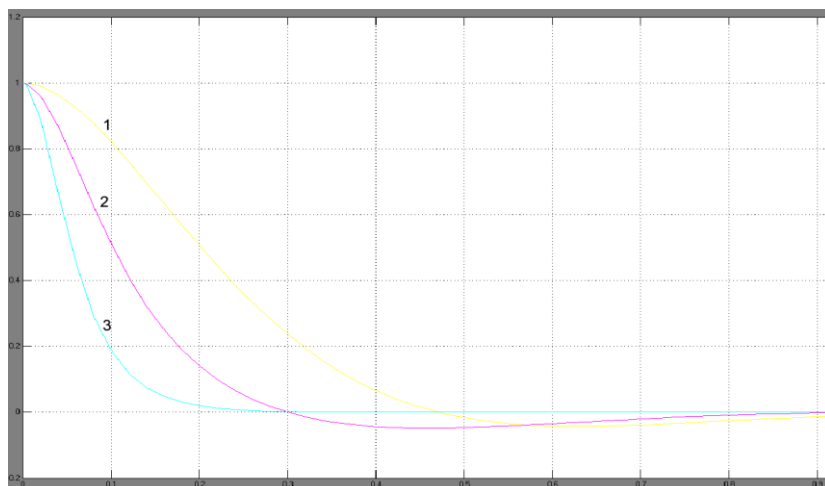


Рисунок 1 – Амплитудно-временные динамические характеристики регулирования по критериям: 1 – стандартный, 2 – мультипликативно-симметричный, 3 – прецизионный

Качественный анализ рис. 1 показывает повышение эффективности выхода на режим характеристик от стандартного 1 до прецизионного 3 критерия, а по критерию 2 – находится между ними. Количественный анализ параметров регулирования оценивают по графикам погрешности регулирования, результат моделирования которых иллюстрирует рис. 2.



**Рисунок 2 – Графики погрешностей регулирования
1 – стандартный критерий, 2 – МСК, 3 – прецизионный**

Эффективность по точности рассчитаем из отношения относительных погрешностей стандартного 1 и прецизионного 3 критериев, что позволяет узнать, во сколько один критерий эффективнее другого:

$$E = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{0.50}{0.02} = 25 \cdot$$

Также эффективность оперативности регулирования находят из отношения времён, соответствующих определённому значению погрешности:

$$E = \frac{t_1}{t_2} = \frac{0.32}{0.1} = 3,2 \cdot$$

Как видно из эксперимента, прецизионный 3 критерий эффективнее стандартного 1 в 25 раз, что позволяет сделать вывод о его пригодности для автоматизации процесса регулирования до оптимального нормированного эквивалента.

Качество любой системы регулирования определяется величиной погрешности при регулировании. Для проведения анализа (см. рис.2) зафиксируем значение $t=0.2$ и оценим значение погрешности при фиксированном времени (табл.1).

Таблица 1 – Погрешность

Виды регулирования (время= 0.2)	Погрешность:
Стандартный 1	0.50
Мультипликативно-симметричный 2	0.13
Прецизионный 3	0.02

Количественный анализ табл.1 показывает снижение погрешности регулирования с 50% для стандартного 1 к 13% МСК до 2% прецизионного 3, причем погрешность 3 в 6,5 раз ниже значения 2 и в 25 раз лучше стандарта 1.

Для анализа оперативности зафиксируем уровень 0,2 погрешности (см. рис.2) и оценим текущее значение времени (табл.2).

Таблица 2 – Оперативность

Виды регулирования (погрешность= 0.2)	Значение t , с
Стандартный 1	0.32
Мультипликативно-симметричный 2	0.18
Прецизионный 3	0.1

Количественный анализ табл.2 отражает снижение времени регулирования с 0,32 для стандартного 1 к 0,18 МСК и до 0,1 прецизионного 3, причем оперативность 3 в 1,8 раза ниже значения 2 и в 3,2 раза лучше стандарта 1.

Выводы:

1. Проведён сопоставительный анализ стандартной, мультипликативной и прецизионной мер эффективности для их оценки по точности и оперативности.
2. Выявлен оптимальный эквивалент меры – прецизионный критерий, который обладает наименьшей погрешностью и минимальным временем регулирования.
3. Предложен критерий автоматического регулирования – прецизионный критерий.
4. Построено семейство динамических характеристик погрешности регулирования для оценки параметров регулирования.
5. Выявлена эффективность критериев от стандартного через мультипликативный к прецизионному, что убедительно доказывает оптимальность прецизионного критерия для автоматического регулирования в адаптивном диапазоне контроля.

Список литературы

1. Глинкин, Е.И. Техника творчества: Монография [Текст] / Е.И. Глинкин - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2010. – 168 с.
2. Пат. 2153697 (РФ), МКИ G05B17/00. Способ автоматического управления системами [Текст] / Р.И. Фурунжиев. - № 97107392/09; заявл. 24.04.1997; опубл. 27.07.2000.

Коробов Артём Андреевич, магистрант ТГТУ; тел.: 8(960)6659971; e-mail: korobov91@gmail.com.
Глинкин Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Заслуженный изобретатель Российской Федерации; г. Тамбов, ул. Ленинградская, 8, кв. 3; тел.: 8(910)8516847; e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Глинкин Е.И.

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Закономерности информатизации показывают развитие итерационного анализа от операторов, алгоритмов и итерационного синтеза с результатами после эксперимента (post factum) к синтезу по закономерностям и информационным технологиям с результатами, которые оптимизируют до эксперимента (a priori).

Ключевые слова: закономерности информатизации, анализ и синтез, технологии проектирования и оценок эффективности, жесткая структура, гибкая архитектура МИС.

Abstract: regularities of informatization show development of the iterative analysis from operators, algorithms and iterative synthesis with results after experiment (post factum) to synthesis on regularities and information technologies with results which optimize before experiment (a priori).

Keywords: regularities of informatization, analysis and synthesis, technologies of design and efficiency estimates, rigid structure, flexible architecture.

Развитие оценок от постфактумной стандартной метрологии тестеров с жесткой структурой [1, 2] до априорной эффективности метрологических средств МИС, согласованными с универсальным математическим обеспечением гибкой архитектуры [3, 4] – длительный закономерный процесс интеграции микроэлектроники с измерительной техникой, обусловленный компьютерными технологиями информатизации. Информатизация – закономерный результат электрификации при интеграции базисов микроэлектроники в информационное обеспечение с согласованными признаками в координатах адресации метрологических и аппаратных средств, математического и программного обеспечения.

Информатизация базисов микроэлектроники организована развитием от ПП к СИС аппаратных средств в БИС с программным обеспечением гибкой архитектуры для создания универсального математического обеспечения ПК и высокоэффективных метрологических средств с априори оптимальными характеристиками МИС, дифференцированными по оценкам качества, количества и анализа на микроконтроллеры, микропроцессорные измерительные приборы и компьютерные анализаторы. Априорная эффективность метрологических средств диктует теоретические знания науки и практические навыки техники, закономерности технологии творчества и меры воспитания культуры, как неделимой совокупности мировоззрения изобретателя инноваций.

Анализ (от греч. analysis – разложение), расчленение (мысленное или реальное) объекта на элементы. Анализ неразрывно связан с синтезом (от греч. synthesis – соединение), соединение элементов в единое целое (систему). Беспечное деление целого на части приводит к хаосу и разрухе, свалке и нагромождению. Поэтому анализ – целенаправленная последовательность действий для решения поставленной задачи, что в технике соответствует определению способов, которые развиваются от операторов и алгоритмов к методам и технологиям.

Из определения следует, что решение – конечный результат анализа, как предварительной последовательности действий. В простейшем случае анализ сводится к делению целого на части a priori и получению решения после (post factum). В отличие от тривиального операторного анализа, результатом информационных технологий служит синтез нового решения. Например, при анализе структурных схем или формул методом единиц и нулей в результате цифровой технологии синтезируют таблицу истинности или состояния, алгоритм программы или временные диаграммы. Приведенный пример лишь подтверждает развитие анализа к синтезу от простых операторов к сложным алгоритмам, от стандартных методов к информационным технологиям. Следовательно, тривиальный операторный анализ в начале (a priori) делит целое на части для получения в конце деления

(post factum) банка данных из несистематизированных элементов (компонент или признаков для их систематизации или синтеза).

Операторный и алгоритмический анализ по регламентированным правилам дифференцирует функцию на формы представления за счет мощного математического аппарата электротехники (алгебраические и тригонометрические исчисления, комплексные переменные и операторные методы). Электротехников и энергетиков удовлетворяют результаты анализа post factum в процессе эксплуатации стандартного электрооборудования. Однако, при проектировании новых решений анализ по жестким правилам приводит к синтезу по итерационным методам. Методический анализ сводит синтез к эвристическим поискам или последовательным переборам с результатом в виде неизвестного решения (фантома, псевдоновации) с эфемерными критериями и мерами, субъективными правилами и оценками.

В отличие от алгоритмического анализа, с желаемыми при эксплуатации результатами post factum, синтез итерационным анализом не имеет смысла, т.к. приводит к псевдоновации, исключая объективные решения. Если анализ предполагает мониторинг результатов эксплуатации post factum, характеристики и параметры которых стабильны или стареют, то синтез – инверсия анализа, его результат a priori лучше прототипа с желаемыми признаками и компонентами – эквивалентами, реализующими закономерности творчества. Синтез – это создание инновации по оптимальному плану, интегралу известных закономерностей с оценками по дифференциалу эквивалентов. Синтез – это целенаправленная последовательность создания инновации из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам. В отличие от анализа по факту, синтез a priori включает закономерности-эквиваленты: эталонные характеристики с информативными параметрами, алгоритмы их оптимизации по нормированным мерам образцов, - для их систематизации в информационные технологии.

Тестеры с жесткой структурой, копирующие по аналогии фиксированную среднестатистическую градуировочную характеристику из-за ограниченности комбинаторных схем, анализируют измерения после эксперимента в диалоговом режиме с оператором по стандартным правилам метрологической аттестации в соответствии с ГОСТ.

МИС с гибкой архитектурой, систематизирующие в адресном континууме известные a priori закономерности благодаря избыточности топологии ПЛИС, синтезируют инновации из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам, в соответствии с информационными технологиями проектирования и идентификации компьютерных анализаторов.

Как способы сравнения и оценок, анализ развивается от простых операторов через сложные алгоритмы к синтезу, а синтез по методу итерационного анализа преобразуется в синтез по закономерностям для их систематизации в информационные технологии проектирования и идентификации.

Следовательно, вектор развития анализа направлен от операторов, алгоритмов и итерационного синтеза с результатами после эксперимента (post factum) к синтезу по закономерностям и информационным технологиям с результатами, которые оптимизируют до эксперимента (a priori).

Выводы:

1. Эволюция мировоззрения творчества основана на диалектическом развитии процесса познания при интеграции обучения теоретическим знаниям науки в образование практических навыков техники, через созидание творческой технологии искусства к воспитанию нормированных оценок культуры.

2. Аппаратные средства формируются 40 лет от ПП и ИС к СИС благодаря совершенствованию интегральной и планарной технологий в функциональную, с увеличением крутизны роста по экспоненте и сокращением сроков развития базисных структур микроэлектроники с 32 до 19 лет. Интегральные схемы аппаратных средств копируют по аналогии принципы действия неуправляемых алгоритмов обмена,

преобразования и управления информационных процессов фиксированными аппаратными соединениями жесткой структуры узкоспециализированной тестера с метрологической оценкой после (post factum) эксперимента.

3. Пятнадцатилетняя революция программного обеспечения инициирована полувековой эволюцией топологии схем аппаратных средств для их интеграции в гибкую архитектуру технических средств, логически завершая этап электрификации НТР для начала отсчета эры информатизации. БИС отличаются от жесткой структуры аппаратных средств гибкая архитектура и функциональная специализация технических средств, обусловленные программным обеспечением в систематизированном адресном континууме.

4. Десятилетняя революция математического обеспечения – результат многовековой эволюции механизации, автоматизации и электрификации на этапе информатизации компьютерных технологий. Компьютерные технологии организуют на единой платформе со стандартными операторами программирования БИС универсальные блоки эквивалентов программ ПК для реализации гибкой ассоциативной архитектуры с помощью универсального математического обеспечения.

5. Метрологические средства рождены из постфактумной оценки стандартной метрологии узкоспециализированных тестеров с градуировочными характеристиками множества случайных переменных среднестатистических измерений и развились до априорной эффективности интеллектуальной технологии аналитического контроля. Технологии контроля учитывают информационные закономерности линейного преобразования без дрейфа по нормируемым мерам с гальванической развязкой, за счет выполнения условий оптимизации: избыточности усиления, равновесия моста и виртуальной земли.

6. Вектор развития технологий направлен от интегральной ПП и планарной ИС к функциональной СИС аппаратных средств, а через матричную технологию БИС и компьютерную СБИС математического обеспечения к интеллектуальной технологии контроля МИС с высокоэффективными метрологическими средствами эквивалентов, учитывающими объективные закономерности информатизации. Вектор развития анализа направлен от операторов, алгоритмов и итерационного синтеза с результатами после эксперимента (post factum) к синтезу по закономерностям и информационным технологиям с результатами, которые оптимизируют до эксперимента (a priori).

Список литературы

1. Алексеев В.В. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] / под ред. В.В. Алексеева. - М.: Академия, 2008. – 384 с.
2. Глинкин, Е. И. Адекватность инноваций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://Glinkinei.ru/Наука-НТМ-2013>.
3. Глинкин, Е. И. Техника творчества [Текст] / Е.И. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 168 с.
4. Глинкин, Е. И. Схемотехника микропроцессорных средств [Текст] / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов: ТГТУ, 2013.-148с.

Глинкин Евгений Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Заслуженный изобретатель Российской Федерации; г. Тамбов, ул. Ленинградская, 8, кв. 3; тел.: 8(910)8516847; e-mail: glinkinei@rambler.ru.

Пеньков В.Б, Саталкина Л.В.

Россия, Липецк, Липецкий государственный технический университет

Рыбакова М.Р.

Россия, Москва, Университет Машиностроения

Проведено сравнение решений довольно сложной задачи теории упругости для многополостного тела двумя методами: методом граничных состояний (МГС) и алгоритмом Шварца, «вооруженным» МГС с точки зрения затрат вычислительных ресурсов. Обосновано ресурсосбережение второго подхода; эффективность продемонстрирована на задаче об упругом кубе с двумя сферическими полостями различных диаметров.

Ключевые слова: метод граничных состояний, алгоритм Шварца, полости, упругое многополостное тело.

Comparison of the solutions of complicated problems of the elasticity theory for body with many cavity is done using two methods: the method of boundary states (MBS) and the algorithm of Schwartz, "armed" with MBS from the point of view of the cost of computing resources. Resource-saving of second method is justified; effectiveness is demonstrated by the problem of elastic cube with two spherical cavities of various diameters.

Key words: method of boundary states, algorithm of Schwartz, cavities, elastic body with many cavities.

Альтернирующий алгоритм заявлен Шварцем во второй половине XIX века в двумерных краевых задачах для оператора Лапласа со сложной геометрией тела. В XX веке он был распространен на двумерные и трехмерные объекты математической физики, в том числе задач теории упругости [1]. В случае n -связного тела его процедуру коротко можно охарактеризовать так: последовательность повторяющихся групп из n односвязных объектов, в совокупности определяющих тело, образует счетное множество задач для односвязных тел. В первой группе этой последовательности участвуют граничные условия (ГУ) для тела. Задачи решаются поочередно. По решению каждой задачи в ГУ последующих задач вносятся корректирующие поправки, вызванные возмущением от решения текущей задачи. Процесс перебора задач продолжается до достижения необходимой точности.

Метод граничных состояний опирается на понятия внутреннего и граничного состояний, под которыми понимаются наборы характеристик $\xi = \{u_i, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}\}$, $\gamma = \{u_i|_{\partial V}, p_i|_{\partial V}\}$ соответственно, где u_i, p_i – компоненты векторов перемещений и усилий, $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ – компоненты тензоров напряжений и деформаций, ∂V – оператор взятия границы тела. Гильбертовы пространства внутренних и граничных состояний сопряжены изоморфизмом, что позволяет свести изучение внутреннего состояния к соответствующему граничному. Базис для ограниченного тела с полостью набирается по формулам, выражающим общее решение Аражных – Слободянского для внутренней и внешней компактной границы [2]:

$$u_i = 4(1-\nu)B_i + x_j B_{i,j} - x_i B_{j,j}, \quad u_i = 4(1-\nu)B_i - (x_j B_j)_{,i},$$

B_i – компонента произвольного гармонического вектора $\mathbf{B} \in \{\{\varphi, 0, 0\}, \{0, \varphi, 0\}, \{0, 0, \varphi\}, \dots\}$. Для первого шаблона φ – элемент систем линейно независимых гармонических многочленов [3], для второго – $\varphi \in \{1/r, x/r^3, y/r^3, z/r^3, yz/r^5, xz/r^5, xy/r^5, \dots\}$. Ортогонализация выполняется в соответствии с определениями скалярных произведений:

$$(\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi} \equiv \int_V \sigma_{ij}^{(1)} \varepsilon_{ij}^{(2)} dv, \quad (\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = \int_{\partial V} p_i^{(1)} u_i^{(2)} ds, \quad (\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = (\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi}$$

После ортогонализации базиса атрибуты результирующего внутреннего и граничного состояний представляются соответственно рядами Фурье по элементам ортонормированного базиса:

$$u_i = \sum_k c_k u_i^{(k)}, \quad \sigma_{ij} = \sum_k c_k \sigma_{ij}^{(k)}, \quad \varepsilon_{ij} = \sum_k c_k \varepsilon_{ij}^{(k)}.$$

$$u_i|_{\partial V} = \sum_k c_k u_i^{(k)}|_{\partial V}, \quad p_i|_{\partial V} = \sum_k c_k p_i^{(k)}|_{\partial V}.$$

Основные потери времени в МГС связаны с расчетом матрицы Грама при ортогонализации, которая опирается на все перекрестные скалярные произведения. Если для каждого тела удерживается m элементов базиса, то матрица Грама имеет размерность $(m \cdot n) \times (m \cdot n)$. Матрица Грама вычисляется единожды и не зависит от номера итерации; совокупные затраты времени для заполнения n матриц Грама оцениваются величиной $t_0 \sim n \cdot m \cdot (n \cdot m + 1)$.

Основная идея ресурсосбережения заключается в сочетании МГС с алгоритмом Шварца. Такой симбиоз методов экономит время вычисления матрицы Грама. Если для каждого тела удерживается m элементов базиса, то матрица Грама имеет размерность $m \times m$ и требует для заполнения $m \cdot (m + 1)$ операций по вычислению скалярных произведений, определяемых поверхностными интегралами. Поскольку для тела матрица Грама вычисляется единожды и не зависит от номера итераций, то совокупные затраты времени для заполнения n матриц Грама оцениваются величиной $t_1 \sim n \cdot m \cdot (m + 1)$.

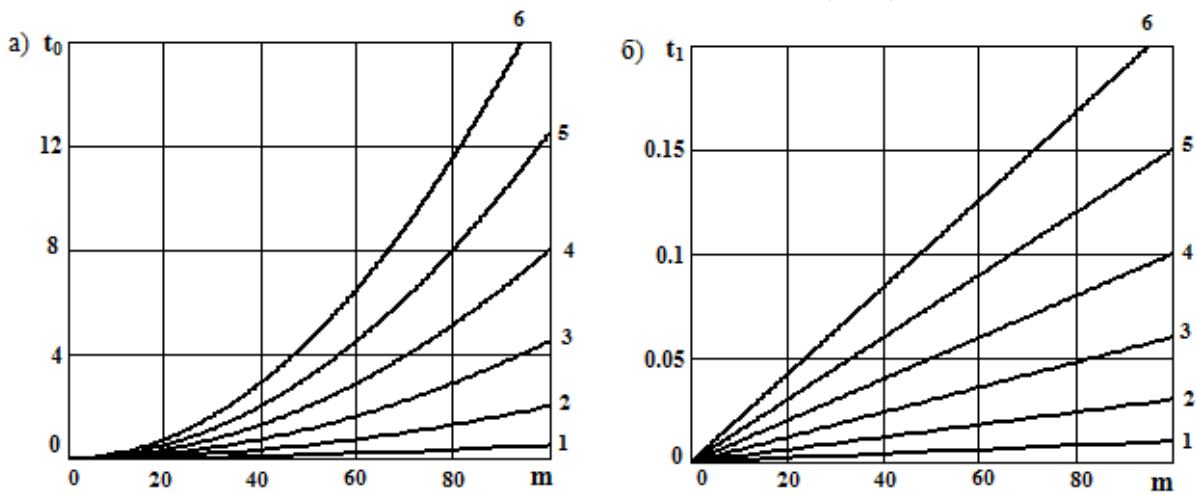


Рисунок 1 – Зависимость времени счета от длины удерживаемого отрезка базиса
а) использование МГС; б) использование МГС в алгоритме Шварца

На рис. 1 а, б сопоставлены зависимости времени счета матриц Грама в двух методах. Каждому графику из серий соответствует количество связанных участков границы $n \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, причем большему значению n соответствует график, расположенный выше. Отличие во временных затратах в двух методах составляет порядок.

В качестве примера решена задача: упругий куб (безразмерные постоянные Ламе $\lambda = \mu = 1$), занимающий в пространстве $Oxyz$ область $V_1 = \{(x, y, z) \in R^3 | -4 < x, y, z < 4\}$, ослаблен сферическими полостями $V_2 = \{(x, y, z) \in R^3 | \sqrt{(x+2)^2 + y^2 + z^2} < 1\}$ радиуса 1.5 с центром в точке $(-2, 0, 0)$, $V_3 = \{(x, y, z) \in R^3 | \sqrt{(x-2)^2 + y^2 + z^2} < 1\}$ радиуса 1 с центром в точке $(2, 0, 0)$. Замкнутая область $[V] = [V_1] \setminus (V_2 \cup V_3)$ ограничена поверхностями $\partial V = \bigcup_{j=1}^8 S_j$,

$$S_{1,2} = \{(x, y, z) \in R^3 | x = \mp 4, -4 < y, z < 4\}, \quad S_{3,4} = \{(x, y, z) \in R^3 | y = \mp 4, -4 < x, z < 4\},$$

$$S_{5,6} = \{(x, y, z) \in R^3 | z = \mp 4, -4 < x, y < 4\}, \quad S_7 = \partial V_2, \quad S_8 = \partial V_3,$$

где ∂ есть «оператор взятия границы» тела. Поверхности S_5, S_6 нагружены:

$$\mathbf{p} = \{0, 0, 1\}, (x, y, z) \in S_5, \quad \mathbf{p} = \{0, 0, -1\}, (x, y, z) \in S_6,$$

остальные поверхности свободны от нагрузки:

$$\mathbf{p} = \{0,0,0\}, (x, y, z) \in \partial V_1 = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_7 \cup S_8.$$

Требуется восстановить напряженно-деформированное состояние тела.

Для построения решения достаточным оказалось выполнение трех итераций методом Шварца над группой тел: 1) куб V_1 , 2) полость V_2 , 2) полость V_3 . Базис состояний для тел V_1 набирался по первому шаблону и содержал 80 элементов, для тел V_2, V_3 – по второму шаблону и содержал по 75 элементов. Ортогонализация базисов проводилась с использованием рекурсивного матричного алгоритма [4]. Для каждого тела во всех итерациях ставилась первая основная задача.

Результаты имеют аналитический вид и представлены в графической форме (рис. 2).

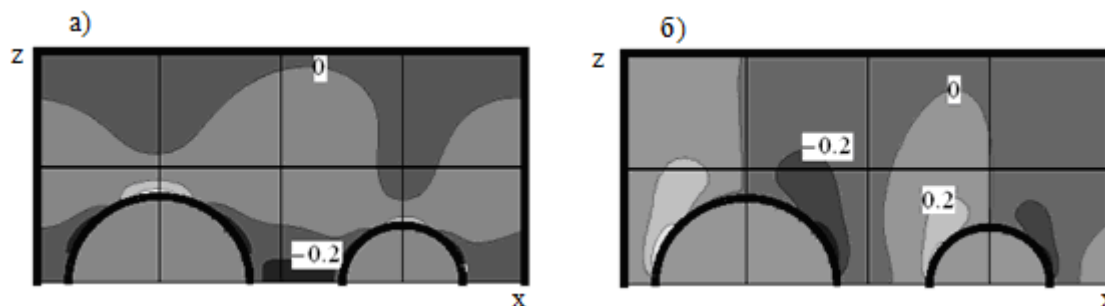


Рисунок 2 – Изолинии напряжений в сечении $y = 0$

а) σ_{xx} , б) σ_{xz}

Изолинии напряжений свидетельствуют о характере концентрации, вызванной наличием полостей и их размерами. Сочетание методов граничных состояний и Шварца является эффективным приемом, экономящим вычислительные ресурсы при прочностных расчетах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-01-97505).

Список литературы

1. Бормотин, К.С. Модификация метода Шварца, регуляризация и параллелизация МГЭ-решений в комплексе программ расчета упругих микroneоднородных тел [Текст]: дисс... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. – Комсомольск-на - Амуре, 2006. – 140 с.
2. Лурье, А.И. Пространственные задачи теории упругости [Текст] / А. И. Лурье. – М.: «Государственное издательство Техничко-теоретической литературы», 1955. – 491 с.
3. Пеньков, В. Б. Метод граничных состояний для решения задач линейной механики [Текст] / В. Б. Пеньков, В. В. Пеньков // Дальневосточный математический журнал. — 2001. — Т.2, №2. — С.115-137.
4. Саталкина, Л.В. Метод граничных состояний в задачах теории упругости неоднородных тел и термоупругости [Текст]: дисс... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04.– Тула, 2010. –108 с.

Пеньков Виктор Борисович, д-р физ.-мат. наук, профессор; Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская д. 30; e-mail: vbpenkov@mail.ru.

Саталкина Любовь Владимировна, канд. физ.-мат. наук, доцент; Липецкий государственный технический университет 398600, г. Липецк, ул. Московская д. 30; e-mail: satalkina_lyubov@mail.ru.

Рыбакова Маргарита Рушановна, Университет Машиностроения, г. Москва.

СБЕРЕЖЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РАСЧЕТАХ УПРУГИХ ТЕЛ С ПРИПОВЕРХНОСТНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

Пеньков В.Б., Саталкина Л.В., Минин С.В.

Россия, Липецк, Липецкий государственный технический университет

При решении краевых задач математической физики для компактных тел достаточно использовать соответствующее общее решение определяющих уравнений среды. При наличии физических и геометрических особенностей на границе тела такой подход требует счетного набора элементов пространства состояний. Вычислительная реальность ограничивает базис большой конечной размерности. Показано, что использование наряду с традиционным подходом общего решения для неограниченной области с компактной полостью коренным образом корректирует вычислительную размерность задачи.

Ключевые слова: метод граничных состояний, лакуна, упругое тело с геометрической особенностью границы.

Solving boundary problems of mathematical physics for compact bodies it is enough to use the corresponding general solution of the defining equations of medium. In the presence of physical and geometrical characteristics at the boundary of the body this approach requires a countable set of elements of the space of states. Computing reality limits the basis of a large finite dimension. It is shown that along with the traditional approach using the general solution for unlimited area with compact cavity radically corrects computing the dimension of the problem.

Key words: Method of boundary states, lacuna, elastic body with geometric singularity of boundary.

Метод граничных состояний основан на понятии состоянии среды [1]. Под внутренним состоянием упругой среды понимают наборы характеристик $\xi = \{u_i, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}\}$, под граничным состоянием – $\gamma = \{u_i|_{\partial V}, p_i|_{\partial V}\}$, где u_i – компонента вектора перемещения, σ_{ij} , ε_{ij} – компоненты тензоров напряжений и деформаций, ∂V – оператор «взятия» границы тела. Между гильбертовыми пространствами внутренних и граничных состояний установлен изоморфизм: коэффициенты Фурье в разложении решения по ортонормированному базису пространств состояний одинаковы

$$u_i = \sum_k c_k u_i^{(k)}, \quad \sigma_{ij} = \sum_k c_k \sigma_{ij}^{(k)}, \quad \varepsilon_{ij} = \sum_k c_k \varepsilon_{ij}^{(k)}.$$

$$u_i|_{\partial V} = \sum_k c_k u_i^{(k)}|_{\partial V}, \quad p_i|_{\partial V} = \sum_k c_k p_i^{(k)}|_{\partial V}.$$

В случае второй основной задачи (определение НДС тела по поверхностным перемещениям) решение сводится к рутинным вычислениям:

$$c_k = \int_{\partial V} u_i p_i^{(k)} dS.$$

Принципиальная трудность – наличие лакуны (особенность при поверхности тела) существенно возмущает поле; для обеспечения точности требуется весьма длинный отрезок базиса. Бесконечность невозможна технически, поэтому любой отрезок базиса в целом базис представляет нерепрезентативно.

Реализована идея об использовании центра O_1 [2] и решения Аржаных-Слободянского для внешности O_1 . Использование двух отрезков базиса

1) для ограниченного тела

$$u_i = 4(1-\nu)B_i + x_j B_{i,j} - x_i B_{j,j}, \quad B \in \{\{\varphi, 0, 0\}, \{0, \varphi, 0\}, \{0, 0, \varphi\}, \dots\}, \quad \varphi \in \{x, y, z, yz, xz, xy, \dots\} \quad (1)$$

2) для неограниченного тела

$$u_i = 4(1-\nu)B_i - (x_j B_j)_{,i}, \quad \varphi \in \{1/r, x/r^3, y/r^3, z/r^3, yz/r^5, xz/r^5, xy/r^5 \dots\} \quad (2)$$

существенно сокращает суммарную длину объединенного базиса, экономя вычислительные ресурсы.

Ортогонализация выполняется в соответствии с определениями скалярных произведений:

$$(\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi} \equiv \int_V \sigma_{ij}^{(1)} \varepsilon_{ij}^{(2)} dv, \quad (\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = \int_{\partial V} p_i^{(1)} u_i^{(2)} ds, \quad (\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)})_{\Gamma} = (\xi^{(1)}, \xi^{(2)})_{\Xi}.$$

Вторая основная задача: однородный изотропный упругий шар радиуса R ослаблен лакуной радиуса $R/2$. Требуется исследовать влияние лакуны на упругое состояние шара при различных вариантах постановки задачи в отношении граничных условий. Поверхность шара с лакуной ограничена двумя сферическими участками, изображенными на рис. 1.

Безразмерные постоянные Ламе $\lambda = \mu = 1$,
коэффициента Пуассона $\nu = 1/4$; $R = 1$. Граничные условия задачи:

$$\mathbf{u} = \begin{cases} \{0, 0, 0\}, & r \in S_1 \\ \{0, 0, -0.1 \sin^2 \theta\}, & r \in S_2 \end{cases}.$$

Представим первый элемент исходного базиса внутренних состояний для перемещений, вычисленный по формуле (2)

$$\mathbf{u}^{(1)} = \{3x^2 + 2(y^2 + k)/d, xy/d, x(-\sqrt{3}/2 + z)/d\},$$

где $k = (-\sqrt{3}/2 + z)^2$, $d = x^2 + y^2 + k^{3/2}$, четвертый элемент в базисе внутренних состояний, вычисленный по формуле (1):

$$\mathbf{u}^{(4)} = \{3x, -y, -z\}.$$

Среднеквадратичная интегральная невязка граничных условий с восстановленным граничным состоянием составила безразмерную величину 0.0006. Результаты решений имеют аналитическое представление и представлены в графической форме (рис. 2).

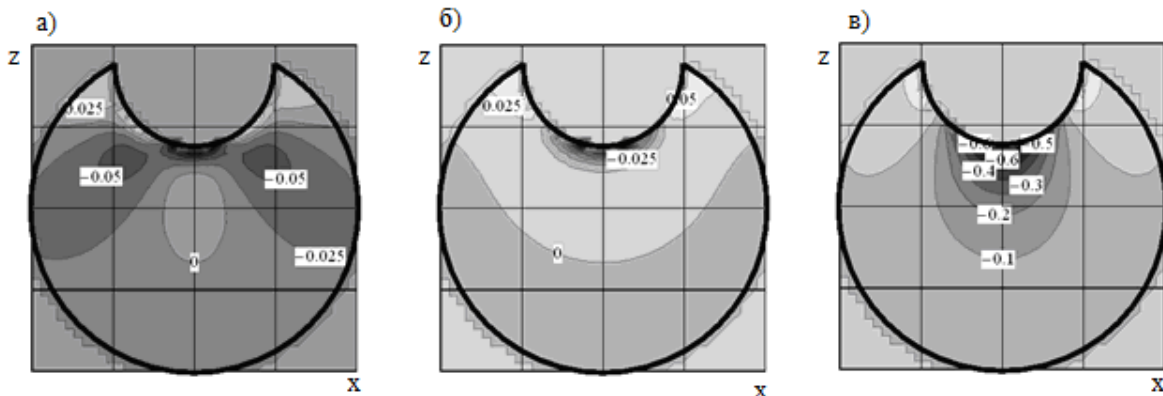


Рисунок 1 – Схема нагружения тела

Рисунок 2 – Изолинии напряжений в сечении $y = 0$

а) σ_{xx} , б) σ_{yy} , в) σ_{zz}

Как видно из рис. 2 радиальные волокна растягиваются вблизи оси симметрии и, напротив, сжимаются по мере удаления от нее. Ярko выражены окружные напряжения: у основания лакуны – сжимающие, а у верхних кромок лакуны – растягивающие. Осевые волокна, как и следовало ожидать, сжимающие, особенно, непосредственно под индентером.

Таким образом, «искусственное» применение общего решения для внешности компактной области коренным образом сказывается на сходимости решения и в такой же степени экономит вычислительные ресурсы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-01-97505).

Список литературы

1. Пеньков, В. Б. Метод граничных состояний для решения задач линейной механики [Текст] / В. Б. Пеньков, В. В. Пеньков // Дальневосточный математический журнал. – 2001. – Т. 2, № 2. – С. 115-137.

2. Пеньков, В. Б. Базис пространства состояний многосвязного упругого тела [Текст] / В. Б. Пеньков, Л. В. Саталкина, А. С. Шульмин // Материалы международной научной конференции «Современные проблемы математики, механики, информатики». Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 209 – 211.

Пеньков Виктор Борисович, д-р физ.-мат. наук, профессор. Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская д. 30; e-mail: vbpenkov@mail.ru.

Саталкина Любовь Владимировна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская д. 30; e-mail: satalkina_lyubov@mail.ru.

Минин Станислав Васильевич, студент кафедры прикладной математики, Липецкий государственный технический университет; 398600, г. Липецк, ул. Московская д. 30; e-mail: stan-888@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1. СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЖКХ	8
Качанов А.Н., Коренков Д.А., Худокормов Н.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА	8
Музалевская Г.Н., Музалевский А.А. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В Г.ОРЛЕ	11
Пичугин И.Л. АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНОГО БЛОКА В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	14
Саженкова Н.В., Усов В.В. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА	16
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА	16
СЕКЦИЯ №2. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.....	19
Горшенин В.П. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СЕТЕВЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОТЕЛЬНЫХ.....	19
Горшенин В.П. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	21
Дробязко О.Н. , Сошников А.А. АНАЛИЗ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ	23
Качанов А.Н., Коренков Д.А., Худокормов Н.Н., Пал М. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.....	26
Качанов А.Н., Коренков Д.А., Худокормов Н.Н., Пал М. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНО-КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА КОТЛЕ ТИПА ДЕ-16-14 ГМ ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА	29
Титов Е.В. РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ	33
СЕКЦИЯ №3. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ	36
Широкоступова М.С. ОЦЕНКА УРОВНЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	36

Блюмин С.Л., Сараев П.В.	
ИНТЕРВАЛЬНЫЙ СУПЕРПОЗИЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОНЕЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ	39
Свидченко С.Ю.	
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ НА МОЩНОСТЬ НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ ФАЗ В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ	42
Загрядцкий В.И., Кобяков Е.Т.	
МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ МАЛЫХ РЕК	44
Л. Аарон В.В., Рыжкова Е.Н.	
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕТИ ПРИ ОЗЗ В СЕТЯХ С ДРГ ПРИ БОЛЬШИХ РАССТРОЙКАХ КОМПЕНСАЦИИ	47
Ненахов А.И.	
АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИЛОВЫХ СХЕМ УПРАВЛЯЕМОЙ	50
КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	50
Фащилenko В.Н., Решетняк С.Н.	
МОНИТОРИНГ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ МАШИН	52
Фащилenko В.Н., Решетняк С.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОРНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ	55
СЕКЦИЯ №4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТАНОВКИ	58
Кувалдин А.Б., Федин М.А., Алферова Е.С.	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С КУСКОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ	58
Птицын Д.В., Птицына Е.В., Кувалдин А.Б.	
О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРУЕМОЙ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ НА ЗНАЧЕНИЕ МОЩНОСТИ, ИЗМЕРЯЕМОЙ В RLC-ЦЕПЯХ	61
Горячих Е.В.	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭПС, УЧИТЫВАЮЩЕЙ НЕОДНОРОДНОСТЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	64
Генералов И.М.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ПРИ НАГРЕВЕ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ШИХТЫ ДО ТОЧКИ КЮРИ	67
Кувалдин А.Б., Федин М.А., Кулешов А.О., Агадуллин И.Р.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	70
Щербинин С.В.	
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	73

Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А., Лепешкин А.Р. ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКАХ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ИНДУКТОРОВ	75
Лепешкин С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКАХ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ИНДУКТОРОВ.....	77
Власов Д. С., Бикеев Р. А, Сериков В. А., Добров А.Н. ВЛИЯНИЕ РУКАВОВ ЭЛЕКТРОДОДЕРЖАТЕЛЯ НА АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРУБОШИННОГО УЧАСТКА ТОКОПОДВОДА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ	80
СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	83
Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА	83
Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В. РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ СТРУИ	85
Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Михеев А.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОДЕТАЛЬНОГО ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА.....	87
Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Фроленков К.Ю., Барсукова О.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ	91
Кудинов А.А., Горланов С.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ПУТЕМ ВПРЫСКА ВОДЯНОГО ПАРА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ГТУ	94
Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю. СПОСОБЫ ВНЕШНЕГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕТАЛЛ ПОДЛОЖКИ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ	97
СЕКЦИЯ №6. ЭНЕРГО – И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	100
Отрощенко А.А., Чернов С.С. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	100
Никольский О. К., Черкасова Н. И., Костюков А.Ф. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	103
Черкасова Н. И., Костюков А. Ф. ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК .	106

Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.	
О ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	109
Воробьева С.Н., Воробьев Н.П.	
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ В АЛТАЙСКОМ РЕГИОНЕ	112
Воробьев Н.П., Воробьева С.Н.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАМЕЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ИСТОЧНИКА ТРАДИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	115
Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	118
Воробьев Н. П., Черкасова Н.И., Костюков А.Ф.	
МЕТОДИКА НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ..	121
СЕКЦИЯ № 7. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО – И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	125
Карпычева Е.Ю.	
ВОПРОСЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБОРОТНЫХ СРЕДСТВ НА СОВРЕМЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	125
Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Фелькер В.В.	
РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СФЕРЕ ПО ПРИНЦИПУ ПЕРФОМАНС-КОНТРАКТА.....	127
Комаристый А.С., Комаристая Л.С., Молоканов Е.Е., Фелькер В.В.	
УНИФИКАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	130
Чернов С.С., Бельчикова Е.С.	
ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ЭКОНОМИКИ РОССИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ.....	132
Шульгин Р. Н.	
АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ О НАРУШЕНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ЗАДАЧАХ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	134
Степанова Е.Ю., Рыжикова Е.Ю.	
УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ В МНОГОУРОВНЕВЫХ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КОМПЛЕКСАХ	140
СЕКЦИЯ № 8. НАНОСИСТЕМЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ ...	145
Матюхин С.И., Турин В.О., Ставцев А.В.	
ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ.....	145
Абашин М.И., Галиновский А.Л., Хафизов М.В., Осипков А.С.	
УЛЬТРАСТРУЙНАЯ ДИАГНОСТИКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	148

Судник Л.В., Абашин М.И., Галиновский А.Л., Хафизов М.В.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОДОБАВОК ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В СРЕДСТВАХ БРОНЕЗАЩИТЫ	151
Власова Е.В., Глинкин Е.И.	
МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НАНОТЕХНОЛОГИИ	153
Захаров М.Г.	
ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТРИБОСИСТЕМАХ	156
СЕКЦИЯ №9. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	158
Пугачев А.А., Волохов С.Г., Измеров О.В., Корчагин В.О.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОМ ПРИВОДЕ ЛОКОМОТИВА	158
Воробьев В.И., Волохов С.Г., Измеров О.В., Корчагин В.О.	
МЕТОДЫ ПОИСКА КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ ЭНЕРГИИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	162
Глинкин Е.И., Наумова А.В.	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИМПЕДАНСА	167
Коробов А.А., Глинкин Е.И.	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ	170
Глинкин Е.И.	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ	173
Пеньков В.Б., Саталкина Л.В., Рыбакова М.Р.	
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ АЛГОРИТМА ШВАРЦА	176
Пеньков В.Б., Саталкина Л.В., Минин С.В.	
СБЕРЕЖЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РАСЧЕТАХ УПРУГИХ ТЕЛ С ПРИПОВЕРХНОСТНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ	179

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК

**МАТЕРИАЛЫ ДВЕНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ИНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦИИ**

15 марта – 30 июня 2014 г., г. Орёл

Материалы конференции печатаются в авторской редакции

Компьютерная верстка и оригинал-макет Коренков Д.А.

Госуниверситет – УНПК

Лицензия ИД № 00670 от 5.01.2000 г.

Подписано в печать _____ Формат 60x84 1/8

Усл. п. л. 11,7. Тираж _____ экз.

Заказ № _____

Электронный адрес размещения:

<http://www.gu-unpk.ru/file/science/confs/2014/ee/publ/MIK-2014.pdf>

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе Госуниверситета – УНПК
302030 г. Орёл, ул. Московская, 65